

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



**Persistent Organic Pollutants (POP's)
in the Jizera Catchment Area**

**Persistentní organické polutanty (POP's)
v povodí Jizery**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jan Hloušek

Vedoucí : RNDr. Josef V. Datel

Obsah

Abstrakt	3
1. Úvod	4
2. Oblast povodí Jizery	5
2.1. Charakteristika povodí	5
2.2. Srážková charakteristika oblasti	7
2.3. Geologické poměry na povodí Jizery	9
2.3.1. Krkonošsko-Jizerský pluton	9
2.3.2. Krkonošsko-Jizerské krystalinikum	12
2.3.2.1. Krkonošské ortoruly	13
2.3.2.2. Ještědské a Železnobrodské krystalinikum	17
2.3.3. Podkrkonošská pánev	22
2.3.4. Česká křídlová pánev	26
3. Persistentní organické polutanty (POP's)	35
3.1. Společné vlastnosti POP's	35
3.1.1. Bioakumulace	35
3.1.2. Toxicita	35
3.1.3. Persistence	36
3.1.4. Transport	37
3.2. Výběr z dílčích podskupin POP's	38
3.2.1. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH's)	38
3.2.2. Dioxiny a dibenzofurany (PCDD's, PCDF's)	40
3.2.3. Pesticidy	41
3.2.4. Polychlorované bifenyly (PCB's)	44
3.2.5. Polybromované bifenyly a difenylethery (PBB's, PBDE's)	46
3.2.6. Ftaláty	47
4. Platné normy a limity pro koncentrace POP's	48
5. Metodika a průběh postupu	52
5.1. Použitá data	53
5.1.1. Hydrogeologický význam dat	53
5.1.2. Kvantita dat	55
5.1.3. Kvalita dat	55
5.2. Pracovní postup	56
5.2.1. Filtrace nepoužitelných dat z poskytnutých datových bloků	56
5.2.2. Separace dat podle využitelnosti pro časové či prostorové analýzy	56
5.2.3. Analýza separovaných dat	56
6. Výsledky	57
6.1. Povrchová voda	57
6.2. Freatická voda	57
6.3. Sedimenty, plaveniny, vzorkovače a biota	62
6.3.1. Polycyklické aromatické uhlovodíky	63
6.3.2. Polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany	65
6.3.3. Polychlorované pesticidní látky	67
7. Diskuze k výsledkům	69
7.1. Prostorová distribuce znečištění povodí Jizery látkami POP's	69
7.2. Vývoj znečištění povodí Jizery v čase	70
7.3. Zranitelnost zdrojů pitné vody na povodí Jizery	71
8. Závěr	72
Seznam použité literatury	73

Abstract

Persistent organic pollutants causes a big safety risk for natural ecosystems and exposed human population because of their physical and chemical properties and the high – level toxicity. One of the important mechanisms of their transport is spreading by the rivers and all the surface waters. An easy sorption on the organic material permits just a slow mobility of contamination, which is limited by the volume of organic compound in soils and sediments. But the body of contaminated sediments can become a long – life pollution source for the surroundings. On the Jizera catchment area is an important water accumulation, which serves as the used or potential water sources with the high quality, endangered by the POP's contamination . The most vulnerable water source is the catching object Káraný. The surface water caught by the waterworks on the lower part of the catchment area is with serious quantity polluted by the POP's, which are concentrated the rivers from all the country into the lower catchment. Because of the industry development the content of the POP's in the catchment area's water doesn't decrease in spite of safety arrangements. So it is necessary make the steps to effective decreasing the dotation of area by the contaminants and to the restriction of their infiltration into the surface waters and their transport through the rivers as soon as possible. The first of the steps must be an increasing of the POP's monitoring frequency and density in the surface water and a localization of all the single pollution sources on the Jizera catchment area.

Abstrakt

Persistentní organické polutanty představují kvůli svým fyzikálně – chemickým vlastnostem a značné toxicitě velké bezpečnostní riziko a zátěž pro přírodní ekosystémy i lidskou populaci vystavenou znečištěnému prostředí. Jedním z důležitých mechanismů jejich transportu je šíření říční sítí spolu s povrchovou vodou. Kvůli snadné sorpci na organickou hmotu je rychlost postupu znečištění limitována přímo úměrně velikosti podílu organické složky v půdách a sedimentech, ale tělesa kontaminovaných sedimentů se stávají trvalým zdrojem zamoření pro celé jejich okolí. Na ploše povodí Jizery ohrožuje znečištění krajiny POP's významné vodní akumulace sloužící jako využívané i potenciální zdroje pitné vody o vysoké jakosti. Nejzranitelnějším vodním zdrojem je jímací zařízení a úpravna pitné vody Káraný. Povrchová voda jímána vodárnou na dolním toku řeky je v nezanedbatelné míře kontaminována POP's soustředěnými do dolního toku říční sítí celého povodí. S rozvojem průmyslu navzdory přijatým bezpečnostním opatřením koncentrace POP's ve vodě celého povodí zvolna neklesají. Je proto zcela nezbytné co nejdříve podniknout kroky k účinnému snížení dotace plochy povodí kontaminanty a k omezení jejich průniku do povrchové vody a transportu vodními toky. Prvním z nich musí být zvýšení frekvence a hustoty monitorování výskytu POP's v povrchové vodě a přesné vytipování všech bodových zdrojů znečištění v povodí Jizery.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především svému vedoucímu, RNDr. Josefu V. Datlovi, za pomoc při výběru tématu a za cenné rady. Dále panu Mgr. Vítu Kodešovi, bez jehož podpory a poskytnutých informací by tato práce nemohla vzniknout, a Mgr. Pavlu Hájkovi za praktické rady a data potřebná k dokončení mé práce.

1. Úvod

Oblast povodí Jizery má pro Českou Republiku nedocenitelný vodohospodářský význam. V prostoru středního a dolního toku Jizery se nachází rozsáhlé akumulace vody s vysokou jakostí. Jejich jímání poskytuje velké vydatnosti čerpané podzemní vody i vody zachycované z artézských přelivů. Kvůli větší členitosti terénu horní části povodí, krajiny ideálně vyhovující pro zemědělské potřeby ve střední a dolní části povodí a také díky malému počtu lokalit s využitelnými ložisky těžitelných surovin (s výjimkou chemicky bezpečných stavebních materiálů) se činnost těžkého průmyslu soustřeďuje pouze do několika omezených středisek. Oblast je také dostatečně vzdálena od hlavních průmyslových území a zdrojů znečištění ovzduší, jakými jsou severozápadní region Čech, prostor Pražské kotliny a region Ostravska na východě. Díky tomu poskytují velké části území i hodnotné zdroje kvalitnější povrchové a freatické vody. Jediným silným zdrojem znečištění na celé ploše povodí je zemědělská činnost. Spolu s nástupem rozumnější míry hnojení a užíváním citlivějších hnojiv a pesticidů roste význam průmyslového znečištění v porovnání se zemědělským.

Jednou z nejrizikovějších skupin průmyslových i zemědělských kontaminantů jsou persistentní organické polutanty, jenž se díky svým fyzikálně – chemickým vlastnostem kumulují v životní prostředí a ohrožují chod přírodních ekosystémů i zdraví lidské populace. Na ploše povodí Jizery se znečištění POP's stává vážným problémem jak pro populaci přímo exponovanou na sledovaném území, tak i pro daleko širší skupinu obyvatel závislou na přísunu pitné i užitkové vody z jmenovaného prostoru.

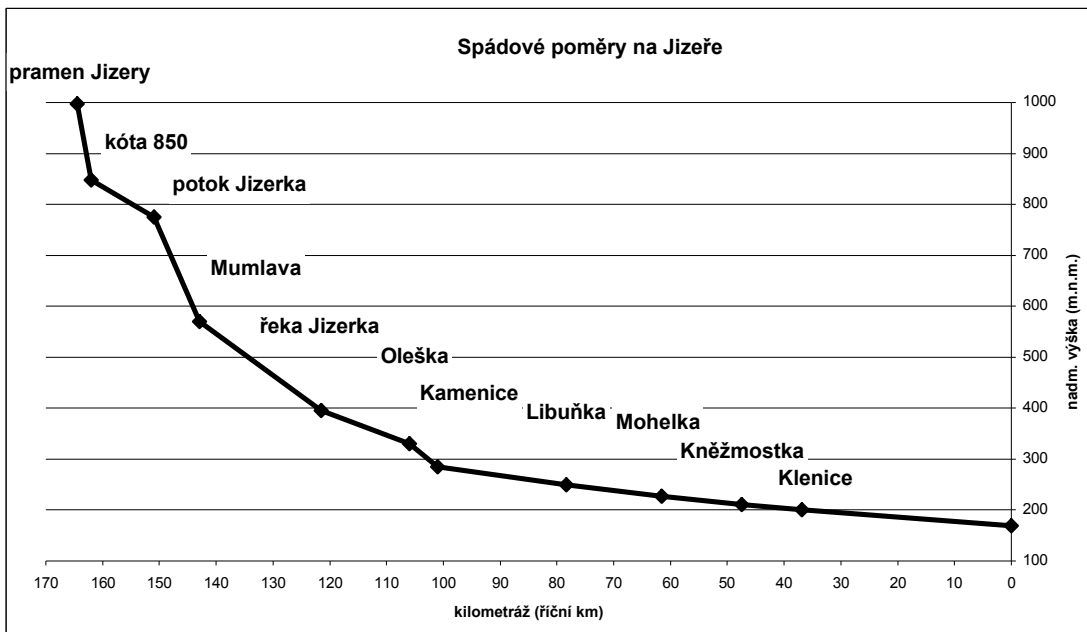
Prvořadým cílem mé práce je upozornit na popsany problém a varovat před ním, objektivně jej zhodnotit za pomoci dostupných dat a navrhnout opatření vedoucí k jeho postupnému vyřešení.

2. Oblast povodí Jizery

2.1. Charakteristika povodí

Řeka Jizera je nejdelším pravostranným přítokem Labe. Od pramene pod vrchem Smrk po soutok s Labem u obce Toušeň měří 164,5 km a průměrný roční průtok překračuje 24,3 m³/s. Povodí Jizery leží v severovýchodní části ČR, má plochu 2193,4 km² a náleží k úmoří severního moře. Nejvyšším bodem povodí jsou Harrachovy kameny s výškou 1421 m.n.m. a nadmořská výška na soutoku činí pouhých 169 m.n.m. Povodí Jizery se triviálně dělí na oblast horního toku po soutok s Kamenicí o rozloze 781,8 km², středního toku mezi Kamenicí a Klenicí s rozlohou 1166 km² a dolního toku mezi Klenicí a Labem s rozlohou 245,7 km² (Šulc, 1991). Spádové poměry v prostoru povodí jsou dobrým ukazatelem členitosti reliéfu (viz dále) a přímo určují průměrnou rychlost proudění vody v řečišti a její unášecí schopnost. Zvláště na horním toku Jizery je spád nerovnoměrný a průměrná hodnota celkového spádu řeky 5,05 ‰ prakticky nic nevyovídá. V následujícím grafu (graf 1)) a tabulce 1) uvádím profil říčního toku a spád každého dílčího úseku Jizery (Šulc, 1991).

graf 1)



tab.1)

horní vymezení úseku	říční km	dolní vymezení úseku	říční km	průměrný spád v úseku
pramen Jizery	164,5	kóta 850	162	60 ‰
kóta 850	162	potok Jizerka	151	6,6 ‰
potok Jizerka	151	Mumlava	143	25,6 ‰
Mumlava	143	řeka Jizerka	121,5	8,7 ‰
řeka Jizerka	121,5	Oleška	106	3,6 ‰
Oleška	106	Kamenice	101	10,8 ‰
Kamenice	101	Libuňka	78,4	1,55 ‰
Libuňka	78,4	Mohelka	61,5	1,35 ‰
Mohelka	61,5	Kněžmostka	47,5	1,14 ‰
Kněžmostka	47,5	Klenice	36,9	0,94 ‰
Klenice	36,9	ústí Jizery	0	0,87 ‰

Z grafu i tabulky je zřetelně vidět, že v horním úseku povodí ke Kamenici nesleduje spádový profil Jizery optimální spádovou křivku. Je to způsobeno různou odolností přítomných horninových celků vůči erozi (viz dále). Podobně se projevuje odolnost podloží i na hlavních přítocích Jizery. V tabulce 2) jsou uvedeny všechny přítoky, jejichž plocha povodí překračuje 50 km².

tab.2)

název toku	plocha povodí	% povodí Jizery	délka toku	nadm.výška pramene	nadm. výška na soutoku	průměrný spád
Mumlava	51,15 km ²	2,3 %	12,2 km	1355 m.n.m.	569,5 m.n.m.	64,4 ‰
Jizerka (řeka)	85,84 km ²	3,9 %	22,3 km	1070 m.n.m.	395 m.n.m.	30,3 ‰
Oleška	171 km ²	5,9 %	35,7 km	540 m.n.m.	330 m.n.m.	5,9 ‰
Kamenice	218,6 km ²	9,9 %	36,1 km	970 m.n.m.	285 m.n.m.	19 ‰
Libuňka	100,6 km ²	4,5 %	19,8 km	405 m.n.m.	250 m.n.m.	7,8 ‰
Žehrovka	95,86 km ²	4,3 %	25,2 km	350 m.n.m.	235 m.n.m.	4,6 ‰
Mohelka	176,7 km ²	8,1 %	43,1 km	600 m.n.m.	227 m.n.m.	8,7 ‰
Zábrdka	71,3 km ²	3,3 %	23,8 km	390 m.n.m.	220 m.n.m.	7,1 ‰
Bělá	158,4 km ²	7,2 %	14,8 km	274 m.n.m.	212,5 m.n.m.	4,2 ‰
Kněžmostka	72,96 km ²	3,3 %	18,5 km	274 m.n.m.	211 m.n.m.	3,4 ‰
Klenice	169,64 km ²	7,7 %	27,6 km	295 m.n.m.	201 m.n.m.	3,4 ‰

Povodí vymezuje od vrchu Smrk, kde pramení Jizera, hranice procházející přes vrchy Jizera, Holubník, Nekras a Buková a Černá studnice. odtud se stáčí k západu podél dílčího povodí Mohelky skrze Kokonín ke Světlé pod Ještědem a odtud pokračuje přes Bezděz, Vrátnský vrch a obec Chotětov až k Toušni na soutoku. Po východním okraji probíhá hranice povodí k Mladé Boleslavi, odtud uhýbá na východ k Markvarticím a dále přes Zámostí a Kněžnici ke Košovu. Zde obkružuje výběžek povodí Olešky a pokračuje po linii Kyje – Horka u Staré Paky – vrch Horka a vrchy Žalý – Kotel – Sokolník k Novosvětskému průsmyku. Krátký úsek hranice povodí Jizery pak probíhá na polském území přes vrchy Sine Skalki a Podmokla zpět na Smrk.

Velikost a kolísání průtoků vody říčním systémem závisí na rozložení a vydatnosti sezónních srážek a na hydrogeologických poměrech v povodí (viz dále). Velikost průměrných průtoků vodním tokem je přímo úměrná rozloze povodí a jeho expozici vůči srážkám. Z Úroveň a rychlost nástupu zvýšení průtoků ve vodních tocích po srážkové události vychází z intenzity a délky trvání srážky, a také na retenční schopnosti povodí, především pak jeho pokryvu.

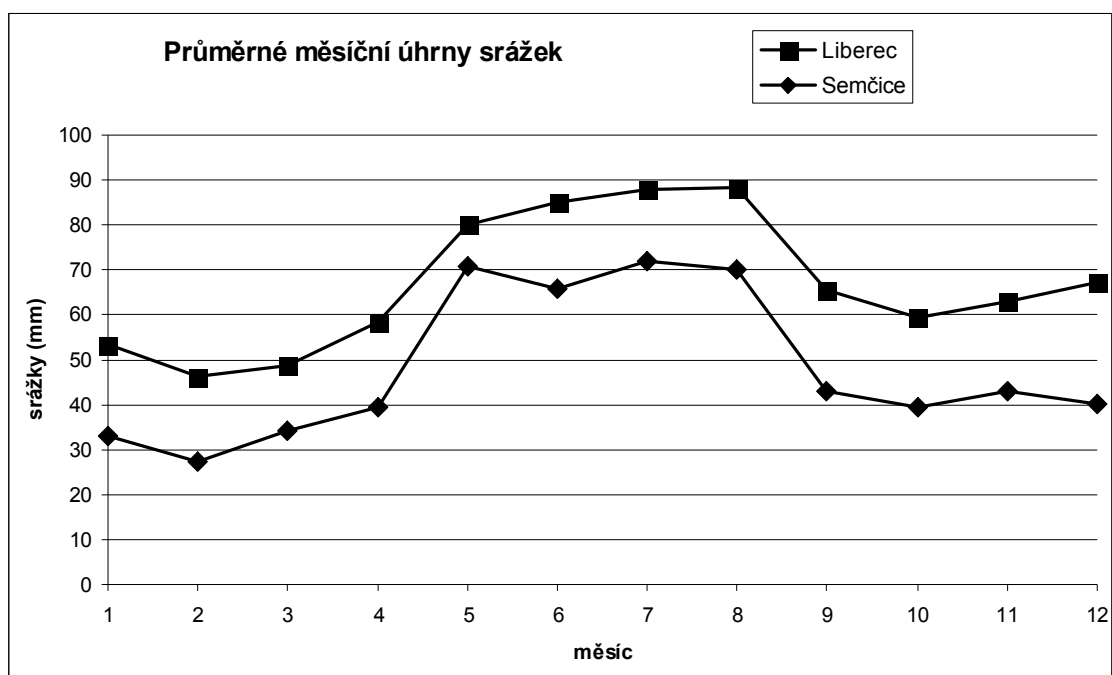
2.2. Srážková charakteristika oblasti

Různorodost klimatických podmínek v prostoru povodí se odvíjí především od nadmořské výšky terénu a rozmanitosti reliéfu. Nejpodstatnějším z klimatických parametrů pro účely charakterizace vodní režimu jsou srážkové úhrny. Průměrné úhrny srážek stoupají se schopností terénních elevací typu horských hřbetů zachycovat srážky. V členitém reliéfu je tedy zpracování celkových průměrných srážek v oblasti hrubou generalizací, jelikož se srážkové úhrny značně liší podle lokality sledování. Na návětrné Z a SZ straně hřebenů Jizerských hor i Krkonoš mohou být roční úhrny místy téměř dvojnásobné oproti svahům po směru větru. Na území horských hřebenů Jizerských hor se pohybují roční srážkové úhrny některých vybraných lokalit (Bílý potok, Kořenov) v širokém rozmezí 1400-1700 mm, což odpovídá dotaci vodou 1400-1700 l/m² za rok. Jedná se o impozantní hodnoty, avšak průměrný úhrn ročních srážek celé plochy horního povodí činí pouhých 1045 mm. Data z níže položených částí povodí již považují za objektivnější, vzhledem k nižší heterogenitě úhrnů srážek na sledovaných plochách. V prostoru středního toku je průměrný úhrn 665 mm a na dolním Pojizeří 575 mm (Šulc, 1991). Důležité pro analýzu dotace povodí srážkovou vodou je i průměrné srovnání srážkových úhrnů a jejich kolísání během roku. Dovolím si uvést sledy průměrných měsíčních srážek na dvou lokalitách (tab.3)) a jejich grafické znázornění (graf 2). Údaje monitorovací stanice ČHMÚ v Liberci zde zastupují přibližné rozložení srážek během roku v horním a středním toku a údaje stanice Semčice u Mladé Boleslavi srážky na toku dolním.

tab.3)

měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	roční úhrn
srážky v mm													
Liberec	53,3	46	48,9	58,2	80,2	84,9	87,9	88,4	65	60	63,1	67,3	803
Semčice	33	28	34,3	39,5	70,9	65,7	72	70,1	43	40	43,1	40,1	579

graf 2)



Je zřejmé, že srážkový trend se v oblasti vrchní i spodní části povodí výrazně neliší a hlavní rozdíl hraje pouze objem srážek. Přesto je možné zřetelně sledovat, že průběh srážkového rozložení během roku je na území Jizerských hor a v podhůří zřetelně plynulejší a vyrovnanější. Důvodem je menší závislost hodnoty celkových srážkových úhrnů na sezónních variacích silných srážek. Reliéf horské oblasti je schopen zachytit i slabé srážkové vlny, k jejichž precipitaci nad plochou krajinou dolního Pojizeří vůbec nedojde.

Veškeré informace o srážkových poměrech oblasti jsem čerpal ze zdrojů ČHMÚ volně přístupných na internetu. Hodnoty srážkových úhrnů představují průměry z let 1961 – 1990.

2.3. Geologické poměry na povodí Jizery

Horninové podloží má spolu s klimatem klíčový vliv na utváření říční sítě a vodní režim celého území. Proto se nejprve budu věnovat jeho popisu. Povodí Jizery zasahuje plochu tří hydrogeologických rajónů, které se významně liší svými charakteristikami – rajónu krystalinika, rajónu permokarbonských limnických pánví a rajónu České křídové pánve. První z nich představuje oblast Krkonoško – Jizerského plutonu a Krkonoško – Jizerského krystalinika.

2.3.1. Krkonoško – Jizerský pluton

2.3.1. a) Vymezení oblasti

Krkonoško – Jizerský pluton je kompaktní a poměrně uniformní těleso tvořené masivním porfyrickým biotitickým granitem, tzv. Libereckou žulou, s drobnou výjimkou úzkého pruhu jemněji zrnitého Tanvaldského granodioritu, který lemuje masiv z jihu. Na naše území zasahuje pouze jeho východní a jihovýchodní část, jenž se rozkládá v široké oblasti při patě Frýdlantského výběžku a jižní částí pokračuje v úzkém pruhu do Krkonoš. Jeho okraj vede od pramenů Jizery na státní hranici ČR u vrcholu Smrk k západu přes Hejnici. Jižně pod Raspenavou se stáčí obloukem do rokle mezi Kančí vrch a Špičák, která je tektonicky podmíněna jedním z jeho mála hraničních zlomů. Dále běží jeho hranice k jihu na Novou Ves, ze západu obtáčí Liberec podél okrajového zlomu Ještědského hřbetu a postupně se stáčí na V a VSV kolem Jablonce nad Nisou, skrze Tanvald a Kořenov. Jižně od Harrachova se vyrovnává zpět na V a vede podél hranice až ke Sněžce. Z uvedeného výčtu vyplývá, že na plochu masivu zasahuje horní tok Kamenice k Tanvaldu a horní tok Jizery s celým tokem Mumlavy až ke svému soutoku. Jeho východnější část je přímo odvodňována Labem a severnější oblast s hlavním tokem Nisou spadá pod úmoří Baltského moře.

2.3.1. b) Geologická historie území

Krkonoško – Jizerský pluton dle radiometrických měření intrudoval klenbou starších spodnopaleozoických hornin skupiny Krkonošských (jižní část) a Jizerských (severní část) ortorul asi před 330 – 310 Ma v průběhu Variského vrásnění. Jedná se o posttektonicky vzniklý komplex, který již nebyl Variskými horotvornými pochody dále zasažen. Toto těleso tak bylo ovlivněno pouze pozdějšími deformacemi souvisejícími s propadem tektonicky oslabených zón v předpolí Variského horstva vedoucím k prosedání permokarbonských pánví a následně také deformacemi v důsledku uzavírání jižního oceánu Thetys a celého cyklu vrásnění Alpisko – Himalájského. Po tuto dobu byl masiv jen zvolna vyzdvihován a prakticky nebyl vystaven žádné formě teplotní metamorfózy (Chlupáč, 2002). Proto je hluboká síť puklin dosti řídká a vázaná především na několik významných zlomových zón a po vzniku trhlin již nemohlo dojít k vyhojení hlubších zlomů a puklin v masivu plutonu, které tak zůstaly v různé míře nadále propustné pro hlubší oběh podzemní vody.

2.3.1. c) Tektonika

V námi sledované oblasti povodí Jizery, tedy v jižní a jihovýchodní části západní poloviny Krkonošsko – Jizerského plutonu je hlavní tektonický systém představován zlomy Lužického směru SZ-JV. Část z nich náleží ke starším poklesovým strukturám z období permokarbonu reaktivovaným Alpisko – Himalájskými horotvornými procesy a další část vznikla přímo v důsledku Alpisko – Himalájského vrásnění při prolomu v linii Labského prolomu a následného poklesu při rozšiřování mořské sedimentace České křídové pánve. Jedná se o hlubší poklesové zlomové zóny, u nichž většinou nedochází k sepětí rostoucímu s hloubkou. Při povrchu masivu se nenalézají jemnější sedimenty (Misař, 1983). Hrubě zrnitá a chemicky odolná hornina tak sama působí zanášení otevřených puklin hrubším klastickým materiálem, v němž je podíl jílovité komponenty zanedbatelný, a tak si část velkých zlomů v tělese plutonu může navzdory zanesení uchovat vysokou propustnost.

K poslednímu a nejdůležitějšímu „pročištění“ puklinového systému lužického směru došlo v intervalu oligocén – pliocén, které vyvrcholilo z geografického hlediska nejpodstatnější periodou formování reliéfu Českého masivu. Jednalo se o období tzv. Saxonské tektogeneze. V důsledku rostoucího tlaku v průběhu uzavírání oceánu Thetys začalo v období svrchní křídly docházet i k výzdvihu do té doby zatopených ploch systému předpolních pánví rodícího se pohoří označovaných jako Parathetys. V prostoru Karpatské soustavy přitom docházelo k rozsáhlému rozlámání oslabené kontinentální kůry a dokonce k vytvoření série drobných riftů. Český masiv však byl plně konsolidován předchozími procesy Variského vrásnění, a tak při vytváření Alpiského orogénu na jihu a vrásnění oblouku Západních Karpat na jihovýchodě došlo pouze k jeho postupnému vyklenování. Již ve svrchní křídě způsobilo rostoucí napětí v celém regionu oživení tektonické činnosti formou vertikálního pohybu na sériích zlomů různého stáří, které směřovaly radiálně podél okrajů Českého masivu. Zároveň s otevřením zlomů započala na našem území i nová vulkanická činnost. Magma při tom přednostně vycházelo na povrch po oslabených zlomových zónách při rozhraních dřívějších mikrokontinentů konsolidovaných Variskou orogenezí, zejména na rozhraních Sasko – Durynské a Lužické oblasti s Tepelsko – Barrandienským fundamentem. Výsledkem jsou lokální akumulace neovulkanitů podél tektonických linií (viz. rajón Česká křídová pánev) a čerstvé otevření zlomových struktur pro průnik a proudění hlubšího oběhu podzemní vody. Celé období Saxonské tektogeneze po uvolnění napětí v Alpském a Karpatském orogénu skončilo relaxací vyklenutého území Českého masivu a postupným propadem jeho centra dle radiálních zlomových struktur, což vedlo ke změně říční sítě a modelaci reliéfu naší země do současné podoby (Chlupáč, 2002).

2.3.1. d) Reliéf a pokryv

Díky skalnímu podloží značně odolnému vůči mechanickému i chemickému narušení a erozi má zmíněné území na tocích Kamenice, Jizery a Mumlavy velmi dynamický reliéf s příkrými svahy údolí vodních toků a častými reliktními suťovými poli, která vznikla během období posledních glaciálů. Kompaktní hrubě zrnitá hornina má pouze mělkou vrstvu povrchového rozpukání a hluboké zlomové struktury se

vyskytují velmi řídké (viz. dále). Podloží je tak prakticky nepropustné a na drtivé většině plochy Krkonošsko – Jizerského plutonu je kryto relativně tenkou vrstvou hrubého pokryvu aluviálního charakteru (Hynie, 1961). Fluviální sedimenty potoků a říček jsou hrubě zrnité s mocností omezenou vysokou unášecí schopností prudce proudící vody a s malou rozlohou vázanou na úzká dna údolí. Horská oblast (mimo zónu trvalého zalednění) s vydatným úhrnem srážek, sezónními vzrůsty průtoků a dynamickým reliéfem neumožňuje zachování větších mocností kvartérních sedimentů a nevytváří velké akumulací prostory pro nové usazeniny.

Čestnou výjimku zde tvoří rozsáhlejší usazeniny na plochých horských rašeliništích a pramenních mokřadech, které se nalézají u pramenů Mumlavy, jejích pravých přítoků nad Harrachovem a v hraniční části údolí Jizery nad soutokem s potokem Kobyla. Nerovnoměrné povrchové rozpukání a zvětrání jinak nepropustné podložní horniny místy může vytvářet kapsy stojaté freatické vody blokující rychlejší povrchové proudění, jenž by umožnilo vznik hlubšího koryta s velkým spádem. Takové sedimenty obsahují převažující komponentu jemnozrnné organické hmoty, která v jinak neúrodném prostředí dovede úspěšně poutat vodu i živiny nezbytné pro další růst vegetace.

Mimo zmíněné usazeniny rašelinné povahy se na území Krkonošsko - Jizerského plutonu vyskytují buďto mělké nevyvinuté půdy rankerového typu, nebo chudé podzolové hlíny, jenž vznikají především na déle zalesněných plochách. Lehké půdy jsou stejně jako zvětralinový pokryv dobře propustné a v důsledku nízkého obsahu jílových minerálů se vyznačují nízkou pufrací i sorpční kapacitou. Zóna oxidace v důsledku vysoké porozity a rychlého proudění vody zasahuje hluboko a podmiňuje intenzivnější rozklad organické hmoty, což vede ke značnému okyselení půdní vody.

2.3.1. e) Stručná hydrogeologie

Celá plocha povodí Jizery v prostoru plutonu se vyznačuje hustou říční sítí s přímou a rychlou komunikací mezi říční a freatickou vodou. Směr koryt a údolí je většinou predisponován směrem a šířkou lokálního puklinového systému. Mělký propustný pokryv na nepropustném podloží dává vznik množství povrchových suťových pramenů a skrytých bočních vývěrů vody ze břehu do koryt potoků. Je běžné, že pH vody v horských oblastech se pohybuje na úrovni pH vody srážkové a pohybuje se kolem 4,5. Voda má nízkou mineralizaci typu Na – HCO₃ a je chudá na živiny využitelné vegetací. Vodní zdroje čerpající podzemní vodu ze zóny povrchového rozpukání mají malou zásobnost a vydatnost silně závislou na přísunu vody ze srážek. Zdroje napojené na hlubší oběh podzemní vody jsou vázány na řídké roztroušené, ale dobře propustné zlomové zóny vynikající obvykle vysokou vydatností i zásobností. Díky hůře dostupnému terénu bránícímu masivní průmyslové i zemědělské činnosti na sběrném území vodních toků a zejména díky ustanovení chráněných území dosahuje přírodní povrchová i podzemní voda mimo obývané areály dobré jakosti a lze ji označit za velmi vhodnou pro vodárenské využití.

Hydrogeologické poměry na popsaném území poukazují na extrémní zranitelnost zdrojů vody vůči kontaminaci. Vysoká hladina podzemní vody v dobře propustném horizontu zvětralin a půdy umožňuje rychlé zasáknutí polutantu na úroveň

hladiny vody a velký spád napomáhá okamžitému rozvlečení kontaminantu po rozsáhlé ploše a zasažení povrchových toků. K rychlému rozvlečení často může vést i blízkost vrtu k čerpání vody z puklinové sítě. V hlinito – písčitéch a v promývaných zónách i štěrkovitých sedimentech je depresní kužel dosti plochý a skrze průběžnou síť povrchového rozpukání může i při méně intenzivním čerpání být poloměr dosahu stovky metrů daleko od jímacího vrtu. Jediné, co v podobném případě dosah vrtu omezuje, je malá mocnost propustné zóny, případně i krátká délka průběžnosti trhlin, a velké nerovnoměrné elevace nepropustného podloží utvářející členitý reliéf krajiny. Hůře rozpustnou nebezpečnou látku zavlečenou do nepravidelné mělké puklinové zóny téměř nelze konvenčním čerpáním účinně odstranit a většinou se přistupuje k pasivním metodám sanace zabraňujícím dalšímu šíření znečištění z lokality.

Hornina Krkonošsko – Jizerského plutonu, její zvětraliny i půdní pokryv má velmi špatnou schopnost imobilizovat kontaminaci a bránit jejímu dalšímu šíření. Malý specifický povrch částic klastických sedimentů, nízký obsah jílu, nemožnost srážení HFO v kyselé vodě a rychlá degradace organické hmoty na vodou rozpustné složky neumožňují významnější sorpci polutantu v přirozeném prostředí. Z výše uvedených důvodů je zcela nezbytné četné pravidelné sledování jakosti povrchové i podzemní vody, efektivní a dobře monitorovaný provoz čistíren odpadní vody a též zvýšená bezpečnostní opatření a časté kontroly provázející jakoukoliv průmyslovou aktivitu na území, jenž by mohla vést k jeho znečištění.

2.3.2. Krkonošsko – Jizerské krystalinikum

Krkonošsko - jizerské krystalinikum je složitý komplex silně deformovaných a metamorfovaných prekambriických až spodno-paleozoických hornin různorodého složení. Oblast povodí Jizery zasahuje na jižní části Krkonošsko - Jizerského krystalinika do jeho dílčích celků : Ještědského krystalinika, skupiny Krkonošských ortorul a Železnobrodského krystalinika. Malý cíp pramenního areálu řeky Jizery pod vrchem Smrk zasahuje i na plochu skupiny Jizerských ortorul. Vzhledem ke své pozici v rámci povodí a nepatrné rozloze řečené plochy je zde vliv odlišného geologického podloží na hydrogeologické poměry v povodí zanedbatelný. Proto o něm v následující stati nebudu podávat podrobné informace.

Zcela výjimečná je ve zmíněném výčtu oblast skupiny Krkonošských ortorul. Od ostatních dílčích celků se výrazně liší horninovým složením, geologickou historií i samotnými hydrogeologickými poměry. Z těchto důvodů jsem si dovolil ji z celého výčtu vyčlenit a uvést jako samostatnou jednotku s odlišnými geologickými podmínkami.

2.3.2.1. Krkonošské ortoruly

2.3.2.1. a) Vymezení oblasti

Pás hornin skupiny Krkonošských ortorul tvoří jižní pruh autochtonního pláště Krkonoško – Jizerského plutonu. Je to pozůstatek původního fundamentu Lugika neoproterozoického stáří, který byl v závěru Kadomského vrásnění narušen rozsáhlými intruzemi granitoidních těles kambro-ordovického typu. Ty prošly spolu s metasedimenty lužické drobové formace prekambriického stáří hlavní fází regionální metamorfózy v průběhu Variského vrásnění. Výsledkem je poměrně pestrá škála migmatitizovaných slídnatých rul, dvojslídnych ortorul a těles komplexů křemenných žil protkávajících celý masiv. K nim přistupují ještě čočky mramorů, kvarcitů a metabazik a žíly aplitů i lamprofyrů prorážející během intruze plutonického masivu do tělesa ortorul podél starších paleozoických i novotvořených variských puklinových systémů a pruh kontaktně metamorfovaných rul aureoly Krkonoško – Jizerského plutonu.

Severní hranici tělesa tvoří konkordantní hranice s intruzí plutonu probíhající po linii Sněžka – Krakonoš – Kotel – Plešivec a dále ve směru Kořenov – Tanvald – Kokonín až k tělesu vrchu Hraničnick. Zde zapadá k jihozápadu pod příkrov Ještědského krystalinika podél hlubokého poklesového zlomu směru SSZ-JJV. Jižní hranici pruhu ortorul tvoří nejprve pásmo Lužického zlomu a poté je z východu překryt tektonicky oddělenými výběžky paleozoických příkrovů Železnobrodského krystalinika v prostoru Skuhrov - Maršovice. K východu pokračuje jen jeho nejsevernější část omezená na jihu nepravidelným pásem nasunutých kvarcitů Černá studnice – Muchov – Hvězda. Hranice pak vede k jihu výběžkem Javorník a pokračuje na východ v prostoru Jablonce nad Jizerou na Preislerův vrch a Černou skálu, kde horniny Železnobrodského krystalinika pronikají výběžkem ke Špindlerovu Mlýnu. Tam zahýbá opět k jihu a svým okrajem obtáčí dílčí klenbu s pozicí centra na Liščí hoře po linii Šeřín – Žalý, poté přímým tektonicky predisponovaným údolím Horní Vrchlabí – Janské lázně a pak k severu na Horní Maršov a roklí Lysečinského potoka až ke státní hranici.

Na plochu skupiny Krkonošských ortorul zasahují dílčí povodí řeky Jizery jen svými částmi. Nezápadnější cíp území odvodňuje Mohelka v úseku od pramene až k Hodkovicím nad Mohelkou, kde říčka překračuje zónu lužického přesmyku. Úzký pruh ortorul překračuje Kamenice na úseku Velké Hamry – Tanvald a Jizera pokrývající svým povodím nejprve oblast od soutoku s Mumlavou zhruba k Blansku u Jablonce nad Jizerou a pak areál v okolí Skuhrova odvodňovaném Huntřovským potokem a přidruženými toky do oblouku Jizery u Líšného.

2.3.2.1. b) Geologická historie území

Radiometrická stáří granitových intruzí v rozmezí asi 500 – 515 Ma poukazují na konec kambria a souvisí s vulkanickou činností provázející počátek oddělování útržku Lugika od Gondwanského kontinentu. Granitové intruze byly tedy posttektonické a na jejich teplotní a tlakové postižení měla vliv pouze rozsáhlá regionální metamorfóza v periodě Variského vrásnění (Chlupáč, 2002). V důsledku toho sledují hlavní zlomová pásma a metamorfní textury ortorulového tělesa tvar klenbové struktury, jejíž střed je přetištěn intruzí Krkonošsko – Jizerského plutonu. Na sledovaném území převažují struktury směru Z-V. Ve východní části obtáčí zmíněné těleso dílčí klenby kolem Liščí hory a dále míří rovnoběžně s hranicí území ortorul k S a SSV na polské území. Zlomová pásma sledující tyto směry i zlomy lužického směru spojené se střížnými deformacemi ve spodním karbonu byly během metamorfózy na velké části míst vyhojeny křemenem nebo směsným materiálem křemene a živců vzniklém při parciálním natavení horniny. Po odeznění Variských horotvorných procesů došlo obdobně jako v případě plutonu k postupné reaktivaci zlomů, která vyvrcholila v terciéru během období Saxonské tektogeneze. Tento proces vedl opět k otevření puklin propustných pro podzemní vodu.

2.3.2.1. c) Tektonika

V západní části tělesa Krkonošských ortorul, kam spadá malý úsek povodí Jizery, je dobře propustný především systém zlomů paralelních s Lužickým přesmykem a přidružený systém vedlejších zlomů kolmých k lužickému směru. Ortoruly vystavené deformacím projeví většinou nižší pevnost oproti výplním žil. Mechanická heterogenita přispěla ke koncentraci působícího napětí v těsné blízkosti kompaktní žilné výplně. Proto se zde nové trhliny otvíraly přednostně podél prvotních žilných systému, následkem čehož došlo na mnoha místech ke zmnožení puklinové sítě. Ve srovnání se zlomy v Krkonošsko – jizerském plutonu je tedy síť pronikající ortorulovým masivem hustší – ovšem s užšími trhlínami (Misař, 1983). Rychlejší průběh spínání stěn puklin v ruly s hloubkou je při povrchu zpravidla kompenzován vyšším počtem souběžných trhlín v rámci jediné zlomové zóny. Klastická výplň žil záleží na zrnitosti horniny a je zde doplněna i malým podílem jílovité složky kvůli vyššímu obsahu slíd v rozdrčené hornině. Propustnost trhlín v ortorulách tedy kolísá podle velikosti hrubších drčených částic a podílu jemnozrné komponenty bezprostředně závisícím na petrologickém složení okolní ruly a také podle jejich exponovanosti vůči proudění podzemní vody. Zlomové zóny na území členitého reliéfu v poli vysokého hydraulického gradientu, kde dochází k průběžnému vymývání jemných částic, mohou zůstat velmi propustné až do velkých hloubek. Jedinečným příkladem popsaného fenoménu je vydatný vývěr teplice v Janských lázních, který pramení právě ze zlomové zóny v Krkonošských ortorulách – ačkoli jeho výstupní cesta již proniká krystalinikem.

2.3.2.1. d) Reliéf a pokryv

Krkonošské ortoruly nemají uniformní mechanickou odolnost srovnatelnou s libereckou žulou. Horniny prošlé metamorfózou dosahující až do podmínek vyšší amfibolitové facie a částečnou migmatitizací byly v partii přilehlé k plutonu retrográdně metamorfovány při výzdvihu centra klenby a poté znovu tepelně přeměněny a nataveny kontaktní metamorfózou granitové intruze Krkonošsko – Jizerského plutonu a intruze přidruženým žilným systémem. Tvar reliéfu proto silně závisí na petrologickém složení horniny v daném místě a kolísá od hornatého terénu masivních ortorul mezi Žalým a Černou horou přes ostré kvarcitové hřbety allochtonního původu v prostoru Maršovice – Tanvald – Rokytnice k reliéfu vrchoviny na migmatitizovaných rulách v okolí Rychnova u Jablonce nad Nisou. Po chemické stránce se ale jedná o horniny dosti stabilní, jež lépe odolávají erozi v důsledku působení vody. Zejména hrubozrnné partie podléhají jen velmi obtížně nekongruentnímu rozkladu živců na jílové minerály. Vyšší obsah slíd ale působí rychlejší rozvolňování jemnozrnných částí horniny a zvyšuje účinnost eroze proudící vody na exponovaná místa.

Převážnou část pokryvu tvoří aluviální svahové sedimenty, říční usazeniny a místy eluvia uložená na temenech plochých soustav kopců. Zóna povrchového rozpuštění je celkově hlubší oproti Krkonošsko – Jizerskému plutonu, ale hůře propustná díky jemnějšímu složení klastické výplně. V oblastech s pozvolnějším reliéfem leží akumulární prostory dovolující usazení významnějších mocností svahových i říčních sedimentů. Na místech s mírnějším hydraulickým spádem dochází k ukládání jemnější jílové frakce sedimentů. Místní kvartérní pokryv hlinito – písčitého charakteru je dobře propustný pro freatickou vodu. V areálu mimo povodí Jizery se rovněž nachází plocha odpovídající charakteristice horského mokřadu – jedná se o Černoohorské rašeliniště nacházející se nad údolím Janských lázní s velkou mocností uložených organických sedimentů.

Na území Krkonošských ortorul opět převažují mělké lehké propustné písčité půdy rankerového a podzolového typu, které leží na zvětralinovém plášti. Na některých rovnějších plochách se staly základem pro uměle kultivované zemědělské půdy, zejména v okolí Rychnova u Jablonce nad Nisou a v malé míře i kolem Rokytnice nad Jizerou. Ostatní plochy bez lesního porostu se využívají jako louky a pastviny. V důsledku nízkého obsahu živin ve vodě i v půdě jsou místní zemědělci nuceni pole přihnojovat – buď přírodními materiály, jako je chlévská mrva, nebo častěji zejména umělými vícesložkovými hnojivy dodávajícími kromě dusičnanů i sérii stopových prvků nezbytných pro lepší růst plodin. Bohužel vzhledem k vysoké propustnosti půdy a její malé sorpční kapacitě jsou hnojiva z valné části vyplavena při nejbližších srážkách a končí v nejbližším povrchovém toku.

2.3.2.1. e) Stručná hydrogeologie

Systém říční sítě je na skalním podloží plně závislý na mechanické odolnosti horniny. Řada toků vytváří údolí podél tektonicky oslabených zón a tvar resp. otevřenost údolí odpovídá v daném místě schopnosti ortoruly vzdorovat narušení především ze strany vodního a mrazového zvětrávání. Díky dobré propustnosti sedimentů je zajištěna vysoká úroveň komunikace freatické a povrchové vody. Místní freatická voda má kvality srovnatelné s vodou Krkonoško – Jizerského plutonu : nízké pH, vyšší Eh potenciál a slabou mineralizaci typu Na – HCO₃. Na území se vyskytují drobné svahové, případně i suťové prameny. Prameny s velkou vydatností jsou všechny přímo vázány na propustné zlomové zóny dotované sítí trhlin povrchového rozpukání horninového masivu nacházejícího se zpravidla v blízkém okolí pramene. Vyšší hustota zlomového systému ale může za příznivých okolností podporovat komunikaci hlubokého oběhu podzemní vody i na větší vzdálenosti – to záleží na průběžnosti puklin, případně i na míře jejich zanesení jemnějšími částicemi. Jako kvalitní zdroje vody mohou sloužit zmíněné puklinové prameny nebo vrty zasahující propustnou zlomovou zónu. Mělké vrty a studně mohou zejména v oblastech s pozvolnějším reliéfem zasahovat freatickou zvedně ležící v silnější mocnosti svahových a fluvialních sedimentů a v podložní zóně rozpukání horniny. Takové zdroje mohou díky propojení hladiny s blízkým tokem vynikat velkou vydatností, zásobnost pak záleží na hloubce zvodnělé zóny. Hlubší podzemní voda na území Krkonošských ortorul často vyniká dobrou jakostí díky ochraně a čistotě dotační oblasti. Freatická voda je naproti tomu na většině lokalit horší kvality vinou širšího osídlení a lokální zemědělské činnosti. Bez vodárenského zpracování s ní lze počítat pouze jako s vodou užitkovou.

Oblast Krkonošských ortorul je silně zranitelná vůči kontaminaci. Podobně jako v případě Krkonoško – Jizerského plutonu je rychlé zasáknutí a šíření polutantu umožněno kombinací faktorů : vyšší roční úhrny srážek + vysoká propustnost půdy, podloží a puklinového systému + vysoká hladina podzemní vody + rychlá komunikace mezi vodou podzemní a povrchovou. Podobně může k rozvlečení kontaminantu přispět i nešetrné čerpání. Pro zadržení nebezpečné látky je též podstatný podíl materiálu schopného chemicky či fyzikálně vázat látku na místě a zpomalit její rozptyl adsorpčně – desorpčními procesy. Sorpční kapacita půdního profilu a pokryvných útvarů na většině sledovaného území je limitována nízkým obsahem jílovité složky a reziduální organické hmoty schopné děle vzdorovat rozkladu v oxických podmínkách mělkých zvodní. Na některých lokalitách s větší mocností usazenin v plošším terénu ale dochází k zachování větší části reziduálního organického materiálu. V povodí Jizery leží takové místo v prostoru Skuhrova a Rychnova u Jablonce nad Nisou, který je zároveň hustěji osídlenou oblastí s vyšším rizikem znečištění vodních zdrojů. Stejně jako v předchozím případě, je i v této oblasti nezbytný pravidelný monitoring jakosti podzemní a povrchové vody, aby v případě znečištění mohl být zahájen rychlý sanační zásah. Zejména na místech velkých aglomerací je také třeba dbát na účinný provoz čistíren odpadních vod. Znečišťování působené hnojivy lze přinejmenším omezovat vhodnějším výběrem plodin snášejících chudou půdu (např. vojtěška nebo brambory) nebo alespoň častějším hnojením ve výrazně menších dávkách.

2.3.2.2. Ještědské a Železnobrodské krystalinikum

2.3.2.2. a) Vymezení oblasti

Komplexy Ještědského a Železnobrodského krystalinika jsou tvořeny skupinami různorodých sedimentů stáří kambria až devonu, které byly v průběhu Variského vrásnění intenzivně deformovány, tepelně i tlakově metamorfovány a nasunuty ve formě příkrovů přes jižní a jihozápadní okraj autochtonního pozůstatku fundamentu Lugika zastoupeného zde skupinou Krkonošských ortorul a na SZ okraji cípkem tělesa Lužického plutonu. Původní rozsah uložení těchto alochtonních hornin byla redukována erozí a na řadě lokalit zůstaly na ortorulovém podloží přítomné jejich denudační zbytky. Proto je v případě Železnobrodského krystalinika vymezení severní hranice rozlohy masivu neurčité.

Ještědské krystalinikum tvoří na mapě útvar blízký protáhlému trojúhelníku s přibližnou polohou rohů v obci Víška východně od Chrastavy, u Kostelního vrchu nad Jítravou a v prostoru vesnice Žďárek u Hodkovic nad Mohelkou. Území je z jihozápadu překryto násunem Lužického zlomového systému a východní okraj tvoří šikmý poklesový zlom oddělující krystalinikum od tělesa plutonu a Krkonošských ortorul. Severní linii trojúhelníku vymezují zlomy puklinové sítě hranice granitoidů Lužického plutonu a Hrádeckého masivu, jehož plášť rovněž obsahuje metamorfované pozůstatky paleozoických hornin. Na Ještědské krystalinikum zasahuje horní část povodí toku Oharky až k linii Vlčetín – Hodkovice nad Mohelkou a horní část povodí Ještědky až na linii Vlčetín – Rozstání.

Železnobrodské krystalinikum je kompaktním tělesem rozkládající se od prostoru Železného Brodu k Vrchlabí, sahající na sever na území Velkých Hamrů, Jablonce nad Jizerou a Vítkovic. Jihozápadní okraj mezi obcí Koberovy a Kozákovem zapadá do Lužické zlomové zóny. Tektonická hranice oddělující Krystalinikum od výplně permokarbonské Podkrkonošské pánve běží od Kozákova na východ. Před Semily uhýbá po vedlejším zlomu k severu k obci Bozkov, odkud opět pokračuje k východu přes Horní Sytovou, tektonicky predisponovaným údolím Jizerky a od Hrabačova v jeho prodloužení až k Vrchlabí, kde plynule přechází do Rýchorského krystalinika. Východní hranici omezuje erozní rozhraní porušených krystalinických hornin vůči vystupujícímu masivu odolných Krkonošských ortorul. Rozhraní prochází západně pod vrchy Žalý, Šeřín a Černá skála kolem níž zasahuje krystalinikum úzkým jazykem do deprese Špindlerova Mlýna. Nepravidelná hranice pak běží k západu po nejsevernější souvislé linii erozí zachovaných hornin krystalinika kolem Preislerova vrchu přes Blansko u Jablonce nad Jizerou, obtáčí z jihozápadu vrch Javorník k rokli Rejdického potoka a pak sleduje k ZJZ pruh kvarcitů Muchov – Černá studnice. Odtud prochází tektonicky roztržštěný okraj reliktních útržků krystalinika, jež se zachovalo na pokleslých blocích rulového podloží, prostorem Skuhrova západně od Železného Brodu zpět ke Koberovům.

Území Železnobrodského krystalinika se překrývá se středním úsekem povodí Jizerky od soutoku s Kozelským potokem k Hrabačovu a pravobřežní částí povodí až k soutoku s Jizerou. Povodí jizery prochází krystalinikem nejprve v úseku od Blanska k soutoku s Jizerkou, kde odtéká do SZ cípu Podkrkonošské pánve. Z oblasti permokarbonu vytéká v Bitouchově u Semil a odvádí vodu z plochy krystalinika mezi

Železným brodem a Kozákovem. Krystalinikum severně a severovýchodně od Železného Brodu spadá do povodí potoka Žernovnika a dolního toku Kamenice mezi Velkými Hamry a soutokem s Jizerou.

2.3.2.2. b) Geologická historie

Na základě radiometrických dat udávajících stáří metabazitů 515 – 480 Ma a paleontologických důkazů zachovaných v některých fylitových sekvencích je prokázán vznik protolitů obou krystalinických celků v období spodního paleozoika. Jednalo se o mořské usazeniny typu prachovitých břidlic a drob, k nimž se v sekvencích ordovického a silurského stáří připojila četná tělesa pískovců, slepenců, vulkanických sedimentů a místy i vápenců a vápnitých břidlic. Sedimentační prostor se nacházel na dně moře oddělujícího Tepelsko – Barrandienský a Lugický fundament před počátkem Variské orogeneze. V počáteční fázi Variské orogeneze byly vystaveny silné příčné deformaci a poté vytlačeny k severozápadu ze vzniklé subdukční zóny ve formě několika vln kompaktních příkrovových těles (Chlupáč, 2002). Během obdukčního procesu došlo k reekvilibraci hornin na úroveň metamorfózy nízké amfibolitové facie a facie zelených břidlic. Tímto způsobem došlo k metamorfni a patrně i stratigrafické inverzi. Nejmladší příkrovy metamorfované ve spodní facii zelených břidlic se stářím odpovídajícího přelomu devon – karbon se nalézají pouze v západním rohu Ještědského krystalinika (Chlupáč, 2002). Silurské metasedimenty tvoří základ Ještědského pohoří a zasahují i na západní partii Železnobrodského krystalinika. Metamorfity dosahující amfibolitové facie mají kambroordovické stáří a nalézají se v nejbližší skupině příkrovů nasunutých přes autochtonní formace hornin až do východní části Rýchorského krystalinika. Komplex je nyní tvořen silně deformovanými skupinami chloritických a sericitických fylitů, grafitických fylitů, kvarcitů, mramorů, erlánů a metabazik typu zelených břidlic. V obdobích postvariských deformací vrcholících Saxonskou taktogenezí došlo k rozsáhlému rozpuštění fylitových komplexů a vzniku hlavních zlomových struktur rovnoběžných s Lužickou poruchou. Postupem času byla také značná část těles příkrovů denudována, čímž došlo a na některých místech zůstaly jen ostrůvky výskytu na autochtonním podloží – například ostrůvky fylitů zakleslé v rulách u Skuhrova nebo fragmenty erozi vzdorujících kvarcitů na rulovém podloží v okolí vrchu Hvězda.

2.3.2.2. c) Tektonika

V prostoru Železnobrodského a Ještědského krystalinika převládají hlavní zlomové systémy Lužického směru sledující převládající směr vrásových os. Tyto systémy byly také největší měrou reaktivovány během Saxonské tektogeneze. Významné jsou ale i zlomové poruchy tzv. jizerského směru SSV-JJZ související s postvariskou tektonikou a otevíráním systému brázd při relaxaci orogénu. Během nárůstu napětí S-J směru vyvolaného vrásněním Alp pak často docházelo k jejich rozevření v režimu tenzních puklin (Mísař, 1983). Mimo jmenované systémy reagovaly horniny fylitových pásem na růst napětí tříštěním oslabených poloh např. vrásových os a vznikem sítě mikrotrhlin podél i napříč foliací umožňující měnit tvar horninových celků. Výsledný efekt je makroskopicky podobný duktilním deformacím. Puklinová síť je v prostředí fylitů velmi hustá, ale jejich rozevření je takřka

zanedbatelné, průběžnost jednotlivých trhlin je velmi krátká a jen nepatrné množství z nich je přímých. Trhliny v zóně povrchového rozpukání se s hloubkou rychle spínají a ještě rychleji vyplňují klastickým materiálem (Hynie, 1961). Vznik každé pukliny v deformovaných fylitech vede k jemnému tříštění stěn a zanášení prostoru pukliny prakticky nepropustným materiálem. Jediné širší trhliny se nacházejí v odolnějších tělesech kvarcitů, erlánů a mramorů (krasové procesy viz. dále). Pokud se ale jejich tělesa nacházejí pod úrovní místní erozní báze, je též velmi pravděpodobné jejich nepropustné uzavření materiálem krystalických břidlic. V případě, že však taková tělesa sama vytváří terénní elevace, umožňuje jejich řídký a propustný systém puklin přístup ke kvalitní podzemní vodě. Hustota trhlin umožňuje freatické vodě v zóně povrchového rozpukání dobře proudit ve směru spádnice, ale jejich propustnost rychle klesající s hloubkou omezuje rychlejší proudění jen na mělkou vrstvu pod povrchem horniny. Hlubší propustné trhliny jsou velmi vzácné, proto se podzemní voda soustřeďuje na velké zlomové systémy, a to pouze na ty, kde vysoký hydraulický gradient podmíněný členitým terénem neumožní sedimentaci jemnějších částic schopných zanášet zlom (Hynie, 1961).

2.3.2.2. d) Reliéf a pokryv

Mechanická odolnost fylitů klesá s jemností jejich foliace a deformačním postižením. Proto se zde říční síť soustřeďuje především do tektonicky oslabených částí fylitových komplexů, v nichž proniká erozní báze hluboko do zlomově narušených nebo jemně foliovaných zón. Tento jev je zvláště patrný v povodí Jizery, Kamenice a Žernovníku. Vytváří to typický reliéf krajiny s úzce zaříznutými údolími a kopci s plochými temeny, které jsou tvořeny méně porušenými fylity, nebo v případě Kamenice - odolnějšími zelenými břidlicemi. V povodí Jizerky se díky metamorfni inverzi nalézají kompaktnější fylity s vyšším stupněm metamorfózy zpevňující vrstvy foliací druhotně vysráženými minerály. Pro reliéf Ještědského krystalinika je zase klíčová přítomnost velkého množství hornin s dobrými mechanickými vlastnostmi – metabazitů, krystalických vápenců a především kvarcitů, jež tvoří typické ostré hřebety a vrcholy. Stejný dopad na reliéf krajiny má ale přítomnost kvarcitových těles i při severním okraji Železnobrodského krystalinika a na přilehlém masivu Krkonošských ortorul.

Pokryv krystalinika se díky chemickému zvětrávání vyznačuje menší mocností eluviálních sedimentů na rovných plochách, ale větší mocností svahovin. Díky vyššímu obsahu jílových minerálů z horninových zvětralin jsou oba typy pokryvu hůře propustné a schopné zadržovat vodu. Kvůli úzkým údolím vodních toků mají tělesa propustných fluviálních sedimentů většinou jen malou rozlohu. Na většině území převažují písčito hlinité půdy rankerového a podzolového typu. Výjimku tvoří těžší půdy s velkým obsahem jílové komponenty nacházející se na mocných eluviích ploché oblasti v okolí Vysokého nad Jizerou. Zemědělská činnost je rozšířena především na výše položených partiích terénu s mírnějším sklonem. Díky vyššímu obsahu živin v půdě není větší míra hnojení nutností, ale pouze otázkou volby. Přesto si většina zemědělců pomáhá především dusíkatými hnojivy kvůli zvýšení úrody. Promývané lehké půdy také mají nižší sorpční kapacitu v důsledku nedostatečného podílu organické i jílové komponenty.

2.3.2.2. e) Stručná hydrogeologie

O utváření říční sítě jsem se již zmínil v souvislosti s reliéfem. Je nutné poznamenat, že freatická zvodeň je vinou špatné propustnosti hlubších partií puklinové zóny poměrně mělká a nižší propustnost půdy a aluviálních sedimentů lehce omezuje její komunikaci s vodou povrchovou. Plocha území má tak horší schopnost akumulovat velké přísuny srážkové vody. Freatické vody na území krystalinika dosahují vyšší mineralizace díky obohacení rozpuštěnými karbonáty a vyššími obsahy Na, K, Mg, Fe, Mn z minerálních asociací fylitů, metabazitů a mramorů. Hodnota pH vody se pohybuje kolem 6. Rozptýlené svahové prameny jsou dotovány mělkou freatickou vodou a vyznačují se malou vydatností i zásobností. Protože na sledovaném území krystalinika se prakticky nevyskytují propustné zlomové struktury schopné vést podzemní vodu na velké vzdálenosti a k udržení jejich propustnosti je třeba vysoký spád, jsou vydatné prameny vázány na blízkost sběrného území srážkové vody. Ve fylitech jsou proto vydatnější prameny vzácné a vždy leží na lokalitách, kde se nalézají širší propustné zóny v místech křížení zlomových systémů a kde je dotační oblast pramene posazena vysoko nad jeho ústím. Ve většině případů je dotačním územím pramene masivní těleso odkrytých kvarcitů, metabazitů či krystalických karbonátů, jenž se vyznačuje řidší a propustnější puklinovou sítí schopnou lépe jímat a odvádět freatickou vodu do hlubšího oběhu. Zásobnost takových pramenů závisí na pravidelnosti přísunu srážkové do dotační oblasti.

Důležitou výjimku z popsaných hydrogeologických poměrů tvoří čockovitá tělesa krystalických karbonátů s vyšší chemickou čistotou. Podél relativně řídké trhlinové sítě pronikající karbonátovým útvarům může při dostatečné rychlosti proudění podzemní vody dojít k rozpouštění obsaženého kalcitu a ke vzniku pseudokrasového nebo krasového systému dutin. Ukázkovým příkladem je zde systém Bozkovských dolomitových jeskyní nacházející se v masivním tělese slabě rekrystalovaného karbonátu s nízkým obsahem nečistot. Takový systém dovoluje rychlý transport podzemní vody na velké vzdálenosti omezené pouze rozlohou karbonátové čocky a původním tvarem puklinové sítě. Systém ale postrádá akumulaci schopnost. Zásobnost pramene ve zkrasovělém karbonátovém tělese plně závisí na rozloze akumulaci oblasti, již krasový systém pouze drenuje.

Využitelnost vodních zdrojů jímajících freatickou vodu je v oblasti krystalinika kvůli malé vydatnosti nízká. Za významné vodní zdroje v oblasti Ještědského a Železnobrodského krystalinika slouží hlubší studny a vrty napájené z propustné zlomové zóny či krasové dutiny, nebo ploché náplavy říčních sedimentů filtrující jímanou povrchovou vodu. Jakost povrchové a freatické vody nepříznivě ovlivňují lokální zdroje komunálního znečištění v prostoru větších obcí a zemědělského znečištění z obdělávaných ploch. Z toho důvodu je lze bez vodárenské úpravy jímat pouze pro užitkové účely. Jakost podzemní vody je vysoká především díky pomalé filtraci trhlinami krystalinika zanesenými jemnější výplní, ale její zdroje jsou vzácné.

Zranitelnost zdrojů povrchové a freatické vody je na většině území vyšší vinou mělké zvodně, jenž je před průnikem polutantu chráněna pouze tenkou vrstvou půdy. Vertikální zonalita výplně puklinové sítě v prostředí fylitů umožňuje plošné šíření znečištění, ale brání rychlému zasáknutí kontaminace do hloubky horninového podkladu. Podíl karbonátů ve zvětralinovém pokryvu pomáhá pufrovat porušení rovnováhy pH a obsah komponenty jílu, HFO a organické hmoty dovoluje širší

uplatnění sorpčních procesů schopných omezit rychlost rozšiřování kontaminovaného prostoru. Pro ochranu zmíněných vodních zdrojů je podstatná především včasná lokalizace znečištění díky pravidelnému monitoringu a rychlé uplatnění sanačních postupů, jelikož v případě úniku polutantu prakticky nelze zabránit jeho průniku do nasycené zóny. Vysoce zranitelná jsou ale tělesa a čočky vložek masivnějších hornin vystupující na povrch. Na těchto plochách je nejdůležitější prevence znečišťování, jelikož dobře propustný povrch, hluboká síť puklinového a v horším případě krasového systému vede k velmi rychlému rozvezení polutantu do širokého areálu a aktivní sanační postupy se zde po znečištění puklinového systému jeví málo účinné. Řada zmíněných masivů naštěstí tvoří krajinné dominanty a je předmětem ochrany přírody. V případě dalších komplexů brání výstavbě a hospodářské činnosti prudký spád terénu. Ostatní tělesa s dobře propustným systémem trhlin však vyžadují ochranu nebo alespoň zvýšenou pozornost ze stran monitorování jakosti vody. Hlavní zdroje komunálního znečištění – větší obce a města – se zpravidla nacházejí v bezprostřední blízkosti povrchových toků a jejich propustných uloženin, kde hrozí zvýšené riziko znečištění a jeho rychlému rozšiřování vodním tokem. Odpovědí je nutná častá kontrola jakosti vody a provozů čistíren odpadních vod.

2.3.2.2. f) Báňská činnost na území krystalinika

Zvláštní pozornost vyžadují malé, ale důležité lokality v prostoru Krkonošsko – Jizerského krystalinika, na nichž se nalézají stará důlní díla. Způsobem hlubinné těžby zde bylo dobýváno polymetalické zrudnění žilových systémů provázejících intruzi Krkonošsko – Jizerského plutonu – speciálně železné a měděné rudy. Jedná se o malá území u Harrachova, Desné, Roprachtic a Lhotky u Jesenného. Větší těžební prostory se nacházejí v areálech Rokytнице nad Jizerou, Poniklé, Škodějova, prostor severně od Jesenného a dvě lokality v areálu Železného brodu (Chlupáč, 2002).

Poslední důlní díla ukončila svou činnost ještě v 1. polovině dvacátého století. Síť šachet a štol představuje dobrý potencionální drenážní systém nadloží a přilehlých propustných puklin jímajících podzemní vodu. Naštěstí je puklinový systém v oblasti Železnobrodského krystalinika jen málo propustný a na komplexu skupiny Krkonošských ortorul dosti řídký. Zmíněné důlní prostory jsou většinou zcela nebo alespoň částečně zatopené. Nemají proto velký vliv na systém proudění podzemní vody a jsou vyplněny stagnující nebo jen pomalu proudící vodou. Hlavním zdrojem kontaminace jsou na důlních lokalitách tělesa deponií, která v důsledku promývání srážkami uvolňují kyselé síranové vody s vysokými obsahy rozpuštěných kovů. Největší riziko představuje obecně obsah As zjištěný na všech lokalitách a v prostoru Rokytнице i malé množství Cd uvolňované ze zinkové rudy. Sanační opatření zamezující infiltraci srážek do těles deponií však byla v malé míře podniknuta pouze v okolí Železného Brodu.

2.3.3. Podkrkonošská pánev

2.3.3. a) Vymezení oblasti

Podkrkonošská pánev je součástí systému limnických permokarbonských pánví probíhajícího v mírném oblouku od Stodu u Plzně přes celý střed českého masivu až do Broumovského výběžku. Výplň pánve tvoří pestrá směs slabě diageneticky zpevněných sedimentů od jílových lupků k hrubě zrnitým arkózovým pískovcům a slepencům. Pánev je ze západu, severu i východu oddělena od okolních horninových celků a na jihu zapadá pod křídové sedimenty. Západní okraj vymezuje rozvětvená zlomová zóna Lužické poruchy probíhající po dobře patrném hřebenu kopců od Kozákova přes obce Rovensko pod Troskami a Cidlina až ke vsi Dřevěnice. Odtud pokračuje nepravidelná hranice tvořená denudačními zbytky křídového pokryvu k Horní Nové Vsi u Lázně Bělohrad a z jihu obchází masiv Zvičiny po linii Vřesník – Zábřeží – Bílá Třemešná – Mostek. Od Mostku probíhá velmi roztržitý okraj k východu prostorem Hajnice a Červeného Kostelce až k systému poklesových a přesmykových zlomů Hronovsko – Poříčské poruchy. Jihovýchodní výběžek pánve zasahující k Náchodu je zde v úzkém S-J pruhu překryt reliktem křídových usazenin. Hranice pánve míří k SZ podél zlomového systému oddělujícího Podkrkonošskou a Vnitrosudetskou pánev přes Horní Poříčí, Bohdašín, Malé Svatoňovice a východně od Poříčí u Trutnova až do prostoru obce Babí, kde leží tektonická hranice s paleozoikem Rýchorského krystalinika. Hranice s krystalinikem vede na západ přes Mladé Buky a Čistou k severnímu okraji Vrchlabí, Hrabačovu, Horní Sytové a Bozkovu. Od Bozkova uhýbá okraj podle dílčího zlomu na jih skrze Bitouchov, a pak pokračuje ke Kozákovu na západ.

Vlastní povodí Jizery zasahuje pouze do cípu území Podkrkonošské pánve mezi Bitouchovem u Semil a Horní Sytovou. Levé přítoky říčky Jizerky odvádí vodu z prostoru Jilemnice s Martinic, jehož východní okraj tvoří hranice povodí Labe. Mezi Radostnou u Kozákova a Stružncem vybíhá do oblasti permokarbonského podlouhlý pruh patřící k severní části povodí Libuňky. Největší část Podkrkonošské pánve ale spadá do dílčího povodí řeky Olešky. Jedná se o rozsáhlou oblast s jižní hranicí probíhající po linii Kozákov – Lomnice nad Popelkou – Nová Paka – Horka u Staré Paky. Odtud pokračuje na SSZ k Rovnáčovu, kde navazuje na dílčí povodí Jizerky a uzavírá hranici hlavního povodí Jizery v Podkrkonošské pánvi.

2.3.3. b) Geologická historie a stratigrafie

Po ukončení hlavní kompresní fáze Variských horotvorných procesů v Českém masivu došlo k relaxaci orogénu a následného propadu velkých bloků horninových celků podél tektonicky oslabených zón a vzniku systému limnických intramontánních pánví, jež byly rychle vyplňovány erodovaným materiálem z okolních vyzdvižených celků pohoří. Během vyzdvižení Variského vrásnění byla rychlost subsidence dna jezerních pánví značně nerovnoměrná a působila vysokou heterogenitu jejich sedimentární výplně ve vertikálním i horizontálním směru (Chlupáč, 2002).

Sedimentace v Podkrkonošské pánvi započala koncem období westphal, kdy došlo k poklesu úzkého bloku hornin v prostoru příkrovů Labské subdukční zóny a vzniku jezerní oblasti napájené sítí krátkých divočících řek přinášejících do pánve velké objemy špatně vytríděných fluviálních usazenin. Již během sedimentace docházelo vlivem nepravidelného poklesu podložních bloků k pozvolným synsedimentárním deformacím pánevní výplně a také k ukládání různě zrnitých usazenin v různých částech pánve. Vlivem lokálních změn říční sítě jsou navíc souvislejší vrstevní celky protkány sériemi čoček odlišné zrnitosti malého i většího plošného rozsahu. Sedimentační záznam také provází řada hiátů indikujících období zastavení subsidenčních pohybů a erozi uložených klastik. Období rychlého prosedání pánve počínajícího koncem westphalu vedlo k uložení velké mocnosti brusnických vrstev prachovců a jílovců s častými polohami hrubších sedimentů na nevytríděných bazálních klastikách. V časovém rozmezí spodní – střední stephan následovala sedimentace lépe vytríděných štikovských arkóz. Ve středním stephanu pak došlo ke zpomalení poklesu pánve a vzniku rozsáhlého jezera ukládajícího jemnozrnné usazeniny syřenovského souvrství jílovců a prachovců s občasnými polohami přeplavených tufů nebo sedimentů výrazně obohacených organickou složkou, mezi nimiž lze místy nalézt i tenké uhelné slojky. Po krátkém hiátu přišlo ve svrchním stephanu opět období rychlejší nepravidelné subsidence provázené usazováním semilského souvrství pískovců s polohami prachovců, jílovců a slepenců. V souvrství se nalézají také prostorově omezené čočky silicitů, vápenců a uhelných slojek (Chlupáč, 2002).

V permu v období autunu následovala sedimentace po krátkém hiátu vrchlabským a prosečenským souvrstvím, která byla opět tvořena polohami prachovců a pískovců s čočkami jílovců, tufů, vápenců a silicitů. Chotějovické souvrství završující autunskou sedimentaci od nich odděluje krátký hiát a souvrství tvoří hrubší usazeniny pískovců a slepenců. V období autunu také došlo v západní části pánve k četným efuzím bazických vulkanitů provázených jen malým množstvím pyroklastických a tufových vulkanických produktů. Vznik těchto těles je spojen s rozvojem tektonické aktivity na zlomech v podloží, jenž s nástupem saxonu následně vedla k dílčímu poklesu ve východní části pánve. Došlo tak ke vzniku hlubší Trutnovsko – Náchodské deprese, která uchovala před erozí přerušovaný sedimentární záznam - na jihovýchodním okraji až do počátku spodního triasu. Trutnovská, Bohuslavická a Bohdašínská souvrství oddělená navzájem hiáty se vyznačují další postupně hrubnoucí zrnitostí přítomných pískovců, slepenců a arkóz a rovněž vrstvami karbonátových i sádrovcových konkrecí a krust vysrážených v důsledku teplejšího aridního klimatu. K saxonské sedimentaci docházelo v menším měřítku i mimo Trutnovsko – Náchodskou depresi, ale téměř všechny tyto usazeniny podlely pozdější denudaci. V průběhu Saxonské tektogeneze došlo k reaktivaci a rozšíření zlomové sítě pronikající pánví. Jednotlivé bloky poklesaly do různých hloubek a ještě více porušily souvislý průběh vrstev pánevní výplně. Z tohoto důvodu je situace ohledně proudění podzemní vody v pánvi značně komplikovaná (Hynie, 1961).

2.3.3. c) Tektonika

Pánevní blast představuje protáhlé synklinorium s osou směru Z-V. Největší hloubky sedimentů dosahuje blízko střední osové části, zatímco podložní karbonské sedimenty vystupují k povrchu místy podél severní a jižní hranice. Osa pánve upadá k východu až do k prostoru Trutnovsko – Náchodské deprese. Zde se stáčí synklinální prohnutí vrstev na JV podél směru Hronovsko- Poříčského zlomu pod křídové sedimenty, kde sedimentační prostor původně navazoval na systém Boskovické brázd. Díky erozi je na jižním křídle synklinály přímo odkryto podloží představované fylitovým prahem Zvičiny. Na území pánve sleduje dominantní zlomový systém směr Lužické poruchy a směr jizerský (Mísař, 1983). Významné jsou také zlomové struktury sledující směr osy pánve Z-V. Zlomové struktury sice probíhají prakticky až k podloží pánve, ale s hloubkou rychle roste jak jejich sepětí, tak i zanesení a nepropustnost výplně. Zvláště při průchodech jemnozrnnými vrstvami prachovců a jílovců došlo často nejen k zanesení v místě polohy, ale i k zatěsnění větší plochy zlomu procházející propustnějšími pískovci a arkózami. Na území povodí Jizery byly spolu se sedimenty tektonicky postižena i tělesa vulkanitů. Trhliny ve vulkanitech jsou blízko u kontaktu se sedimenty většinou zanesené a lepší propustnosti dosahují v centrech masivů, ale jejich síť je řídká a vzájemná komunikace trhlin omezená.

2.3.3. d) Reliéf a pokryv

Reliéf Podkrkonošské pánve se vyznačuje mírnějšími sklony svahů a větší otevřeností údolí říčních toků. Příkřejší terén lze nalézt na J a JZ tektonicky omezeném okraji pánve, na metamorfovaném masivu Zvičiny a v údolích Olešky a Jizery jihovýchodně a východně od Semil, kde si toky razí cestu skrze tělesa bazických vyvřelin. Původní směry některých úseků údolí Jizery a Olešky jsou predisponovány zlomovými systémy, ale na menších tocích hraje hlavní roli spíše petrologie podložních sedimentů. Vystupující polohy arkóz, pískovců, prachovců a jílovců se příliš neliší mechanickou odolností vůči vodní erozi, ale především vlastní propustností a propustností zvětralinové zóny. Na litologii podloží závisí i propustnost svahových sedimentů, jež zde dosahují vyšších mocností. Větší mocnosti a rozloha fluvialních sedimentů na dně říčních údolí umožňují řekám ve velké míře přepracovávat vlastní usazeniny a na příznivých lokalitách tvořit meandry v náplavech, ačkoli zde nedochází ke vzniku slepých říčních ramen. To je příčinou heterogenity propustnosti říčních uloženin, které běžně obsahují i tělesa jemnozrnných sedimentů (Hynie, 1961).

Typický červený půdní pokryv je tvořen středně těžkými písčito hlinitými a hlinitými půdami, u nichž obsah jílové frakce kolísá podle povahy podložního zvětralinového pláště. Na komplexech bazických vulkanitů a Zvičinském masivu se nachází propustnější zvětralinový pokryv provázený mělkou souvislou zónou povrchového rozpukání. Obsah živin využitelných vegetací je díky vyššímu podílu sorbujiící jílovité složky optimální. Proto bývají nezalesněné plochy úrodné půdy většinou úspěšně zemědělsky využity k pěstování kulturních plodin. Z hnojiv se používají pouze dusičnanové přípravky podporující rychlejší růst plodin. Freatická zvědeň je vázána na propustnost zvětralinového pokryvu a jeho mocnost – její hloubka roste s propustností pokryvu.

2.3.3. e) Stručná hydrogeologie

Říční síť sledované oblasti je poměrně pravidelná a její hustota lokálně závisí na propustnosti podloží a jeho sedimentárního pokryvu. Větší počet drobných povrchových toků lze nalézt v areálech s podložím tvořeným hůře propustnými prachovci. Díky ploššímu terénu je dotace vodních toků odkázána na rovnoměrný přísun vody z méně propustné freatické zóny do jejich propustnějších fluvialních sedimentů. Voda má střední úroveň mineralizace typu Na/Ca – HCO₃. Navzdory velkému množství se Fe obsaženému v podloží i půdě se za běžných podmínek pH do vody dostává jen jeho malý zlomek. V případě některých lokalit na zlomových systémech v prostoru Trutnovsko – Náchodské deprese však může docházet k jejímu částečnému mísení s podzemní vodou obsahující vysoký podíl síranů. Soustředěné svahové prameny se na území permokarbonských sedimentů nevyskytují a prameny vázané na propustných zlomových zónách jsou velmi vzácné – lze na ně spíše narazit na plochách tektonicky porušených vulkanických těles. Mají většinou velkou zásobnost danou vysokou akumulací schopností pokryvných sedimentů, ale malou vydatnost danou omezenou propustností zvětralin.

Komplex podložní hornin se vyznačuje dvojí propustností – průlinovou i puklinovou. Využitelná podzemní voda se nachází ve velmi komplikovaném a obtížně popsatelném systému různě silných a různě propustných poloh. Podzemní voda zde v hlubších horizontech proudí pomalu, nebo zcela stagnuje. Ve vrstvách permokarbonských sedimentů se nachází celá řada dílčích artézských horizontů, jejichž vertikální komunikace s freatickou vodou i mezi sebou navzájem je mizivá. Jen nejširší a nejlépe propustné puklinové systémy saxonské tektoniky většinou dokáží vytvořit vodivou zónu napříč polohami jílovitých usazenin. Úseky zlomů procházející propustnými pískovci či arkózami jsou schopny s vysokou účinností drenovat celý horizont. V prostředí jílovců jsou naopak jednotlivé zlomy většinou beznadějně zaneseny jemnou tektonickou drtí a pukliny procházející vrstevnatým komplexem mají tendence se v jemnozrnných polohách okamžitě spínat. Často může předchodit proudění podzemní vody rozvléci jemné frakce zlomem i do prostoru propustných poloh, zatěsnit tak celý zlom a vytvořit subvertikální nepropustnou bariéru. Takové zlomy pak působí místní vzduť volné hladiny vrchního propustného horizontu a lokální nárůst piezometrické hladiny všech artézských obzorů, jimiž procházejí.

Jako vodní zdroje oblasti Podkrkonošské pánve se mohou využívat obzory freatické vody kvartérních náplavů s vysokou vydatností i zásobností závislou na břehové infiltraci toku, ale s nízkou jakostí. Druhou volbou je jímání podzemní vody z propustného horizontu. Zavedení takového zdroje vyžaduje dobrou znalost místních geologických poměrů, a výsledkem je cenný zdroj vody výborné jakosti s velkou zásobností, ale s nižší vydatností. V komplikovaných podmínkách permokarbonského navíc prohloubení vrtu nezaručuje zvýšení vydatnosti. Zdroj podzemní vody také vyžaduje citlivé zacházení, protože intenzivnější čerpání zde velmi snadno vede ke kolmataci okolí vrtu. Jediným a obvykle obtížně předvídatelným rizikem je zasažení propustného horizontu propojeného s hlubším oběhem podzemní vody kontaminovaným zásáklou mineralizací permokarbonského. Taková podzemní voda obsahuje zvýšené množství síranů a chloridů a nelze s ní nakládat ani jako s užitkovou.

Zranitelnost vodních zdrojů permokarbonské pánve je dosti nízká navzdory dvojnásobné propustnosti prostředí. Kontaminant je díky vysoké sorpční schopnosti půdy a pokryvu zvětralin většinou rychle imobilizován v místě úniku. V prostředí propustnějších povrchových zvětralin je hladina freatické vody hlouběji zakleslá, takže menší objemy polutantu zůstávají většinou zachyceny v nenasycené zóně a v méně propustném prostředí brání omezené proudění rychlému plošnému šíření polutantu ve freatické zóně. V případě dlouhotrvajícího úniku vedoucího ke znečištění podzemní vody dojde ke znečištění jediné a často prostorově izolované propustné polohy. Jediné velké riziko souvisí s úniky přímo v prostoru propustných říčních náplavů, kde se bohužel nachází většina aglomerací. Fluviální sedimenty v případě úniku nejsou schopny účinně zadržet větší množství kontaminantu a povrchová voda může snadno rozvléci znečištění říční sítí. Proto je nezbytné pravidelné sledování jakosti povrchové vody.

2.3.4. Česká křídová pánev

Česká křídová pánev představuje rozsáhlou platformu převážně mořských sedimentů od jemnozrnných prachovitých jílovců a slínovců po hrubé pískovce a slepence. Pánev zabírá velkou část prostoru Severních Čech a oblast Polabí a její relikty pronikají až na areál Svitavska. Současná rozloha přibližně 14 600 km² však představuje pouze část rozlohy původní, neboť byla po ústupu oceánů vystavena zvláště v okrajových partiích rychlé denudaci, nebo byla překryta mladšími sedimenty terciéru a neovulkanity. Celková mocnost sedimentů před denudací přesahovala na hlubších částech území 1 km (Chlupáč, 2002).

2.3.4. a) Vymezení oblasti

Při procesu subsidence dna České křídové pánve docházelo k nejrozsáhlejšímu poklesu na významné tektonické zóně Lužické poruchy, která tvoří na našem území severní hranici výskytu křídových sedimentů. Zlomový systém vymezuje okraj pánve od vrchu Severák u státní hranice napříč Šluknovským výběžkem. Původní jednoduchá nerovná zlomová struktura míří k VJV k Dolnímu Poluží, kde v úseku mezery mezi Šluknovským a Frýdlantským výběžkem vystupuje mimo naše území až k Popově skále. V tomto prostoru se Lužická porucha větví v širší zlomové pásmo, které probíhá přes Jítravu, Kozákov a Rovensko pod Troskami k obci Dřevěnice. V tomto místě se systém větví v rozšiřující se pás subparalelních zlomů pronikajících do pánevních sedimentů a navazujícím na jihovýchodě na puklinový systém Boskovické brázdy. K východu probíhá nepravidelná hranice denudační linie pozůstatků křídových usazenin na permokarbonském podloží až k Náchodu, kde uhybá k JJV podél složité linie dílčích poklesových zlomů oddělujících pánev od hornin Orlickosněžnického a Zábřežského krystalinika. Tato linie prochází od cípu státní hranice u Náchoda přibližně prostorem Pěčina u Rokytnice v Orlických horách a Albrechtic u Lanškrouna k Moravské Třebové, kde šikmo k JZ překračuje pruh permokarbonských sedimentů Boskovické brázdy. Celá Východní tektonická hranice je tvořena útržky ploch usazenin zachovalými na vkleslých blocích podložních hornin.

Od Nejjižnějšího souvislého výběžku pánve u Březové nad Svitavou běží její hranice po zlomu navazujícím na Lužickou poruchu k SZ podél Poličského krystalinika k obci Luže, dále pak jako prolamovaný nepravidelný úsek denudačních zbytků přes Slatiňany a Heřmanův Městec až ke Chvaleticím u Přelouče. Mezi Chvaleticemi a Kolínem vybíhá k jihovýchodu dlouhý úzký jazyk křídových usazení v polopříkopové struktuře tektonicky omezené zlomem ze SZ až ke vsi Škrdlovice u Žďáru nad Sázavou. Od Kolína se okraj pánve dále táhne z západu velmi široký pás roztržitých denudačních zbytků pánve na paleozoickém podloží přes Prahu až k Lounům, v jejichž prostoru jsou pánevní sedimenty silně postiženy hustou tektonickou sítí zlomů systému příkopové propadliny Oháreckého riftu. Hranice pokračující přes Louny, Bílinu a Ústí nad Labem je zde vymezena překrytím křídových tercierními sedimenty, zejména neovulkanity Českého Středohoří. Od Ústí probíhá okraj pánve přes Telnici a Tisou až ke státní hranici.

Povodí Jizery probíhá napříč centrální částí pánve až k soutoku s Labem ve Staré Boleslavi. Zahrnuje jižní část dílčího povodí Mohelky, úsek středního a dolního povodí vlastní Jizery a střední a jižní část povodí Libuňky. Hranicí je zmíněný systém Lužické poruchy v úseku od Světlé pod Ještědem po Kněžnici, kde pramení Libuňka.

2.3.4. b) Geologická historie

Ke vzniku rozlehlé křídové pánevní struktury došlo v důsledku procesů souvisejících s uzavíráním oceánu Thetys v prostoru jižně od Českého masivu a s nástupem Alpínsko-Himálájského vrásnění. Narůstající napětí ve směru S – J ze strany budoucího Alpínského orogénu a SZ – JV z oblasti budoucího oblouku Západních Karpat vedlo k uvolnění oslabených tektonických zón – zejména sutury mezi fundamenty Tepelsko – Barrandienské oblasti a oblasti Lugika. Valná část plochy Českého masivu byla před nástupem orogeneze vynořena nad hladinou jako součást tzv. Vindelického hřbetu – pozůstatku pásu Variského pohoří. Z oblasti Lužické poruchy pocházejí geologické doklady, že již na konci střední jury došlo k počátku prosedání podél oslabené Labské sutury a vzniklým kanálem pronikl na naše území úzký jazyk moře z přilehlé části oceánu Thetys na jihovýchodě. Stáří sedimentů dosahuje až stupně kimmeridž a poté je přerušeno hiátem, který je zapříčiněn erozí usazenin po ústupu moře. Podél Labské poruchy však již byl položen základ centra budoucí křídové pánve (Chlupáč, 2002).

První sedimentární záznam období křídových pochází z cenomanu a je tvořen akumulacemi hrubých bazálních klastik říčních systémů. Svědčí to o vzniku nového akumulacího prostoru na území původního členitého reliéfu erodované oblasti. Počátkem cenomanu začalo napětíové pole SSZ – JIV působit střížné deformace a rozevírání zlomového pásma Labské sutury a paralelních tektonických zón, jako třeba Lužického zlomu. Uvolnění zlomových zón vedlo v důsledku k velkému poklesu rozlehlého území s osou sledující Labskou poruchu – vznikl tak systém Labského prolomu, jenž začal být od počátku zaplňován křídovými sedimenty. Na počátku středního cenomanu kvůli globální mořské transgresi proniklo do prolomu moře z oblasti Thetys na jihovýchodě, čímž byla zahájena mořská sedimentace v prostoru pánve. S rostoucí mocností usazenin dále pokračovala subsidence Labského prolomu a další zvětšování akumulacího území do šířky i do hloubky. Během sedimentace v průběhu středního a svrchního cenomanu se až na výjimky ukládaly hruběji zrnité

mělkovodní pískovce. Ve spodním turonu již začalo docházet k diferenciaci sedimentů podle různé hloubky moře, případně blízkosti zdrojů klastického materiálu. Vzhledem k velké rozloze a různorodosti další sedimentace v rámci celé křídové pánve se budu v odstavci Stratigrafie podrobně věnovat pouze litologii a stratigrafii území povodí Jizery. Spodnoturonská mořská transgrese je první ze série podobných transgresních eventů postihujících celou oblast České křídové pánve (Chlupáč, 2002).

Třebaže žádný další nedosáhl úrovně prohloubení moře přelomu období cenoman/turon, každý z transgresních cyklů započal krátkodobým poklesem hladiny provázeným drobným stratigrafickým hiátem. Pak vždy následovalo rychlé prohloubení sedimentačního prostoru indikovaného nástupem jemných sedimentů z klastiky prachovité frakce, často doprovázených bioklasty vápnitých schránek planktonu i křemitými jehlicemi mořských hub. Regresní součást cyklu tvořená jemnými pískovci je většinou zcela denudována procesy předcházejícími další transgresi. Jedinou výjimkou je poslední člen sedimentárního záznamu České křídové pánve z období spodního santonu, jehož usazeniny představované merboltickým souvrstvím ochránil před erozí překryv hornin neovulkanitů. Počátky jednotlivých transgresních cyklů vymezují v rámci České křídové pánve báze následujících souvrství:

počátek středního cenomanu	– korycanské vrstvy
počátek spodního turonu	– bělohorské souvrství
polovina středního turonu	– jizerské souvrství
polovina svrchního turonu	– teplické souvrství
počátek středního coniacu	– březenské souvrství

Oblast křídové pánve pravděpodobně zasáhla i transgrese datovaná do počátku campanu, případně usazeniny ale setřela následná denudace. Eroze setřela také stopy původního rozsahu pánve, zejména v jižní a v jihozápadní části. V důsledku subsidence pánevního dna utvářejí rozsáhlé pánevní sedimenty synklinorium s osou probíhající ve směru SZ – JV, která zvolna upadá k jihovýchodu. Ve východní části došlo v terciéru k mírné deformaci vrstev do širokých plochých vrás (Chlupáč, 2002).

Křehké deformace pánevní výplně se omezují na období Saxonské tektogeneze. Během tohoto období došlo k oživení starších zlomových systémů na dně pánve a k jejich průniku do pánevních sedimentů. Jedná se především o poruchová pásma paralelní se zlomovými systémy omezujícími rozsah pánve – tedy zlomy krušnohorského směru SV – JZ a lužického směru SZ – JV. Původně poklesové zlomy umožňující subsidenci pánve byly při reaktivaci na některých místech přeměněny na zlomy přesmykové. Na nejdůležitějším z nich – Lužickém zlomu – dokonce došlo k vyvlečení převrácených vrstev podložních sedimentů křídové pánve. Třetím důležitým systémem je série zlomů rovnoběžných s poruchovým pásmem Blanické brázd. Jejich orientace SSZ – JJV se označuje jako směr jizerský. Podél těchto zlomů však nedocházelo k významnějším vertikálním pohybům. Zlomy vznikly jako střížné a tenzní zóny a reakci na rostoucí napětí působící z jihu a jihovýchodu při výzdvihu Alp a Západních Karpat. V průběhu tektogeneze proniklo na mnoha místech do zlomových systémů magma a dalo vzniknout sérii činných vulkánů. Větší část vulkanické činnosti se soustředila do vznikající příkopové propadliny v prostoru tzv. Oháreckého riftu na severozápadním okraji pánve. Drobnější intruze magmatu však porůznu pronikly křídovými sedimenty v prostoru celé České křídové pánve, resp.

v její severní polovině. Tělesa neovulkanitů na sledovaném povodí Jizery mají jen nepatrný plošný rozsah, jejich přítomnost je ale významná. Příkrov neovulkanitů na několika místech ochránil před erozí svrchní partie křídových sedimentů a plochá žilná tělesa kopírující tvar přírodních puklin působí jako nepropustné bariéry bránící proudění podzemní vody. Takovým případem je ploché bazické těleso Čertovy stěny probíhající téměř kolmo k převažujícímu směru proudění. Na jeho severozápadní stěně dochází k významnému vzednutí hladiny podzemní vody v pánevních sedimentech. Z hydrogeologického hlediska nemají ostrůvkovité výskyty neovulkanitů jinak v povodí Jizery větší význam, snad jen jako zdroje klastického materiálu propustnějších svahovin, které lemují jejich vrcholky.

Po pozvolném propadu centra Českého masivu v závěrečné fázi Saxonské tektogeneze došlo k rozsáhlé reorganizaci říční sítě a postupnému vytvoření současného reliéfu a vodního režimu České křídové pánve (Chlupáč, 2002). Mezi kvartérní události, které významně ovlivnily hydrogeologické poměry v pánvi, patří série dob ledových. Jednotlivé cykly opakovaného vysoušení terénu a intenzivní eroze následované zvýšenými srážkami a sedimentací daly vzniknout na dolním toku Jizery polohám fluvialních sedimentů říčních teras. Dalším důležitým důsledkem dob ledových bylo usazování těles spraší. Špatně propustné spraše a sprašové hlíny tvoří rozsáhlá nepravidelná plochá tělesa blokující rovnoměrné zasakování srážek. Zvláště v případě, kdy spraše nasedají na hrubší a propustnější zvětraliny, je do nich srážková voda přednostně vázána kapilárními silami a stéká ve směru spádu podél sprašové polohy, na jejímž okraji dojde k jejímu soustředěnému zasakování. Podobný efekt může být důležitý v případě kontaminace nenasycené zóny – polutant přednostně postupuje sprašovým tělesem ve směru jeho sklonu a teprve na okraji může ve větší míře infiltrovat do podloží.

2.3.4. c) Tektonika

Zlomová zóna Labského prolomu formovala pánev do tvaru rozsáhlého protáhlého synklinoria postižené četnými tektonickými poruchami. Vzhledem ke komplikovanosti uspořádání tektoniky celé pánve se zde budu věnovat pouze zájmové oblasti na území povodí Jizery. Hlavní zlomové systémy oblasti jsou představovány sítí poklesových zlomů lužického směru SZ-JV a zlomy jizerského směru SSV-JJZ, které původně vznikly v návaznosti poklesových zlomů Blanické brázdy a při jejich reaktivaci během Alpnsko – Himalájského vrásnění kompenzovaly i střížné napětí působící na pánevní výplň (Mísař, 1983).

V pískovcových usazeninách při povrchu terénu jsou zmíněné zlomy i přidružené puklinové systémy velmi dobře propustné a účinně drenují celou jejich polohu. V prostředí málo zpevněných měkkých pískovců dokonce dochází díky větším průtokům k rozšiřování puklin mechanickou erozí jejich stěn vedoucí postupně k sebeorganizaci proudění v puklinovém systému, jenž vytváří proudové schema obdobné říční síti s jedinou erozí zvětšenou hlavní odtokovou trhlinou, která v závěru drenuje celý systém. V hlubokých pískovcových polohách pod slínovcovým stropem ale bývají trhliny obvykle dosti sepjaté a zanesené jemnozrnným materiálem nadloží. V prostředí poloh jílovitých prachovců a slínovců je puklinová síť značně řidší díky schopnosti hornin kompenzovat malá napětí plastickou deformací. Užší pukliny, které procházejí polohami jemnozrnných sedimentů, jsou vždy zanesené takovým

množstvím jemné drtě, že jsou prakticky nepropustné. U větších trhlin dochází k jejich rychlému spínání s úzkými partiemi rovněž zanesenými nepropustnou výplní. Propustné jsou místy pouze nejširší úseky trhlin a zlomové zóny procházející tenkými mocnostmi jílovitých poloh (Hynie, 1961). K zanášení užších puklin zde nedochází pouze v případě intenzivního proudění, které je většinou způsobeno silným tlakem v artézské zvodni kryté nepropustnou vrstvou.

2.3.4. d) Stratigrafie

Stratigrafie České křídové pánve je klíčová pro celý systém proudění podzemní vody.

Bazálním kolektorem je perucko – korycanské souvrství z období cenomanu. Na cyklické sledy slepenec-pískovec-jílovec říčních sedimentů peruckých vrstev, jež zarovnávají původní erozní deprese podloží České křídové pánve navazuje mocná poloha korycanských vrstev, která je v celém rozsahu pánve tvořena pískovci s lokálními hrubšími polohami klastik příbojových facií, které se ale v prostoru povodí Jizery nevyskytují. Nejvrchnější část vrstev tvoří glaukonitické pískovce doplněné jemnějšími sedimenty, které indikují prohloubení sedimentačního prostoru. Turonská sedimentace začíná kompaktní vrstvou bělohorského souvrství slínovců. Jedinou výjimkou je úzký pruh hrubších bělohorských klastik těsně lemujících Lužický zlomový systém v západní části povodí Jizery, který se směrem do nadloží postupně rozšiřuje k jihu. Jinak tvoří slínovcová vrstva nepropustný artézský strop bazálního kolektoru (Chlupáč, 2002).

Nadložní jizerské souvrství se vyznačuje významným přínosem hruběji klastického materiálu z pevniny tzv. Západosudetského ostrova nalézající se severně od Lužické poruchy v území Liberec – Varnsdorf – Krásná Lípa. Po pravé straně povodí Jizery tak vznikl prostor facie kvádrových pískovců. Pískovce dosahují velkých mocností a dobré propustností, celý sled ale zpravidla obsahuje několik tenčích poloh jemněji zrnitých sedimentů tvořících hůře propustné polohy a směrem k JV artézské stropy dílčích kolektorů. Na území středního toku přechází zhruba na linii Jizery jizerské souvrství do přechodní facie a posléze až do prakticky nepropustné facie slínovcové. V přechodním vývoji zprvu přibývá nepropustných poloh a následně k horizontálnímu přechodu pískovců kvádrových do jemnějších špatně propustných pískovců s prachovitou matrix. Usazeniny slínovcové facie tvoří v Jizerském souvrství nepropustný masivní celek. Převážný směr spádu vrstev ve středním toku Jizery míří k JV v souladu se strukturou pánevního synklinoria a sklonem jeho osy. Sedimenty nadložního teplického souvrství z období svrchního cenomanu se proto nachází při pravém břehu Jizery jen v pásu denudačních zbytků, zatímco na levé části povodí dosahuje velkých mocností. S výjimkou pruhu přiléhajícího k Lužické poruše, jež obsahuje hruběji zrnité polohy klastik, je celé souvrství tvořeno kompaktními vápnitými prachovci a slínovci. Ze sedimentů období coniacu se zachovaly svrchní partie teplického souvrství kryté především denudačními pozůstatky souvrství březenského. Březenské souvrství zahrnuje sérii lokalit masivních kvádrových pískovců tvořících Příbrazskou a Turnovskou plošinu, z níž vybíhá výskyt přes hruboskalsko až do oblasti Českého ráje.

Na dolním toku Jizery pod soutokem s Klenicí dochází v důsledku denudace k ústupu okraje teplického souvrství k jihovýchodu. Poměrně přímá hranice běží podél poklesového zlomu lužického směru. Jizerské souvrství přechází k jihu s vyzníváním přísunu hrubších klastik do polabské slínovcové facie. V oblasti obce Brodce přechází Jizera přes osní část synklinoria a erozní báze povodí postupně proniká jizerským souvrstvím až k jeho jižnímu denudačnímu okraji probíhajícímu ve směru ZSZ-VJV vesnicí Skorkov (Chlupáč, 2002). Mezi Skorkovem a Starou Boleslaví prochází Jizera pásem bělohorských slínovců.

2.3.4. e) Reliéf a pokryv

Reliéf celého povodí Jizery je velmi plochý, ale vyznačuje se hluboce zaříznutými údolními vodními toků v prostoru propustnějšího podloží. Větší vodní toky obvykle sledují tektonicky oslabené zóny nebo přímo vlastní zlomové systémy, což platí zejména pro Jizeru a všechny její velké přítoky. Hluboká údolí způsobená intenzivní vodní erozí lze nalézt především po pravé straně Jizery a na většině úseků Jizery samotné, kde propustné horniny dovolují velké zaklesnutí hladiny freatické zvodně napájející toky a tím i pokles jejich erozní báze umožňující vznik typického údolního profilu. Nalézají se zde také koryta tzv. suchých dolů – původně vodou vyhloubených údolí, jejichž báze však v současnosti již nedosáhne na úroveň zakleslé hladiny volné zvodně. Po levé straně povodí jsou údolí vodních toků plochá a mělká (Hynie, 1961). V severní oblasti u Lužické poruchy a východní části území středního toku tvoří areály masivních poloh kvádrových pískovců na jemněji zrnitém podloží vznik náhorních plošin lemovaných při okrajích skalními městy. Odolné uloženiny neovulkanitů táhnoucí se napříč přes území povodí od Jičina k Ralsku tvoří v krajině výrazné kopce s ostrými vrcholy.

Hloubka zóny povrchového rozpukání je zcela závislá na litologii sedimentů a na hloubce erozní báze na dané lokalitě. Pískovcové plošiny a tělesa neovulkanitů se vyznačují hlubší puklinovou zónou, ale obvykle mělkým zvětralinovým pokryvem snadno odnášeným erozí. Hustota a propustnost zóny rozpukání je na celém území závislá na odolnosti hornin. Typická zóna v neovulkanitech se vyznačuje velmi řídkým rozpukáním a nízkou mírou zanesení puklin. Pukliny mají většinou krátkou průběžnost, ale nedochází k jejich rychlému spínání s hloubkou. Kvádrové pískovce mají zónu povrchového rozpukání obvykle velmi hustou a jednotlivé trhliny jsou průběžné do větších vzdáleností. Pukliny se rychleji spínají a mají většinou dobře propustnou písčitou výplň. Výjimkou jsou případy překrytí jemnějšími zvětralinami slínovců nebo spraší. Pro pokryv České křídové pánve je typická vyšší mocnost eluvií se zmíněnou výjimkou neovulkanitů a skalních měst. Mocnost svahovin se liší podle lokální hloubky erozní báze. Propustnost zvětralin je přímo úměrná pórové propustnosti matečného materiálu. Fluviální sedimenty dosahují větších mocností a jejich rozloha závisí na šířce dna údolí – potažmo tedy litologii. Rozsáhlé náplavy začíná vytvářet Jizera již pod Turnovem, které u Mladé Boleslavi zvolna přechází do kvartérní říční terasy, jež od prostoru Sojovic plynule přechází do terasového systému Labe. Na řadě lokalit na nivě Jizery se navíc nacházejí tenké vrstvičky jílovitých nánosů povodňových sedimentů.

Charakteristiky půdy v prostoru povodí přímo závisí na složení podložních zvětralin, ať už autochtonních nebo přemístěných. Lehké hlinitopísčité půdy nejčastěji charakteru rankerů a podzolů se váží na oblasti výchozů kvádrových pískovců při severní hranici povodí a na reliktech březenského souvrství. Tento typ půd lze nalézt i na pokryvech těles neovulkanitů. Středně těžké písčitohlinité a hlinité půdy především typu černozemě pokrývají drtivou většinu území povodí. Na několika lokalitách se nachází i ostrůvkovité výskyty těžkých jílovitých půd. Jedná se o část povodí Libuňky při hranici s permokarbonem a prostory dolních toků Žehrovky, Kněžmostky a Klenice spojené se slinitým pokryvem teplického souvrství (Šulc, 1991). Je nutné do výčtu zahrnout i jemnozrné hlinité až jílovité nivní půdy přítomné v širších partiích údolí řeky Jizery, které obsahují vysoký podíl organické složky.

2.3.4. f) Stručná hydrogeologie

Systém říční sítě je na území povodí Jizery značně tektonicky predisponován. Hustota sítě je ale zcela závislá na propustnosti podložních hornin. V široké západní části sledované oblasti je počínaje povodím Zábrdky hustota říční sítě silně redukována vysokou propustností podloží. Srážková voda po průchodu půdou a případnými sprašovými tělesy zasákne pískovci jizerského souvrství až na hlubokou úroveň volné zvodně a nemá možnost napájet mělké povrchové toky. Jižně od Zábrdky lze povrchovou vodu v oblasti nalézt pouze v nejhlubších údolích Bělé, Rokytky a Strenického potoka, kde může přímo komunikovat s freatickou zvodní. Pro fluvialní sedimenty je na drobnějších tocích typická větší propustnost. Jizera však vytváří v údolí mocné náplavy s plošným rozsahem rozšiřujícím se spolu s mohutností toku, v jejichž prostoru volně meandruje a tvoří sedimentární těleso s heterogenním složením a značně kolísající propustností v závislosti na dřívějších pozicích říčních koryt a slepých ramen.

Východní část povodí má vyšší hustotu říční sítě napájené pomalu proudící freatickou vodou ze silných poloh zvětralin. Voda má obecně střední mineralizaci Ca – HCO₃ a vyšší pH pufované rozpouštějícími se karbonáty. Na krajích čnějících komplexů kvádrových pískovců je běžný výskyt sérií málo svahových puklinových pramenů drenujících masiv. Jejich vydatnost je zpravidla závislá na rozsahu drenované plochy podle stupně sebeorganizace puklinové sítě v pískovcovém tělese. Soustředěné prameny jsou ale v oblastech s plochým reliéfem vzácné. Povrchové toky jsou zpravidla napájeny roztroušenými přítoky freatické vody do jejich náplavů. Málo běžné je zásobování povrchových toků představované dotací fluvialních sedimentů vodou z propustnějších zlomových zón artézskou podzemní vodou. K tomu dochází většinou v místech přechodní facie, kde je jizerský akvifer již rozdělen sérií špatně propustných poloh na dílčí tlakové zvodně. V důsledku velké míry zanesení zlomu částicemi artézského stropu a nízké piezometrické hladiny nejvyšší artézské zvodně způsobené netěsnostmi nadložní málo propustné vrstvy je ale takový výron málo vydatný a většinou se vyskytuje ve skupinách lemujících tektonickou zónu predisponující údolí dotovaného toku. Výjimkami jsou vydatnější soustředěné vývěry artézských vod v údolí Strenického potoka a na Jizeře u Zámostí a Bakova nad Jizerou, které dosahují vydatnosti mnoha desítek vteřinových litrů.

Hlavní směr proudění podzemní vody je dán tvarem Pánevního synklinoria a počátečním sklonem vrstev – od SSZ k JJV. Bazální kolektor perucko korycanského souvrství je od nadloží velmi dobře izolován bělohorskými slínovci a k přirozenému přelivu artézské vody do nadložních vrstev sedimentů dochází v malé míře pouze v blízkosti Lužické poruchy, kde je artézský strop slínovců velmi tenký. Srážková voda zasáknutá v prostoru u Lužického zlomového pásma proudí kolektorem velmi pomalu napříč celým synklinoriem až do oblasti výstupu perucko – korycanského souvrství v oblasti Polabí. Podzemní voda jizerského souvrství je dotována ze srážek v celé oblasti pískovcové facie a sleduje stejný směr proudění SSZ-JJV. V centrální části povodí se zvodeň člení méně propustnými polohami přechodní facie do komplexu drobných kolektorů. Podle stupně zatěsnění puklin je lokální míra jejich vzájemného propojení různá, avšak směrem k východu stále klesá. V místech plynulého navázání na slínovcovou facii dochází k zatěsnění kolektorů a vzduť jejich napjaté hladiny. Přetlak je větší měrou uvolňován pomalou filtrací skrze širší oslabené zóny artézských stropů a jen místy dochází k jeho uvolňování podél tektoniky prorážející špatně propustné nadloží.

Rozsáhlá zemědělská a průmyslová činnost je hlavní příčinou znečišťování povrchové i freatické vody. Pro její vodárenské využití je na většině území pánve nutná složitá úprava a přečišťování. Výjimkou jsou pouze vodní zdroje jímající svahové prameny vystupujících masivů kvádrových pískovců, jejichž dotační oblast je většinou chráněna před znečištěním. Hlavními využívanými vodními zdroji jsou objekty jímající podzemní vodu jizerského souvrství. Podzemní voda bazálního kolektoru je čerpána pouze při severním okraji povodí s tenkým artézským stropem. Na území pískovcové facie je voda s volnou hladinou hluboko zakleslá a také citlivější na znečištění. Proto se častěji využívají k jímání dílčí artézské horizonty v pásu přechodní facie a jejího navázání na facii pískovcovou. Takové zdroje mají velmi vysokou vydatnost i zásobnost a jímaná podzemní voda se obvykle vyznačuje dobrou jakostí. Problematická může být ale volba hloubky úseku jímání. S hloubkou klesá riziko případné kontaminace povrchovými zdroji, avšak vydatnost zdroje stoupá jen pomalu a rychleji stoupá šance zasažení hlubších vodních vrstev s kvalitou nepříznivě ovlivněnou postvulkanickými jevy v České křídové pánvi – rostoucí teplotou vody, obsahem juvenilního CO₂ a rozpuštěných kovů ve vodě, především železa a manganu.

Zranitelnost vodních zdrojů v České křídové pánvi na území povodí Jizery se mění v závislosti na charakteristice lokálních hydrogeologických podmínkách. Nejzranitelnější jsou izolovaná tělesa kvádrových pískovců tvořící v krajině elevace. Rychlé proudění vody ve zvodni s volnou hladinou umožněné výbornou průlinovou i puklinovou propustností je nejlepším nástrojem rozvlečení kontaminace celého pískovcového tělesa. Nízký obsah jílové komponenty a zcela zanedbatelný podíl organického materiálu soustředěného do tenké vrstvy půdy je příčinou malé sorpční kapacity horninového prostředí pro polutant. Areál takových těles je naštěstí většinou chráněn. Půda a zvětralinová zóna pokrývající většinu pánve je vystavena největšímu riziku znečišťování. Vyšší obsah organické i jílové složky ale umožňuje zachycení úniků polutantů o malých kubaturách in situ a zpomalení šíření rozsáhlejších kontaminací. S rostoucím podílem jílové komponenty v materiálu výrazně stoupá jeho sorpční kapacita, ale spolu s ní se snižuje mocnost nenasycené zóny a hrozí rychlejší

průnik znečištění do zvodně. Extrémním případem takového pokryvu jsou nivní sedimenty řeky Jizery s vysoko položenou hladinou freatické vody kolísající spolu s hladinou vody říční. Proudění vody v řece i písčitémi partiemi náplavů napomáhá rozvlečení kontaminace, ale vysoký podíl Jílové a organické komponenty v sedimentech slepých ramen i ve vrstvičkách povodňových sedimentů nivy účinně polutanty váže a brání jejich rychlému šíření.

Na území slínovcové facie je díky nízké propustnosti vysokému obsahu jílu a značné míře zatěsnění trhlin zranitelnost akviferu malá. Území ale bohužel neposkytuje žádnou významnou formu efektivně využitelných zásob podzemní vody. Podzemní voda v prostoru pískovcové facie se nachází pod silnou vrstvou propustnější horniny i pokryvu s nižšími sorpčními kapacitami, ale na většině území brání rychlé kontaminaci podzemní vody mocnost nenasycené zóny. Dvojitá propustnost horniny však přináší při srážkách velké riziko zasáknutí a rychlé rozšíření polutantu puklinovým systémem. Během zasažení velké kubatury horniny dojde k průniku znečištění do systému pórů materiálu. Následná sanace pak podle povahy znečištění většinou dokáže pročistit pouze puklinový systém, ale mnoho nepomůže likvidaci polutantu zasáklého v pórech. Přechodní facie je nejčastěji využívaným zdrojem podzemní vody. Svrchní volné zvodni hrozí rizika již popsána na příkladu pískovcové facie. Napjaté artézské horizonty jsou před kontaminací přímo z povrchu lokality chráněny nepropustným stropem a především obráceným hydraulickým gradientem bránícím díky vzestupnému proudění průniku polutantu do kolektoru po propustnějších zónách. Zvodním ale může hrozit velké riziko znečištěním území dotujícího akviferu vodou, kde je hladina nechráněna. Jakost artézských vod je ale zranitelná při neuvážlivým zásahům do akviferu. Pokud lokálně dojde k poklesu úrovně tlakové hladiny artézského obzoru pod hladinu nadložní zvodně vinou přehnaného čerpání nebo dokonce proražení jejího stropu, v místě otočení hydraulického gradientu začne přetékat svrchní akvifer do spodního a zaveče tam případný polutant. Sanovat takovou nehodu je pak velmi finančně i technicky náročné a navíc často neúčinné.

Česká křídová pánev má největší vodárensky využitelné zásoby podzemní vody v naší republice. Proto je nezbytné věnovat velkou pozornost jejich ochraně formou prevence – kontrol bezpečnosti zemědělské a průmyslové činnosti, aktivních zásahů – modernizace a efektivního využití čistíren odpadních vod a ochranou dotačních oblastí vody, a kontroly – pravidelného monitoringu povrchové i podzemní vody v husté sledovací síti, zvláště pak v bezprostřední blízkosti potenciálních zdrojů znečištění.

3. Persistentní organické polutanty (POP's)

3.1. Společné vlastnosti POP's

Persistentní organické polutanty (zkráceně POP's) představují širokou skupinu organických látek, jež spojuje řada společných vlastností a rysů. Všechny POP's jsou škodlivé zdraví a nebezpečné životu valné části současných organismů. Jejich toxicita byla historicky soustavně prokazována hlavně na savcích pro ověření škodlivých účinků, jež mají tyto látky na lidský organismus. Z tohoto hlediska tedy celou skupinu látek nevymezil pouhý zájem o ochranu životního prostředí, ale cílený výzkum za účelem ochrany bezpečnosti lidí. Z tohoto důvodu mají projekty zkoumající škodlivost POP's širokou názorovou i finanční podporu a neustále přinášejí další velmi užitečné výsledky. Konkrétních účinky jednotlivých látek zevrubněji popíší v částech textu.

3.1.1. Bioakumulace

Typickým rysem persistentních organických polutantů je jejich schopnost akumulovat se v organické hmotě, zejména v tucích. Všechny POP's tedy spadají do skupiny lipofilních látek. Základní principy vazby se pohybují od prostého mechanického zachycení a adsorpce k absorpci a posléze i k chemické vazbě na jinou organickou látku. Změna chemického složení a charakteristických vlastností biogenní sloučeniny je právě hlavním mechanismem toxického působení POP's. Tato vlastnost je dána nepolárním charakterem látek, jenž je vyčíslen vysokým rozdělovacím koeficientem K_{ow} srovnávajícím rovnovážné koncentrace látky rozpuštěné v organické hmotě a ve vodě, které jsou ve směsi. Především extrémně nízká rozpustnost ve vodě brání organismům zbavit se přirozenou cestou přijaté látky, a tak dochází k soustředování a neustálému nárůstu koncentrací látky, což jen dále podporuje její toxické působení na organismus. Díky lipofilnímu charakteru se látka mnohem rychleji akumuluje z prostředí do tkání živočichů. V rostlinných pletivech je zachycována v menší míře. Kumulační schopnost se nejvíce projeví v rámci celých potravních řetězců, kde je nejvyšším koncentracím vystaven vrcholový predátor – jímž bývá většinou právě člověk (POPs - Persistentní organické polutanty; Nová strategie EU v oblasti chemických látek, 2001, Praha).

3.1.2. Toxicita

Všechny persistentní organické polutanty mají toxické účinky na živé organismy především svými účinky na základní enzymatické pochody v buňkách tkání. Vinou bioakumulace mohou postupně v organismech vést k nevratným chronickým otravám, jejichž následky je možné léčit jen částečně. Vysoká afinita k tukům vede k rychlému průniku polutantů až do buněčných struktur a může vést k porušení genetického materiálu (karcinogenita, teratogenita), blokování buněčných metabolických procesů a k narušení činnosti a poškození orgánů, v nichž se látka přednostně kumuluje. Příkladem takových orgánů jsou játra, ledviny, slezina, reprodukční orgány a nervový a endokrinní systém. Kontaminace tkání těla může vést také k oslabení imunitního systému. Skupina látek POP's je pestrá a účinky jednotlivých dílčích skupin se liší. Proto se jim budu věnovat ve speciálních částech pro každou skupinu zvlášť.

3.1.3. Persistence

Velice důležitým prvkem charakteristiky POP's je jejich chemická stálost. Díky kompaktní molekulární stavbě, k níž nejvíce přispívají soudržné struktury benzenových jader, dochází k rychlejšímu přeskupení či rozbití jejich stavby většinou za extrémních teplotních a tlakových podmínek, nebo díky intenzivním oxidačně – redukčním procesům, které se v přirozených podmínkách nevyskytují. Struktura látky také může být narušena fotolytickými procesy. Obecně ale persistentní organické polutanty setrvávají v přírodních podmínkách velmi dlouho a jediným opravdu účinným přirozeným procesem bránícím jejich šíření v prostředí je jejich imobilizace při sorpci na pevnou fázi organické hmoty (POPs - Persistentní organické polutanty; Nová strategie EU v oblasti chemických látek, 2001, Praha). Většina POP's tak končí v masách jemnozrnných fluvialních sedimentů, které jsou postupně unášeny říční sítí na konečné plochy depozice – sedimentární prostory mořských šelfů přiléhající k říčním deltám. Tento přírodní proces bohužel situaci neřeší, protože zamořené šelfové sedimenty zůstávají téměř nevyčerpatelným zdrojem slabší kontaminace pobřežních vod a POP's si tak zpětně nachází cestu do potravních řetězců umožňujících opětovnou kumulaci (Čížek 1994). Trvalé odstranění tohoto znečištění tedy v dohledném časovém období tak plně závisí pouze na intervencích člověka.

POP's se s výjimkou PAH's v přírodních materiálech prakticky nevyskytují. Jsou uměle vytvářené a jejich hlavním producentem je průmyslová činnost člověka. S výjimkou PAH's náleží všechny významné POP's do skupiny halogenovaných uhlovodíků, pro něž při volných přírodních procesech prakticky nemohou nastat podmínky vzniku. Jakožto cizorodé látky také nejsou přirozenou součástí metabolických procesů žádného organismu a nemůže tak docházet k jejich biodegradaci. Některé skupiny bakterií ale dokáží svou metabolickou činností navodit fyzikálně – chemické podmínky podporující pomalé chemické odbourávání nebezpečných látek a nepřímo katalyzovat jejich pozvolný rozklad. Zejména to platí pro biogenní podporu vzniku redukčního prostředí nezbytného pro dehalogenaci uhlovodíků. S rostoucí toxicitou POP's pro takové skupiny bakterií ovšem tento princip likvidace látek pozbývá na významu. Persistentní organické polutanty mohou vznikat jako důsledek degradace či spalování ropy a různých ropných produktů (polyaromatické uhlovodíky, dioxiny, dibenzofurany, pentachlorbenzen), nebo jako vedlejší produkty průmyslové výroby ropných produktů (dioxiny, dibenzofurany, PFOA). Dalším procesem je jejich cílená výroba pro jejich selektivní toxické účinky (pesticidy), kvůli jejich vysoké fyzikální a chemické stabilitě (PFC, PCB, PBB, PBDE), nebo jiné příznivé vlastnosti (ftaláty) (Laws, 1993).

3.1.4. Transport

Posledním společným znakem POP's jejich schopnost dlouhého transportu. Tato schopnost je dána především již zmíněnou persistencí. U látek vzniklých nedokonalým spalováním některých uhlovodíků je největším rizikem rychlý a dálkový transport atmosférou spolu s ostatními spaliny. Plošnému zamoření rozsáhlých oblastí nelze na postižených lokalitách nijak bránit – jedinou možností je prevence v místech potencionálního úniku a kontrola čističek vzduchu. Takový postup je bohužel možný pouze na bodových zdrojích možného znečištění a nikoliv pro rozšířenou kontaminaci ovzduší z výfukových plynů a neregulovaným pálením plastů (Laws, 1993).

Vinou velmi dlouhé doby rozkladu ale přechkají persistentní organické látky i pomalejší transportní procesy povrchovou vodou a v tělech živočichů. V případě transportu vodou je klíčová sorpce polutantů většinou na pevné organické materiály. Voda pak neunáší látku v roztoku, ale nasorbovanou na jemných částicích. K transportu kontaminace vodou tak dochází i v případě, že ve vodě samotné je koncentrace látky pod prahem detekce. Důležitým zdrojem šíření polutantů je při nedokonalé úpravě pitné vody hlavně vodovodní síť rozvádějící znečištění daleko mimo zdrojovou oblast. Tímto problémem se především zabývá má práce z hlediska ochrany zdrojové oblasti.

Živé organismy se sice významně podílejí na kumulaci látek v prostředí, vliv transportu v jejich tkáních je ale významný jen v případě vodních živočichů a v největším měřítku k němu dochází v případě mořských ryb. Zejména migrace velkých hejn druhů drobných planktonožravých ryb spolu s pobřežními proudy podél kontinentů vede k transportu větších množství POP's na dosti dlouhé vzdálenosti (Laws, 1993). Další a pro lidskou populaci mnohem důležitější formou šíření polutantů v tělech organismů je lidmi prováděný transport kontaminovaných živočišných potravin a produktů ze znečištěné oblasti až ke konzumentům rozšířeným daleko mimo primárně kontaminovanou plochu. Podrobnostmi transportu se zčásti budu zabývat ještě u konkrétních skupin polutantů.

















3.2. Výběr z dílčích podskupin POP's

3.2.1. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH's)

3.2.1. a) Popis

Nejvíce rozšířenou skupinou POP's jsou polycyklické aromatické (nebo zkráceně polyaromatické) uhlovodíky. Jedná se o chemické látky tvořené dvěma a více kondenzovanými benzenovými jádry bez vedlejších alifatických řetězců nebo ligandů tvořených jinými prvky. Zde uvádím malou přehledovou tabulku (tab.4) :

tab.4)

Name, Formula	Structure	Name, Formula	Structure
Naphthalene C ₁₀ H ₈	 1	Benzo[a]anthracene C ₁₈ H ₁₂	 9
Acenaphthylene C ₁₂ H ₈	 2	Chrysene C ₁₈ H ₁₂	 10
Acenaphthene C ₁₂ H ₁₀	 3	Benzo[b]fluoranthene C ₂₀ H ₁₂	 11
Fluorene C ₁₃ H ₁₀	 4	Benzo[k]fluoranthene C ₂₀ H ₁₂	 12
Phenanthrene C ₁₄ H ₁₀	 5	Benzo[a]pyrene C ₂₀ H ₁₂	 13
Anthracene C ₁₄ H ₁₀	 6	Benzo[ghi]perylene C ₂₂ H ₁₂	 14
Fluoranthene C ₁₆ H ₁₀	 7	Indeno[1,2,3-cd]pyrene C ₂₂ H ₁₂	 15
Pyrene C ₁₆ H ₁₀	 8	Dibenz[ah]anthracene C ₂₂ H ₁₄	 16

Jedná se o pevné krystalické látky s hořlavými parami (ve směsi se vzduchem) a dobře rozpustné v tucích, jejichž fyzikální a chemická odolnost vzrůstá spolu s počtem vázaných benzenových jader a s kompaktností jejich vzájemné pozice resp. srůstem poměru počtu atomů uhlíku ku atomům vodíku. S růstem molekuly stoupá bod tání a varu, potažmo těkavost látky, vzrůstá průměrná délka doby setrvání v přírodním prostředí a klesá jejich rozpustnost ve vodě. Pro srovnání uvádím vlastnosti dvou výrazněji se lišících látek ze skupiny PAH's :

látka	hustota	bod tání a bod varu	rozp.ve vodě	log Kow
Naftalen	1,162 kg/m ³	80,3 217,9 °C	31 g/m ³	3,01
Benzo(ghi)perylen	1,334 kg/m ³	276,8 525 °C	2,6*10 ⁻⁴ g/m ³	6,58

3.2.1. b) Výskyt a expozice

V přírodě se v malém množství vyskytují v ropných uhlovodících a některých kondenzátech vznikajících během výše temperovaných uhlotvorných procesů. Jejich hlavním zdrojem je ale nedokonalé spalování uhlovodíků recentních i fosilních. Zdrojem jsou pro ovzduší lesní požáry, spalovací motory, hutní provozy, koksárny, teplárny, spalovny, kafilerie a splodin při výrobě plastů. Zdrojem pro vodu a půdu je spad z ovzduší, látky uvolňované z ropných uhlovodíků a jejich produktů, jako třeba z asfaltu, plastů a laků. Člověk se přímo vystavuje jejich působení kouřením a požíváním připálených potravin, resp. potravin připravených na přepáleném oleji. Naftalen a antracen se navíc vyrábějí průmyslově, jelikož slouží při výrobě plastů, laků, barviv a insekticidů (Kužílek, 1994).

Organismy včetně člověka mohou být vystaveny toxickému působení PAH's prostým vnějším kontaktem s kontaminovanou látkou nebo inhalací vzduchu obsahujícího páry či pevnou fází uhlovodíků navázanou na rozptýlené prachové částice. Dalším způsobem je přijetí požitím polutantu spolu s vodou a potravinami. Tento způsob vede k příjmu nejvyšších dávek kontaminantu do organismu a při opakovaném požívání k rychlé kumulaci látky ve tkáních a intenzivní nevratné intoxikaci organismu. V konkrétním případě člověka dochází k intoxikaci v důsledku průniku PAH's pokožkou při neopatrné manipulaci s kontaminovaným materiálem (spáleným lakem, plastem, znečištěnými zeminami či kaly), při koupání ve znečištěné vodě s vysokým obsahem matrice organických látek. V nepatrném ale nezanedbatelném měřítku může dojít i k průniku polutantů do pokožky z kontaminovaných šamponů a kosmetiky (Kužílek, 1994). Vdechováním ovzduší silněji znečištěného automobilovými splodinami a průmyslovými emisemi a kouřením tabákových produktů (aktivním i pasivním) je umožněn přísun kontaminantu vzduchem a jeho vstřebávání sliznicí plic. K největší expozici PAH's dochází prostřednictvím požívání kontaminované vody a živočišných potravin – masa ryb i zemědělských zvířat vystavených přísunu kontaminantu především ve vodě a dále živočišných produktů – vajec, mléka, tvarohů a sýrů. V potravinách jsou obsahy PAH's často dodatečně zvýšeny neúměrnou tepelnou úpravou – uzením, pečením a smažením zejména v případě masa.

3.2.1. c) Toxické účinky

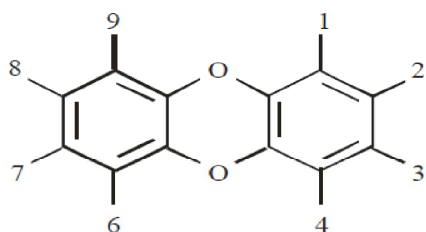
Polyaromatické uhlovodíky působí zhoubně především na základní vnitrobuněčné enzymatické procesy – blokují základní metabolické funkce postižených buněk a porušují jejich DNA. Vinou přednostní akumulace polutantů do tuku postihují toxické účinky nejvíce funkci reprodukčních orgánů, jater i ledvin, nebo místa nejvíce vystavená intenzivní expozici, což je případ plic při zvýšené inhalaci znečištěného ovzduší. Hlavním rizikem je velmi vysoká karcinogenita látek podporovaná jejich akumulační schopností. Na kontaktu s pokožkou mají PAH's dráždivé účinky, vdechování kontaminantu způsobuje rakovinu plic a vnitřní intoxikace vede ke zhoubným nádorům na místech nejvíce postižených kumulací látek – obvykle jater. Účinky otravy PAH's jsou prakticky nevratné. V případě člověka může medikamentózní léčba vést pouze ke zmírnění následků otravy a v případě vzniku rakoviny řeší její léčba pouze následek intoxikace, nikoliv příčinu.

3.2.2. Dioxiny a dibenzofurany (PCDD's, PCDF's)

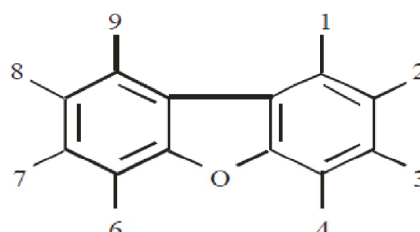
3.2.2. a) Popis

Dioxiny jsou nejtoxičtějšími látkami ze skupiny POP's a patří k nejnebezpečnějším látkám na světě. Jejich struktura je založena na dvou benzenových jádrech spojených vzájemnými vazbami dvou sousedících uhlíkových atomů v rámci každého jádra, přičemž jednu (dibenzofurany), nebo obě (dioxiny) vzájemné vazby zprostředkovává kyslíkový atom (viz obr.1).

obr.1)



strukturní vzorec dibenzo-p-dioxinu



strukturní vzorec dibenzofuranu

U dioxinů a dibenzofuranů je různý počet atomů vodíku na vyznačených číslovaných pozicích nahrazen atomy chloru, proto zní plný název látek polychlorované dioxiny (PCDD's) a polychlorované dibenzofurany (PCDF's). Jedná se o pevné krystalické látky. Dibenzofurany jsou málo těkavé a ve vodě velmi špatně rozpustné - jejich rozpustnost se pohybuje kolem 3 g/m³, zatímco dioxin TCDD prakticky těkavý není a má rozpustnost pouhých 1,9*10⁻¹¹ g/m³. Nebýt extrémní toxicity, jednalo by se o zanedbatelné koncentrace. Oba typy látek se velmi snadno vážou na organickou hmotu. Obecně lze říci, že dibenzofurany jsou méně chemicky i fyzikálně odolné, zatímco dioxiny představují svou charakteristikou vrcholu typických společných vlastností POP's – jsou silně toxické, degradačním procesům podléhají velmi pomalu nebo jen v extrémních nepřírodných podmínkách, jsou nehořlavé a výborně se akumulují v organickém materiálu (Světová zdravotnická organizace, 1998).

Podle pozic a počtu atomů vázaného chloru se liší v rámci podskupin dioxinů či dibenzofuranů vlastnosti jednotlivých chemických individuí nazývaných kongenery. Chemické a fyzikální vlastnosti kongenerů se liší zejména podle počtu navázaných atomů chloru. S jejich stoupajícím počtem vzrůstá bod jejich tání i varu, roste hustota a odolnost vůči degradačním procesům a stoupá hodnota log Kow podmiňující schopnost vazby na organický materiál (Světová zdravotnická organizace, 1998). Zároveň klesá jejich rozpustnost ve vodě a celkově i míra toxických účinků vyjádřená hodnotou ekvivalentní toxicity TEQ, jejímž základem jsou právě účinky TCDD. Ukázku uvádím ve stručném přehledu :

dioxiny	2378 TCDD	12378 PeCDD	123789 HxCd	1234789 HpCD	OCDD
TEQ	1	0,5	0,1	0,01	0,001
dibenzofurany	2378 TCDF	12378 PeCDF	123789 HxCDF	1234789 HpCDF	OCDF
TEQ	0,1	0,05	0,1	0,01	0,001

3.2.2. b) Výskyt a expozice

Všechny dioxiny a dibenzofurany vyskytující se v prostředí vznikly v důsledku lidské činnosti. PCDD a PCDF nikdy nebyly cíleně vyráběny ale vytvářely se v malém množství při výrobě chlorovaných uhlovodíků, v papírenském a textilním průmyslu. Především však vznikaly v důsledku nedokonalého spalování všech uhlovodíků za přítomnosti alespoň malého množství chloru. Jejich vývin je tak nepatrný, že mnohem více závisí na kubaturách spáleného materiálu, než jeho povaze. Na prvních místech produkce je tak spalování tuhého komunálního odpadu, nebezpečných materiálů a čistírenských kalů, dále pak automobilové splodiny a spalování uhlí v teplárnách i průmyslových provozech (Laws, 1993). Mezi lokální, ale vydatné zdroje PCDD a PCDF patří hoření plastů a elektroinstalací při intenzivních domovních požárech, kdy může docházet i k přeměně dioxinů z PCB, které se v minulosti používaly právě jako zpomalovače hoření do plastických hmot.

Obdobně s PAH's se i dioxiny mohou dostávat do těla kontaktem, vdechnutí či požitím. Zejména poslední způsob je nejčastější díky nepravděpodobnosti kontaktu člověka s vysoce zamořeným materiálem a velmi nízkým koncentracím dioxinů v atmosféře. Pouze při postupném nakoncentrování látky v těle přijatou vodou nebo jejím nabohacením v potravním řetězci dochází k rychlejší kumulaci a zvýšené intoxikaci dioxiny. Zejména riziková je konzumace ryb odlovených v prostředí mořských šelfů silně dotovaných prostřednictvím velkých toků zamořenými sedimenty z pevniny (Laws, 1993). Do výčtu dioxinů jsem nezahrnul skupiny polybromovaných dioxinů a dibenzofuranů, jelikož navzdory jejich vysoké toxicitě je riziko intoxikace organismů nízké díky velmi malému množství a rozšíření těchto látek v životním prostředí.

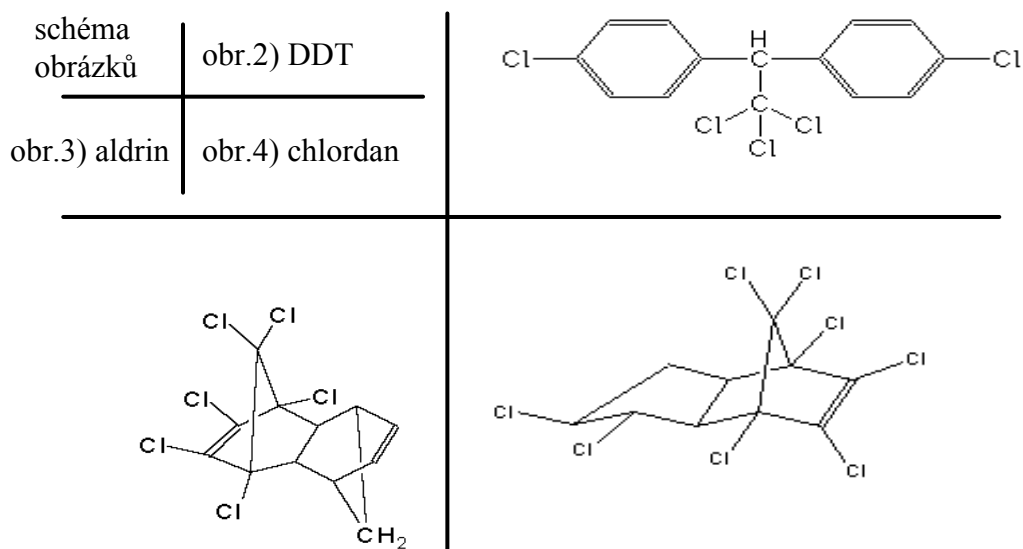
3.2.2. c) Toxické účinky

U dioxinů jsou prokázány vysoké karcinogenní a mutagenní účinky na všechny živočišné organismy. Látky díky extrémně vysoké afinitě k organickým materiálům snadno pronikají do buněk, kde závažným způsobem narušují replikaci DNA a vedou tak ke změnám enzymatických a metabolických procesů v buňkách. Vyznačují se také teratogenitou – schopností deformovat vývoj plodu zvířat a člověka a způsobit trvalé postižení. Vinou nejsilnější akutní toxicity mezi POP's stačí i nepatrná množství naakumulovaná v organismu k vážnému trvalému poškození zdraví (Světová zdravotnická organizace, 1998). Intoxikace lidského těla je v případě akumulace látky nad kritickou úroveň nevratná a lze zčásti léčit její pouze dopady ve formě rakoviny.

3.2.3. Pesticidy

3.2.3. a) Popis

Pod skupinu pesticidů spadá široká skupina látek představovaná z větší části polyhalogenovanými uhlovodíky. Vymezení skupiny těchto látek je dáno jejich schopností toxicky působit na škodlivé organismy a neškodit kulturní plodině jimi ošetřené. Z této skupiny cíleně vyráběných jedů se POP's užívají zejména jako insekticidní prostředky chránící úrodu před škůdci. Selektivní toxicita insekticidů je dána právě jejich schopností akumulovat se v živočišných (a ne v rostlinných) tkáních, jinými slovy jejich lipofilní schopností (Environmental pollution by pesticides, 1973, London). Z pesticidů se řadí mezi POP's látky, které jsou kromě toxicity a kumulační schopnosti navíc i chemicky a fyzikálně stálé. Tato jejich odolnost je většinou způsobena cyklickými, nebo aromatickými jádry vázanými na struktuře jednoduššího alifatického řetězce. Všechny pesticidní přípravky ze skupiny POP's s výjimkou kdysi používaného naftalenu obsahují ve svých molekulách atomy chloru a jsou to pevné, krystalické a málo těkavé látky. V pestré směsi organochlorových pesticidů se na čelných místech nejvíce nebezpečných POP's vyskytují DDT (dichlordifenyltrichlorethan) viz obr.2), DDD (dichlordifenyldichlorethan) a DDE (dichlordifenyldichloretylen). Tyto látky jsou významné především díky vysoké odolnosti vůči degradaci, která účinně podporuje jejich bioakumulaci a toxické působení, a také kvůli velkému rozšíření jejich využívání po celém světě dříve, než byly prokázány jejich škodlivé účinky pro člověka a produkce zastavena (Environmental pollution by pesticides, 1973, London). K dalším důležitým méně persiistentním pesticidům patří látky s triviálními názvy aldrin (obr.3)), dieldrin, endrin a isodrin, jenž mají společným základem dvou spojených hexanových cyklů, chlordan (obr.4)) a lindan (označovaný i zkratkou HCH) se základem jednoho hexanového cyklu. Za zmínku stojí i hexachlorbenzen HCB donedávna využívaný jako účinný fungicid.



3.2.3. b) Výskyt a expozice

Persistentní organické polutanty užívané jako pesticidy se od ostatních POP's nevyčleňují svou molekulární strukturou nebo odlišnými fyzikálně – chemickými vlastnostmi, ale kvůli způsobu, jakým jsou člověkem ve velkých kubaturách cíleně plošně rozptylovány do životního prostředí. Drtivá většina celkového množství jednotlivých pesticidů byla v průběhu času nahrazena novými látkami poté, co byla zjištěna rizika spojená s nebezpečnými vlastnostmi látek původních. Nebezpečné vlastnosti nových pesticidů ale bývají bohužel často odhaleny až po delší době jejich šíření v prostředí. Jmenované látky ovšem vznikají v malém množství i při výrobě plastů, provozu chemických i hutních zařízení a nedokonalém spalování chlorovaných uhlovodíků (Svatošová, 2009).

Do těla pronikají látky kontaktem s pokožkou, vdechnutím i požitím s vodou nebo potravinami. Navzdory nezbytnému zastavení výroby přetrvávají POP's ze skupiny pesticidů v rozsáhlých oblastech zejména v půdě, ale pronikají ve velkém měřítku splachem i freatickou zvodní do jímacích objektů využívaných pro vodárenské účely. Z toho důvodu se moderní člověk expozici pesticidních členů POP's nemůže vyhnout a je tak trvale vystaven jejich účinkům. Dobrou metodou, jak alespoň snížit jejich přísun v potravě a vodě je pokročilá a precizně kontrolovaná úprava pitné vody a navyšování produkce a konzumace tzv. biopotravin.

3.2.3. c) Toxické účinky

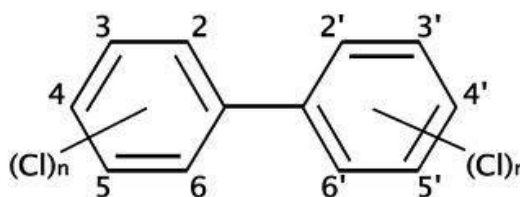
Toxicita látek ze skupiny pesticidů se nejvíce projevuje na drobných vodních organismech citlivých především na insekticidní substance. Jak již bylo řečeno, hlavním prvkem rizika jejich působení na člověka není vysoká úroveň toxicity, ale persistence v prostředí umožňující dlouhodobou kumulaci v lidských tkáních. Účinky široké skupiny pesticidních látek na člověka nejsou jednotné. Vinou jejich schopnosti narušovat metabolické procesy může vést k intoxikaci člověka k trvalému poškození jater a ledvin. Dalším rizikem spojeným s pesticidy jsou jejich negativní účinky na nervový systém a produkci hormonů v těle. Velká část z nich má také předpokládané nebo prokázané karcinogenní účinky zejména v místech jejich největší kumulace (podílejí se na vzniku rakoviny jater) a také má nepříznivý dopad na funkci reprodukčního systému (Svatošová, 2009). Jako u ostatních POP's dokáže moderní medicína pomáhat pouze se zmírněním následků intoxikace, jelikož příčina – vysoká koncentrace polutantu v lidských tkáních – je neodstranitelná.

3.2.4. Polychlorované bifenyly (PCB's)

3.2.4. a) Popis

Polychlorované bifenyly tvoří úzkou, ale významnou dílčí skupinu POP's. jsou tvořeny dvěma benzenovými jádry propojenými jedinou jednoduchou vazbou (obr.5)). Atomy vodíku na benzenových jádrech mohou být v různých pozicích i počtu nahrazeny atomy chloru. Při výrobě bifenyly vzniká vždy větší počet jednotlivých typů bifenyly lišících se stupněm chlorace – taková chemická individua se nazývají kongenery.

obr.5) struktura bifenyly



Bifenyly jsou pevné netěkavé krystalické látky, chemicky velmi stabilní a pod teploty přibližně 1000°C prakticky ve směsi se vzduchem nehořlavé. Zároveň s počtem atomů chloru roste bod varu i tání, specifická hmotnost, schopnost sorpce na organický materiál a klesají toxické účinky na exponovaný organismus. Obdobně pesticidům je největším problémem látek vysoká odolnost vůči přirozeným degradačním procesům, která též vzrůstá spolu se stupněm chlorace. Zejména při degradaci bifenyly hrozí vznik mnohem nebezpečnějších sloučenin. Během oxidace, která je vzhledem k vlastnostem látky velmi obtížná, dochází vždy ke vývinu nezanedbatelného podílu ještě mnohem nebezpečnějších polychlorovaných dioxinů a dibenzofuranů. Vystavení redukčním podmínkám, jenž jsou v přírodě běžnější, vede k postupné částečné dechloraci bifenyly, což vede jednak ke zvýšení jeho toxických účinků na organismy, a také k možnému vyvázání jeho malého podílu z přirozeného sorbentu v důsledku snížení afinity dechlorované látky k vazbě na organickou hmotu (Véber, 1991).

3.2.4. b) Výskyt a expozice

Hlavním zdrojem PCB's byla v minulosti jejich rozsáhlá průmyslová výroba. Velmi dobré fyzikální vlastnosti vedly k jejich používání, jako přísad hydraulických kapalin a tepelných médií. Díky skvělým dielektrickým vlastnostem a nehořlavosti byly užívány v chladicích kapalinách vysokonapěťových elektrických zařízení, jako kapalně elektroizolátory v transformátorech a jako příměs do plastových izolačních materiálů. Kvůli zpomalování hoření byly přidávány v malém množství do celé řady plastových výrobků a laků a byly používány i jako změkčovače a rozpouštědla při výrobě plastických hmot. PCB's vznikají také jako vedlejší produkty výroby umělých hmot a jiných chlorovaných uhlovodíků (např. pesticidů), v papírenském a textilním

průmyslu a v malé míře i jako splodiny při spalování různých uhlovodíků. Často také dochází k vyluhování bifenyly z dnes již nevyráběných plastických hmot pomalu degradujících na skládkách komunálního odpadu i z plastových odpadů na černých skládkách a rumišťích či z odpadů volně odhozených v přírodě. Zejména odpadní dnes již nevyráběné plastové materiály se vyznačují zvýšeným obsahem vázaných bifenyly (Burešová 2009).

Intoxikace lidského organismu bifenyly je umožněna především požitím kontaminované vody, nebo živočišných produktů kontaminovaných zvířat – zejména mořských a sladkovodních ryb – jelikož právě ve vodních ekosystémech se nejlépe projeví kumulační efekt v potravním řetězci. Vinou špatně prováděného, nebo příliš zastaralého způsobu nakládání s odpady a odpadními vodami, je u nás bohužel hlavním šířitelem primárního znečištění polutanty freatická a povrchová voda. Spolu se zefektivněním úpravy pitné vody by nárůstu expozice PCB's a jejich průniku do životního prostředí nejlépe zabránila modernizace vybavení skládek a čistíren odpadních vod a lepší zabezpečení těchto provozů před pozvolným únikem polutantů. Nejméně příznivá je skutečnost, že mohou ze odpadními vodami unikát PCB's jen na podprahové úrovni koncentrace, takže pravidelné orientační rozbory nemusí nic vykazat, a nepatrné množství látky se v ekosystému může snadno akumulovat a překročit bezpečné hodnoty.

3.2.4. c) Toxické účinky

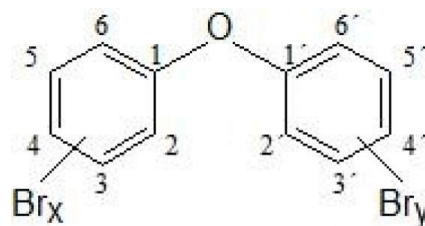
Polychlorované bifenyly narušují základní metabolické procesy v tělech organismů a mohou vážně poškozovat zejména funkce orgánů, v nichž se nejvíce akumulují – jater, sleziny, žláz s vnitřní sekrecí a často i ledvin. Tyto látky se rovněž koncentrují v mozkové kůře a reprodukčních orgánech a mají na jejich činnost negativní účinky. Velmi podstatně se také podílejí na poškození imunitního systému vedoucího k imunosupresi. Karcinogenní a teratogenní účinky jsou velmi slabé, ale ne nepodstatné, dopady rozsáhlého porušení činnosti jmenovaných vnitřních orgánů při intoxikaci však tyto účinky daleko převyšuje. Velkým rizikem spojeným se vstupem PCB's do organismu je současná expozice tkáně mnohem toxičtějším látkám – především polychlorovaným dioxinům a dibenzofuranům, případně i polychlorovaným naftenům. PCDD's, PCDF's i naftenické látky vznikají v malém množství již při výrobě bifenyly a jsou také produkty jejich degradace. I velmi nepatrné koncentrace těchto látek v PCB's působí významné zvýšení jejich toxických účinků, zejména karcinogenity (Burešová 2009). Nemocniční léčba pomáhá zmírnit pouze následky intoxikace.

3.2.5. Polybromované bifenyly a difenylethery (PBB's, PBDE's)

3.2.5. a) Popis

Struktura PBB's je totožná se stavbou molekul bifenyly polychlorovaných. U difenyletherů PBDE's jsou obě benzenová jádra místo prosté vazby spojena jednou etherickou vazbou přes atom kyslíku (viz obr.6).

obr.6) struktura difenyletheru



Obdobně k PCB's a pesticidům i v případě roste s počtem vázaných atomů bromu celková persistence kongeneru a klesá jeho toxicita. Jsou to tuhé netěkavé krystalické látky s výbornou schopností bioakumulace rostoucí rovněž se stupněm nahrazení atomů vodíku bromem. Látky jsou nehořlavé, ale při dosažení teploty kolem 200 °C (podle počtu atomů bromu v kongeneru) dochází k jejich tepelnému rozkladu. Chemická odolnost látek je srovnatelná s bifenyly polychlorovanými. Při výrobě i degradaci PBB's a PBDE's se často vyvíjí i malé množství polybromovaných dioxinů, jejichž toxicita je téměř srovnatelná s PCDD's a PCDF's.

3.2.5. b) Výskyt a expozice

Polybromované bifenyly a difenylethery byly a místy dosud jsou vyráběny jako přísady do široké škály plastických hmot. Díky tepelnému rozkladu provázeného únikem bromového radikálu do ovzduší slouží za retardanty hoření plastů. Proto se používaly hlavně do nehořlavých plastů v elektroinstalačních materiálech, syntetických tkaninách, umělého nábytku, pryží, interiérových stavebních prvků a plastových doplňků dopravních prostředků, kde všude je nízká hořlavost nezbytná. Kromě samotných výrobních procesů jsou všechny tyto materiály potenciálními zdroji volných PBB's a PBDE's. K uvolnění látek z plastů dochází při jejich spalování, resp. tepelné degradaci a také při pomalém rozkladu struktury plastů vystavených vnějším přírodním podmínkám. V prvním případě se polutantů uvolňují do ovzduší, kde dochází k jejich okamžité sorpci na organické částice, ve druhém případě se vyluhují do freatické zvodně a povrchové vody (Environmental health criteria, 1994). Chemická odolnost polutantů vůči degradaci v přírodním prostředí je oproti PCB's nižší a dochází k ní zejména procesy postupné dehalogenace v redukčních podmínkách.

K příjmu kontaminantů organismy může dojít povrchovým kontaktem, vdechnutím spločin i požitím spolu s potravou. Akutnímu působení může být člověk vystaven především při vdechnutí aerosolu v bezprostřední blízkosti pálené látky – zejména při požáru nebo při zaměstnání souvisejícím se spalováním plastů např. ve spalovnách tuhého komunálního odpadu. Ke chronické intoxikaci dochází příjmem znečištěné vody, nebo kontaminovaných živočišných potravin.

3.2.5. c) Toxické účinky

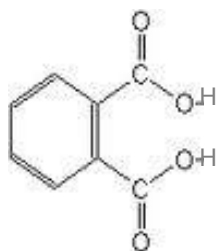
Toxicita PBB's a PBDE's je nižší v porovnání s působením výše uvedených PCB's a vážné důsledky může mít pouze chronická intoxikace působená opakovaným vystavováním organismu kontaminovanému ovzduší nebo vodě a potravinám. Ke snížení rizika přispívá i rychlejší dopady degradačních procesů. Vdechování spločin obsahujících polybromované bifenyly a difenylethery nebo kontakt s výše kontaminovaným materiálem se projevuje podrážděním pokožky a sliznic a kontaminace organismu inhalací látky nebo příjmem s potravou vede k rychlé kumulaci ve tkáních. Intoxikace vede k porušení funkce systému žláz s vnitřní sekrecí, především štítné žlázy, poškozování jater a ledvin, celkového oslabení imunitního systému a negativních účinků na systém nervový (Environmental health criteria, 1994). Látky jsou rovněž podezřelé z karcinogenity, ale ta může být působena pouze jejich rozpadovými produkty typu dioxinů. Polybromované bifenyly a difenylethery jsou rovněž nebezpečné, jako výchozí látky již zmíněných mnohem toxičtějších polybromovaných uhlovodíků. Stejně jako u ostatních POP's není přímá léčba intoxikace možná.

3.2.6. Ftaláty

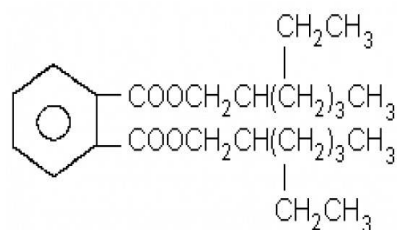
3.2.6. a) Popis

Ftaláty představují širokou skupinu látek odvozených od základní jednotky kyseliny ftalenové (obr.7)). Jsou to méně těkavé a hořlavé kapaliny špatně rozpustné ve vodách a dobře rozpustné v tucích. Jejich fyzikální a chemické vlastnosti se odvíjejí od typu a rozměru molekulární struktury navázané na ftalenový základ. Do skupiny POP's lze kvůli vysoké persistenci, toxicitě a bioakumulační schopnosti bez výhrad zařadit pouze di-(2 etyl hexyl) ftalát označovaný zkratkou DEHP.

obr.7) kyselina ftalenová



obr.8) DEHP



3.2.6 b) Výskyt a expozice

DEHP se průmyslově vyrábí jako odolná látka sloužící k impregnaci různých plastických materiálů a jejich změkčování. Plasty s obsahem DEHP se užívají k výrobě obalových materiálů, nábytku a interiérových doplňků v domácnostech i dopravních prostředcích, syntetických tkanin a hraček, a také do elektroinstalačních materiálů. Zejména se ftalát přidává jako změkčovač do PVC. Látka je málo těkavá, ale přesto se časem z plastických materiálů uvolňuje a uniká do prostředí. Toto unikání může být výrazně urychleno vystavením hmoty působení přírodní vody (Čížek, 1994). DEHP podléhá degradaci v přírodě snáze, než většina ostatních POP's. V oxických podmínkách dochází k jeho hydrolýze na ftalenovou kyselinu a následné oxidační biodegradaci na vodu a CO₂. V anoxickém půdním prostředí, kde se ftalát nejvíce kumuluje na organické hmotě, se však jeho životnost s poklesem Eh potenciálu prostředí výrazně zvyšuje. Hlavními zdroji jsou provozy podniků vyrábějících nebo zpracovávajících plasty a místa skladování a skládkování plastů s obsahem DEHP. Fotolytická degradace ftalátu při jeho rozptýlení v ovzduší je velmi rychlá (Laws, 1993). Z toho důvodu je hlavním zdrojem znečištění a transportním médiem kontaminovaná povrchová a freatická voda.

K příjmu ftalátu může prakticky dojít inhalací nebo požitím. Vdechnutí větších koncentrací je možné pouze v bezprostřední blízkosti zdroje ftalátu například ve výrobních provozech nebo při přímém kontaktu s měkčenou hmotou – případ plynových masek, hubic šnorchlů a dýchacích přístrojů. K požití může dojít prostřednictvím znečištěné vody, znečištěných živočišných potravin pocházejících z kontaminovaných zvířat (plastové doplňky užívané v kotcích velkochovů drůbeže), nebo potravin kontaminovaných umělohmotnými obaly a fóliemi. K požití také bohužel dochází přitisknutím silně měkčené plastické hmoty k ústům – což je případ nekvalitních nebezpečných hraček či dokonce dudlíků určených pro kojence a batolata.

3.2.6. c) Toxické účinky

DEHP má schopnost narušovat syntézu bílkovin v těle a v malé míře poškozovat reprodukci DNA. Toxické působení ftalátů je nejsilnější na reprodukční ústrojí zvířat i lidí. Dále poškozují játra a ledviny a částečně působí i jako teratogen. Také má nepříznivé účinky na kardiovaskulární a imunitní systém. Na rozdíl od ostatních POP's dochází postupem času ve tkáních k jeho velmi pomalému odbourávání a rozkladu na méně toxické složky.

4. Platné normy a limity pro koncentrace POP's

V této části uvádím několik výňatků z právních předpisů stanovujících na základě předchozí důkladné výzkumné činnosti nejvyšší přípustné limity pro koncentrace látek POP's v ve vodě a normy omezující produkci nebezpečných látek. Kvůli rozmanitosti celé skupiny jsou jednotlivá chemická individua často popsána a limitována různými předpisy, nebo několika normami zároveň. Ve výňatcích uvádím pouze informace přímo se týkající POP's. Tyto limity lze nalézt v zákoně č. 254/2001 Sbírky zákonů.

tab. 5) Nařízení vlády č. 61. dne 29.1. 2003

(pozn.: hodnoty označené * jsou nově platné teprve od února 2011 – upravuje je nařízení vlády č. 23/2011 sb.)

Příloha č. 3 k nařízení vlády č. 61/2003 Sb. Imisní standardy ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod							
Tabulka 1: Imisní standardy: ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod							
Imisní standardy pro užívání vody pro vodárenské účely, pro koupání osob a pro lososové a kaprové vody se vztahují k místu odběru vody pro úpravu na pitnou, místu provozování koupání, respektive k úseku vodního toku stanoveného jako lososová nebo kaprová voda.							
Ukazatel	Značka nebo zkratka		Požadavky pro užívání vody (celoroční průměr)				Obecné požadavky
			vodárenské účely (§ 31)	koupání (§ 34)	lososové vody (§ 35)	kaprové vody (§ 35)	
Aldrin	309-00-2	μg/l					0,005
Anthracen	120-12-7	μg/l					0,1
Benzo/a/pyren	50-32-8	μg/l					0,1
Benzo/b/fluoranthen	205-99-2	μg/l					0,06
Benzo/ghi/perylene	191-24-2	μg/l					0,03
Benzo/k/fluoranthen	207-08-9	μg/l					0,06
p,p'-DDT	50-29-3	μg/l					0,01*
Dieldrin	60-57-1	μg/l					0,005*
Di(2-ethylhexyl)ftalát	DEHP	μg/l					10*
	117-81-7						
Endrin	72-20-8	μg/l					0,0005*
Fluoranthen	206-44-0	μg/l					0,2
Hexachlorbenzen	HCB	μg/l					0,005*
	118-74-1						
Indeno/1,2,3-cd/pyren	193-39-5	μg/l					0,03
Lindan	γ-HCH	μg/l					0,01*
	58-89-9						
Naftalen	91-20-3	μg/l					2*
Suma DDT	Σ-DDT	μg/l					0,05
Suma	Σ-HCH	μg/l					0,05
hexachlorcyklohexanů							
Suma polycyklických aromatických uhlovodíků	Σ-PAU	μg/l	0,03				0,2
		μg/l					
Suma polychlorovaných bifenyků	Σ-PCB	μg/l					0,012

tab. 6)-9) Emisní standardy odpadních vod s obsahem uvedených zvlášť nebezpečných látek dle nařízení vlády č. 61. dne 29.1. 2003

Látka, průmyslové odvětví a druh výroby	Přípustné hodnoty	
	g/t	mg/l
Hexachlorcyklohexan (HCH)		
Výroba HCH		
měsíční průměr	2	2
denní průměr	4	4
Extrakce lindanu		
měsíční průměr	4	2
denní průměr	8	4
Výroba HCH s extrakcí lindanu		
měsíční průměr	5	2
denní průměr	10	4
Zpracování lindanu		
měsíční průměr	0	0
denní průměr	0	0

Látka, průmyslové odvětví a druh výroby	Přípustné hodnoty	
	g/t	mg/l
DDT		
Výroba DDT		
měsíční průměr	8	0,7
denní průměr	16	1,3
Zpracování DDT na místě výroby		
měsíční průměr	4	0,2
denní průměr	8	0,4
Zpracování DDT mimo místo výroby		
měsíční průměr	0	0
denní průměr	0	0
Průmyslová výroba dikofolu		
měsíční průměr	1	0,2
denní průměr	2	0,4

Látka, průmyslové odvětví a druh výroby	Přípustné hodnoty	
	g/t	mg/l
Aldrin, dieldrin, endrin a isodrin (driny)		
Výroba aldrinu a/nebo dieldrinu a/nebo endrinu včetně zpracování těchto látek		
měsíční průměr	3	0,002
denní průměr	15	0,01
Zpracování těchto látek mimo místo výroby		
měsíční průměr	3	0,002
denní průměr	15	0,01

Látka, průmyslové odvětví a druh výroby	Přípustné hodnoty	
	g/t	mg/l
Hexachlorbenzen (HCB)		
Výroba a zpracování hexachlorbenzenu		
měsíční průměr	10	1
denní průměr	20	2
Výroba tetrachlorethenu a tetrachlorbenzenu tetrachlormethanu chlorací		
měsíční průměr	1,5	1,5
denní průměr	3	3
Výroba trichlorethenu a/nebo tetrachlorethenu jinými procesy		
měsíční průměr	1,5	1,5
denní průměr	3	3
Výroba quintozenu a tecnazenu		
měsíční průměr	10	1,5
denní průměr	20	3
Výroba chloru elektrolýzou alkalických chloridů s použitím grafitových elektrod		
měsíční průměr		1
denní průměr		2
Závody na zpracování technické pryže, s vypouštěním nad 1 kg/rok		
měsíční průměr		3,5
denní průměr		7
Závody na výrobu pyrotechnických výrobků s vypouštěním nad 1 kg/rok		
měsíční průměr	20	1
denní průměr	40	2
Závody na výrobu vinylchloridu		
měsíční průměr	2	1
denní průměr	4	2
Ostatní průmyslová odvětví, výroby a neprůmyslové zdroje		
měsíční průměr		1
denní průměr		2

Normy environmentální kvality pro prioritní látky a některé další znečišťující látky Část A: Mpr,y environmentální kvality (NEK)					
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Anthracen	120-12-7	0,1	0,1	0,4	0,4
Bromovaný difenylether	32534-81-9	0,0005	0,0002	-	-
DDT celkem		0,025	0,025	-	-
Fluoranthen	206-44-0	0,1	0,1	1	1
Hexachlorbenzen	118-74-1	0,01	0,01	0,05	0,05
Hexachlorcyklohexan	608-73-1	0,02	0,002	0,04	0,02
Naftalen	91-20-3	2,4	1,2	-	-
Pentachlorbenzen	608-93-5	0,007	0,0007	-	-
Benzo(a)pyren	50-32-8	0,05	0,05	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranthen	205-99-2	Σ = 0,03	S = 0,03	-	-
benzo(k)fluoranthen	207-08-9				
Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	Σ = 0,002	S = 0,002	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pyren	193-39-5				

5. Metodika a průběh postupu

Pro stanovení rizika hrozícího oblasti povodí Jizery bylo třeba co největšího množství údajů o kontaminaci persistentními organickými polutanty v minulosti i v současnosti. Díky nim by bylo možné rozeznat jak umístění bodových zdrojů konkrétních kontaminantů, tak i případnou distribuci plošného znečišťování spadem z ovzduší, nebo důsledky užívání POP's jak pesticidů na větší ploše území v nedávné minulosti. Dalším krokem je sledování vývoje koncentrací v čase na jednotlivých lokalitách na jejich řadách podél směru toků. Tímto způsobem je možné sledovat časové trendy změn koncentrací na jednotlivých místech a v optimálním případě i časové průběhy změn jejich distribucí v rámci vybraných vodních toků. To umožňuje určit, zda je znečišťování povodí z bodových zdrojů jednorázové, sezónní nebo trvalé, případně časový trend dlouhodobých změn, a kvantifikovat průběh transportu látky ve směru vodního toku. K tomuto účelu jsem plánoval použít mapový software ArcGIS.

5.1. Použitá data

Zdroji údajů byly rozborů vzorků povrchových a freatických vod, prováděné laboratořemi Povodí Labe, ČHMÚ a VÚV v Praze. Voda podrobená rozborům pocházela z odběrů na Jizeře a jejích hlavních přítocích, z některých přirozeně vyvěrajících pramenů, jejichž průtok ve všech případech převyšoval 2 l/s, a z vrtů jímajících freatickou vodu kvartérních sedimentů v bezprostřední blízkosti vodního toku. Dalšími předměty rozborů byly říční dnové sedimenty odebrané z pásu do 0,5 m od břehu řeky (samozřejmě směrem do koryta), plaveniny pocházející z odstředěných vzorků říční vody a vzorky tkání vodních živočichů vystavených v prostředí vodního toku kontaminaci POP's. Posledním důležitým zdrojem dat byly pasivní vzorkovače SPMD použité na profilu v Předměřicích.

5.1.1. Hydrogeologický význam dat

5.1.1. a) Povrchová voda

Hlavním předmětem rozborů a zdrojem dat byla povrchová a freatická voda. V toku povrchové vody dochází k neúčinnějšímu transportu POP's nasorbovaných na pevné částice ve vodě rozptýlené. Koncentrace POP's přítomných ve vodě tedy závisí na množství částic, potažmo na unášecí schopnosti – rychlosti proudění – profilu koryta a průtoku. Obsah těchto polutantů ve vodě je přímo úměrný sumě TOC, resp. podílem organické hmoty v plavenině. Koncentrace znečišťujících látek kolísá spolu s průtokem, a proto je k efektivnímu výzkumu kontaminace oblasti nutné provádět odběry vzorků a měření toku pravidelně a v intervalech odpovídajících rychlosti změny hladiny. Pořizování vzorků tekoucí vody je tedy vyhovující především na spodních tocích řek. Výsledky rozboru odhalí jakost vody, ale příliš nepomohou při hledání zdroje kontaminace – nárůst koncentrace může znamenat akutní nedávný únik přímo do říčního toku nebo odkrytí a rychlou vodní erozi tělesa jílovitých náplavů silně znečištěných někdy v minulosti únikem, který by jinak vůbec nebyl zaznamenán. Klíčová je role říční nivy jejíž hmota působí jako hlavní sorbent. Při nižším průtoku dochází k pohlcování kontaminace, ukládání znečištěných sedimentů a vzrůstu kvality vody. Vysoký průtok znamená erozi a často rázovou rychlou migraci velkého množství kontaminantu v řece. Zvláště při povodních se pravidelně přesouvají velké objemy POP's. z obvykle vnořených částí nivy i z půdy ve vzdálenějším okolí toku a posléze se uloží desítky i stovky km daleko ve formě nánosů povodňových sedimentů, jež se na lokalitě stanou novým zdrojem znečištění. Za těchto podmínek je obtížné popisovat šíření POP's podle schématu kontaminačního mraku a k objektivnímu průzkumu šíření polutantů konkrétním povrchovým tokem je nezbytné být dokonale obeznámen s heterogenitou oblasti, lokálními plochami sedimentace a eroze a přesnými obsahy organických látek v sedimentu na všech důležitých lokalitách. Povrchové vody jsou nejzranitelnějším a nejméně předvídatelným prostředím znečištění POP's.

5.1.1. b) Freatické vody

Údaje o kontaminaci freatické vody nepomáhají při průzkumu transportu POP's, ale poskytují spolehlivá data o jejich distribuci, konkrétně blízkosti bodového zdroje znečištění. Proto je pro účely vyhledávání zdrojů kontaminace považují za mnohem cennější, než informace z vody povrchové. V prostředí freatické zvodně lze šíření POP's lépe modelovat principem kontaminačního mraku. Šíření je velmi pomalé i pod úrovní hladiny podzemní vody s jeho rychlost je limitována podílem organické složky v jemnozrnné komponentě sedimentů. Všechny POP's s výjimkou DEHP mají vyšší hustotu než voda a patří do skupiny látek DNAPL's. Vzhledem k velmi vysoké úrovni sorpce na pevnou fázi však látky nejsou schopné v přirozené krajině s půdním pokryvem infiltrovat do větších hloubek a kontaminovat hlubší oběh podzemní vody. I ve vodě freatické se jejich obsah pohybuje na hranici prahu detekce. Zasáknutí do větší hloubky ale podporují soustředěné zdroje intenzivní kontaminace (netěsnosti ochranných bariér skládek, úniky zamořených kapalin v průmyslových podnicích a skladištích, případně i požáry takových skladišť nebo skládek následované silnými srážkami). Soustředování povrchových úniků může napomáhat i přítomnost sprašových těles blokujících zasakování látky po větší ploše na povrchu a rovnoměrné sorpci. Dlouhodobý soustředěný únik je schopen postupně saturovat sorpční kapacitu půdy a proniknout do saturované zóny. Freatická voda je zranitelná na území s mělkým nebo chybějícím půdním pokryvem. Na rizikových lokalitách v blízkosti vodních zdrojů je nezbytné její jakost pravidelně sledovat.

5.1.1. c) Plaveniny, sediment a organismy

Na těchto pevných maticích dochází k přednostní kumulaci POP's. Vyšší hodnoty koncentrací ve volných plaveninách jsou měřítkem kontaminace povrchové vody a spolehlivě podávají mnohem přesnější výsledky o faktickém množství polutantu transportovaného vodou. Výsledky rozborů plavenin objektivněji poukazují na míru kontaminace celých toků, jelikož koncentrace POP's ve vodě nejvíce kolísá s množstvím plavenin a ne jejich úrovní zamoření. Říční sediment je neocenitelný z hlediska možnosti sledování dlouhodobého vývoje znečištění vodního toku a nižší závislostí změn koncentrace vlivem změny průtoku, nebo jejich nižší závislostí na sezónních projevech. Výpovědní hodnota naměřených koncentrací ale může být drasticky zkreslena přechodem povodňové vlny, která promísí sedimenty s aktuálními údaji odpovídajících koncentrací s ostatním starším materiálem a do značné míry „resetuje“ celý systém.

Vodní organismy nejlépe kumulují POP's z prostředí díky procesu potravního řetězce a nejlépe tak napodobují dopady znečištěné vody na člověka. Dokáží nakumulovat ve tkáních vysoké hodnoty koncentrací POP's navzdory neměřitelným obsahům polutantů ve vodě a jsou tak dobrými ukazateli dlouhodobého vývoje méně znečištěných toků, kde plaveniny a sedimenty neposkytují dostatečně citlivé výsledky. Pro rozbor se užívá zejména bentických organismů poukazující na kontaminaci konkrétní lokality. Ze sesilního (přisedlého) bentosu se užívají k rozboru mlži *Dreissena* a larvy chrostíků *Hydropsyche*. Pohyblivými bentickými organismy vhodnými pro účely sledování POP's jsou blešivci *Gammarus* a pijavice rodu *Erpobdella*. Rychlost akumulace polutantů lze také sledovat na rybím plůdku, ale

zjištěné údaje obvykle méně přesněji vystihují distribuci kontaminantu na lokalitě. Značnou nevýhodou při sledování distribuce POP's na vodních organismech jsou obtíže spojené s jejich citlivostí na změny životního prostředí. Proto se jako jakýsi analog pro srovnání užívají pasivní vzorkovače SPMD využívající ke kumulaci záchyt látek semipermeabilní membránou. Spolu s rozborů sedimentů a testy na organismech se používají ke vzorkování v delších časových intervalech, takže výsledky nejsou závislé na nižším stupni kolísání průtoku a poskytují v rámci dlouhých období přesnější data.

5.1.2. Kvantita dat

Celková kvantita dostupných dat byla omezena:

- krátkou časovou periodou, po kterou byly vzorky odebírané z lokality podrobovány rozborům na POP's,
- nízkým podílem zdrojů vody testované na POP's z celkového množství využívaných vrtů,
- nedostupností celé řady možných informačních zdrojů, především rozborů prováděných na zakázky soukromými laboratořemi,
- omezenou možností státního podniku Povodí Labe poskytovat zdarma některé informace soukromým osobám, byť za účely studia.

Zejména podnik Povodí Labe disponoval větším množstvím potřebných dat, která jsem nemohl získat. Jednalo se především o rozborů POP's ze sedimentů. Drtivá většina rozborů sedimentů z povodí Jizery, k nimž jsem měl přístup, obsahovala z rizikových látek pouze výsledky testů nebezpečných kovů a jednoduchých chlorovaných uhlovodíků, které nepatřily POP's.

V důsledku uvedených příčin pochází valná většina dat, jež jsem nakonec použil ve své práci, pouze z databáze ČHMÚ. Síť lokalit s dostupnými údaji rozborů POPS je vzhledem k rozloze sledovaného území dosti řídká, nerovnoměrná a soustředěná na dolní a střední část povodí Jizery.

5.1.3. Kvalita dat

Kvalita dat je velmi nepříznivě ovlivněna na naprosté většině míst nepravidelným nebo řídkým prováděním odběrů vzorků testovaných na POP's, což znemožňuje analýzu údajů formou statistického zpracování ekvidistantních časových řad. Dalším nepříznivým faktorem je neúplnost rozborů na řadě míst odběru. V případě série lokalit odběrů na test POP's, které sledovaly říční toky často na některých z nich chyběl záznam o rozboru konkrétního chemického individua (kongeneru PCB) nebo celé skupiny polutantů (dioxiny, PBB's), jejichž koncentraci v daném bodě jsem potřeboval znát.

5.2. Pracovní postup

Metodiku zpracování dat za účelem získání výše zmíněných výsledků navzdory popsáním nepříznivým faktorům jsem rozdělil do následujících kroků :

5.2.1. Filtrace nepoužitelných dat z poskytnutých datových souborů

Odstranil jsem veškerá data rozborů postrádajících analýzu POPS a údajů z lokalit mimo povodí Jizery. Také jsem odstranil některé nespolehlivé údaje, jež udávaly nesmyslně vysoké koncentrace POP's (tisíce $\mu\text{g/l}$), a některé neúplné údaje (bez doplněného data odběru nebo bez uvedené prahové detekční meze – narazil jsem i na přesně vyčíslené hodnoty koncentrací pod úrovní uvedeného prahu detekce).

5.2.2. Separace dat podle využitelnosti pro časové či prostorové analýzy

Soustředil jsem údaje z lokalit s delší historií rozborů persistentních organických polutantů za účelem sledování vývoje trendů všech testovaných látek v čase, a případně vysoké kvality dat za účelem analýzy časové řady. Cílem bylo zjistit vývoj koncentrací zástupců každé dílčí skupiny POP's v závislosti na čase a obsahu TOC. Jednotlivé látky jsem pro častou neúplnost rozborů (viz výše) volil podle toho, jak dlouho již byly tyto konkrétní látky na lokalitě pravidelně testovány. Za skupinu PAH's jsem zvolil anthracen, fluoranthen a benzo(a)pyren, ze skupiny dioxinů se nabízel pouze celkový společný rozbor PCDD's a PCDF's. Mezi pesticidy jsem vybral p,p' DDT, p,p' DDE a HCH – gama (lindan), z PCB's kongenery 52, 101 a 118 a z PBDE's (PBB's nebyly k dispozici) kongenery 28, 99 a 154. U ftalátů zbýval pouze DEHP.

Ostatní data z lokalit, kde docházelo k odebírání vzorků na rozbor POPS, pouze v posledních letech (některé měly údaje pouze z r. 2010) jsem se třídil do skupin podle jednotlivých chemických látek a posléze je roztřídil podle data pořízení. Při obou procesech jsem byl nucen vyřadit část údajů z lokalit, kde příslušná látka nebyla zjišťována, nebo kde datum odběrů nekorespondovalo s daty pořízení vzorků z ostatních míst.

5.2.3. Analýza separovaných dat

Filtraci a separaci dat jsem provedl v tabulkovém programu Excel. Ke zjištění základních trendů časových sledů koncentrací na jednotlivých lokalitách jsem použil grafické a matematické nástroje programu Excel a na analýzu časových řad statistický program Minitab. Výstupem jsou bodové grafy. Na rozbor prostorové distribuce některých individuálních látek POPS s hustší sítí lokalit jejich odběrů jsem hodlal použít mapový nástroj ArcGIS. Výsledkem měly být mapy distribuce konkrétních POPS podél říční sítě celé oblasti. Důvodem, proč jsem k použití mapového programu nepřikročil, byl fatální nedostatek využitelných dat (viz kapitola 5. Výsledky).

6. Výsledky

Již při příjmu a zpracovávání dat jsem narazil na zásadní problém, s nímž jsem při volbě tématu a teoretické přípravě samotné práce vůbec nepočítal. Jednalo se o fakt, že valná většina všech testů na POP's, které jsem postupně získal, vykazovala negativní výsledky nebo velice nízké hodnoty koncentrací v tisícinách $\mu\text{g/l}$. Jednalo se především o rozborů vzorků freatické a povrchové vody, které tvořily převážnou část dat, jež jsem měl k dispozici. Hodnoty jevíly sklon skokově kolísat po tisícinách $\mu\text{g/l}$ v těsné blízkosti prahu detekce. To působilo vinou nízké citlivosti nesouvislé přeskokování hodnot a vedlo ke vzniku dosti hrubých datových křivek. Kvůli tomu se také výrazně zvýšil potenciální chyby při rozboru vzorku a číselném vyjádření dostupných dat. Přesto jsem s částečným úspěchem provedl jednoduché vyhodnocení zbývajících údajů.

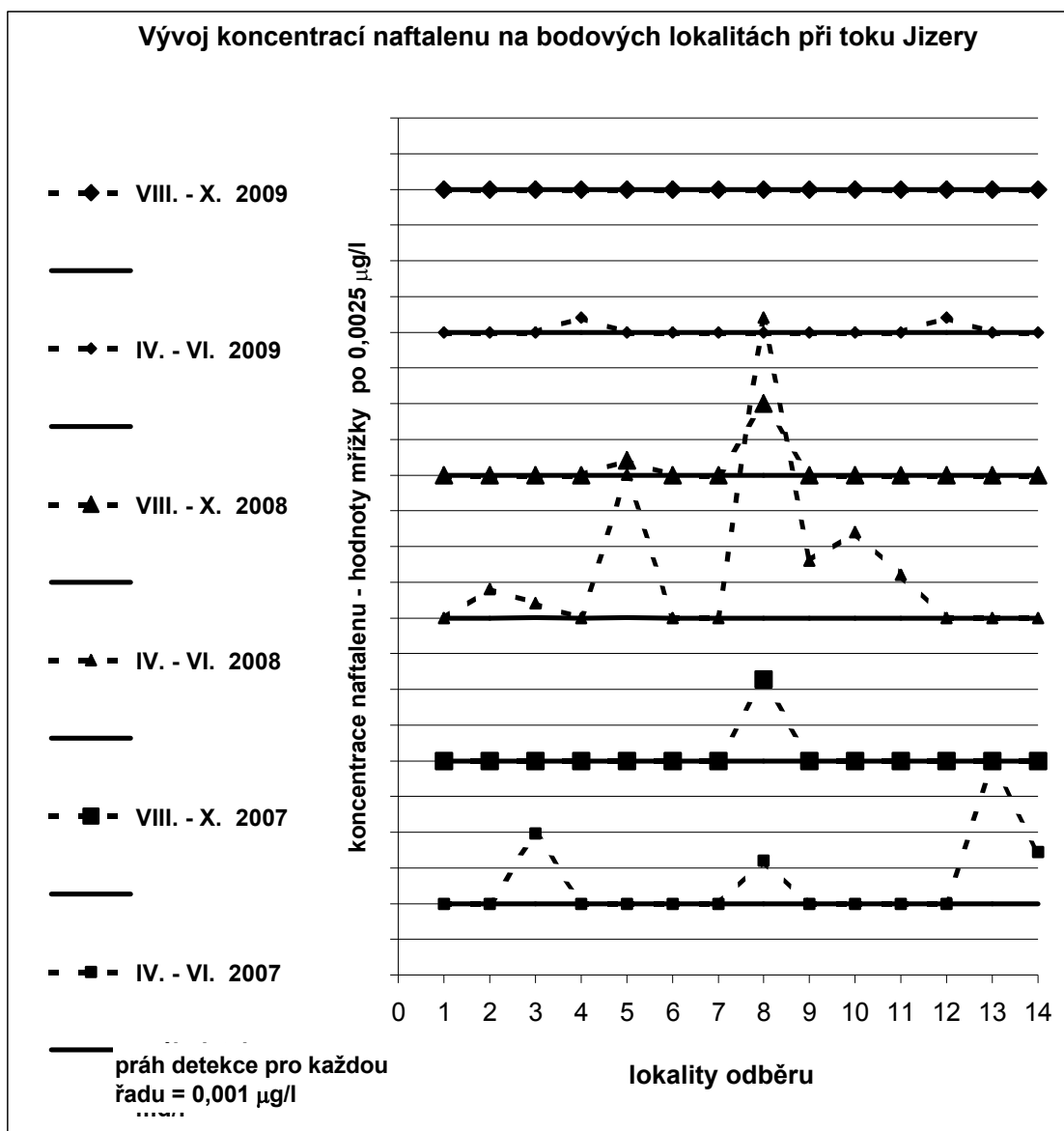
6.1. Povrchová voda

V údajích ze všech povrchových vod, jež jsem měl k dispozici, se nacházely pod prahem detekce hodnoty všech POP's s výjimkou některých PAH's. Nad prah detekce dosahovaly na některých lokalitách koncentrace následujících polyaromatických uhlovodíků : naftalenu, pyrenu, fenantrenu a fluoranthenu. U výsledků získaných z povrchové vody se projevila příliš ostrá závislost na průtoku. Hodnoty koncentrací POP's na časovém průběhu tvořily ostré píky řídce vyběhající těsně nad hranici prahové hodnoty. Umístění píků vykazovalo slabou korelaci s kolísáním průtoků při odběrech. Neprojevila se zde prostorová korespondence výsledků závislých na lokálním průtoku daným profilem, což zcela znemožnilo rozbor prostorové distribuce hodnot na beztak dosti řídké sledovací síti na tocích řek. Úroveň koncentrací se velmi rychle na daných lokalitách měnily s časem a nevykazovaly např. tendenci trvalého zvýšení na některých potencionálně kontaminovaných lokalitách. Velké kolísání údajů s řídkým výskytem pozitivních hodnot a především příliš krátký sled měření na jednotlivých lokalitách znemožnil efektivní využití nástrojů programu Minitab. Výsledky byly zcela chaotické i po normalizaci údajů úrovní průtoku a neměly absolutně žádnou výpovědní hodnotu o průbězích trendů znečištění v čase. Z toho důvodu je zde neuvádím.

6.2. Freatická voda

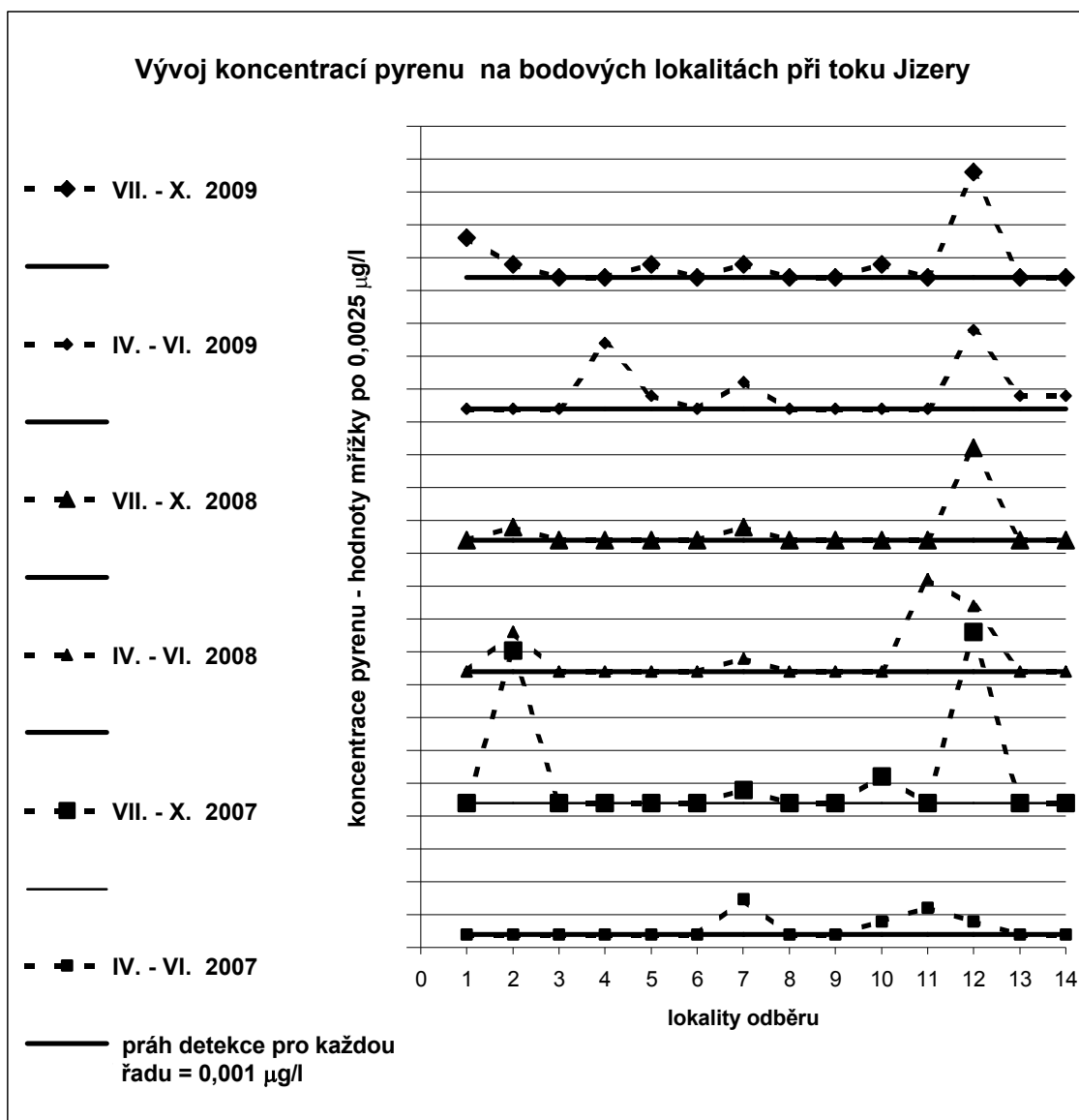
Od dat z rozborů freatické vody jsem očekával silnější vazbu hodnoty koncentrace na danou lokalitu. Obdobně s případem povrchové vody se i zde vyskytovaly v nadprahových množstvích pouze některé skupiny PAH's, nejčastěji opět naftalen, pyren, fenantren a fluoranthen. Na některých lokalitách přinesla analýza prostorové distribuce zvýšených koncentrací použitelné výsledky. Zde uvádím případ čtrnácti zdrojů freatické vody na profilu podél toku Jizery od Rokytnice ke Káranému (graf 2) – graf 5)). Data k jednotlivým lokalitám odběru jsou uvedena níže pod každou grafickou přílohou (tab.11)).

graf 2)



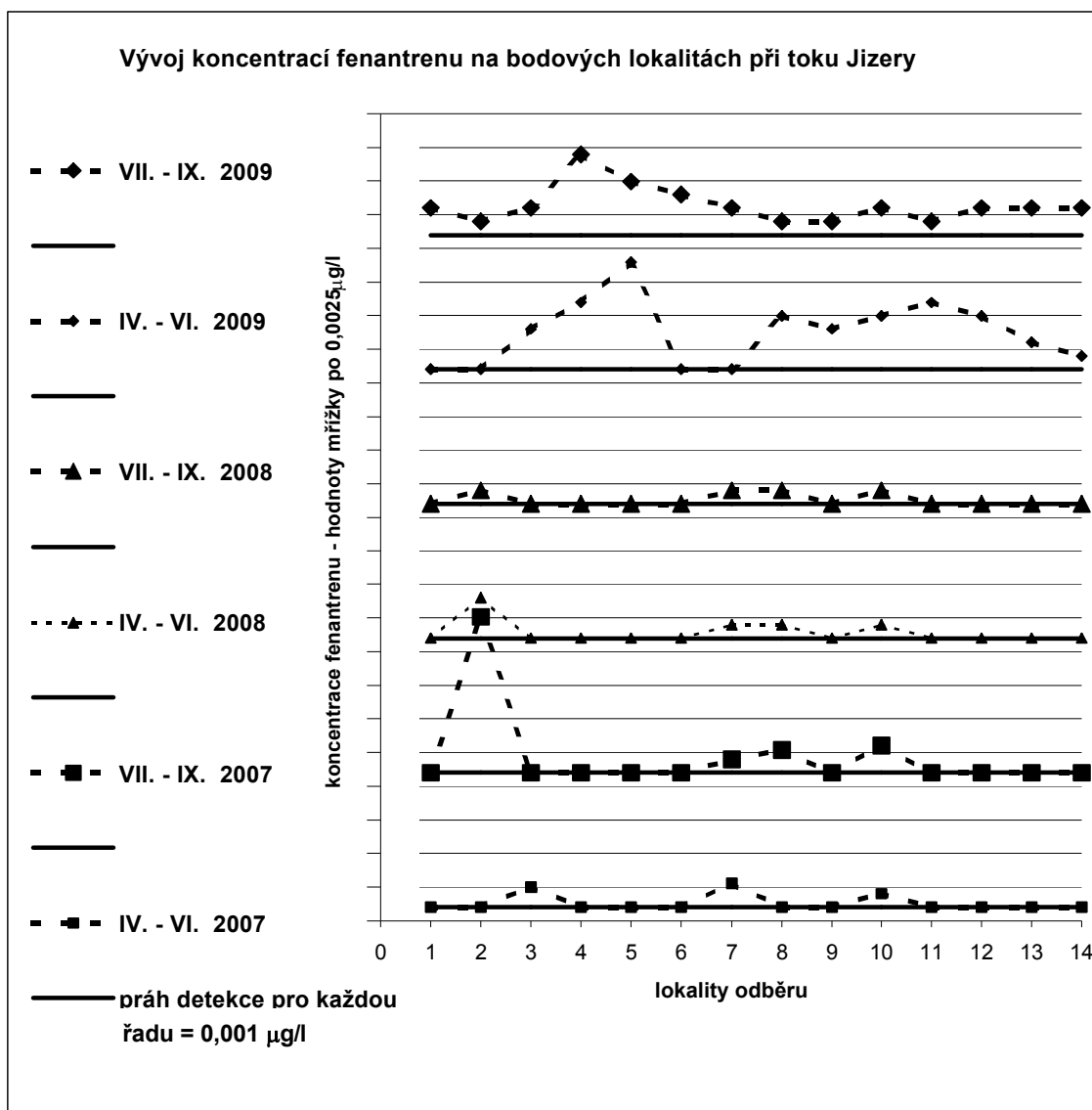
LOK.DBC	NAZEV	TOK	UKOL_ID	LAB_NM
1	VZ0039 Káraný		SITM_PZV_2009	Aquatest
2	VP0715 Sojovice	HP 70 B	STS_CHMI_PZV	Ecochem
3	VP0672 Otradovice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
4	VP7543 Obodř	VP7520N	PROVM_PZV_2008	ALS Czech Republic
5	VP7519 Brodce	KBL 1 A	STS_CHMI_PZV	Ecochem
6	VZ0037 Bradlec - Bakov nad Jiz.		SITM_PZV_2009	Aquatest
7	VP0655 Bakov nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
8	VP7514 Ptýrov	SK 8 T	STS_CHMI_PZV	Ecochem
9	VP7515 Mnichovo Hradiště	SK 7 C	STS_CHMI_PZV	Ecochem
10	VP0651 Mohelnice nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
11	VP0709 Loukov	HV 2	STS_CHMI_PZV	Ecochem
12	VP0635 Modřišice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
13	VZ0033 Dolánky		SITM_PZV_2009	Aquatest
14	PP0190 Rokytnice n. Jiz.	U dvou topolů	STS_CHMI_PZV	Ecochem

graf 3)



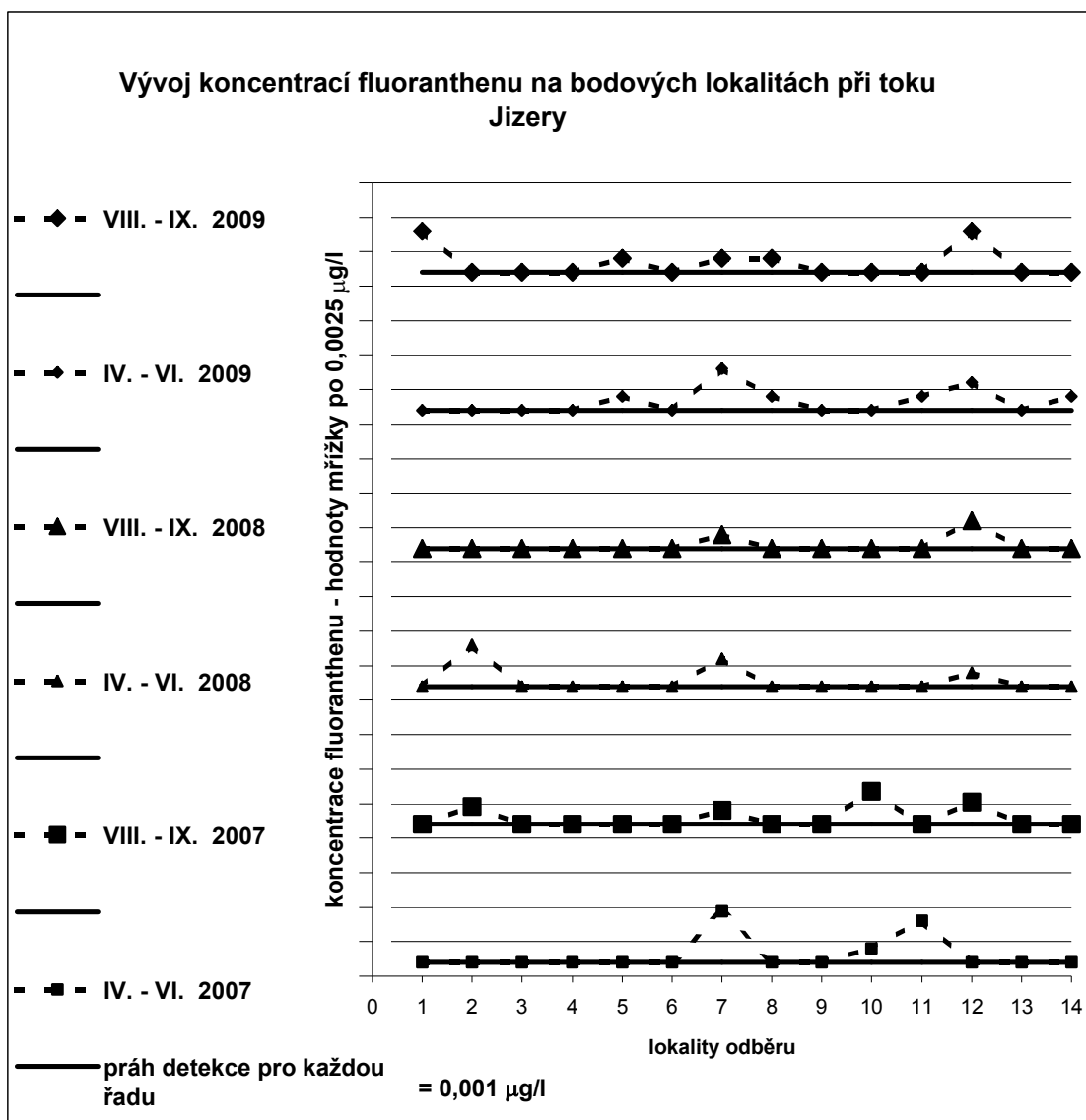
LOK. DBC	NAZEV	TOK	UKOL_ID	LAB_NM
1	VZ0039 Káraný		SITM_PZV_2009	Aquatest
2	VP0715 Sojovice	HP 70 B	STS_CHMI_PZV	Ecochem
3	VP0672 Otradovice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
4	VP7543 Obodř	VP7520N	PROVM_PZV_2008	ALS Czech Republic
5	VP7519 Brodce	KBL 1 A	STS_CHMI_PZV	Ecochem
6	VZ0037 Bradlec - Bakov nad Jiz.		SITM_PZV_2009	Aquatest
7	VP0655 Bakov nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
8	VP7514 Ptýrov	SK 8 T	STS_CHMI_PZV	Ecochem
9	VP7515 Mnichovo Hradiště	SK 7 C	STS_CHMI_PZV	Ecochem
10	VP0651 Mohelnice nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
11	VP0709 Loukov	HV 2	STS_CHMI_PZV	Ecochem
12	VP0635 Modřišice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
13	VZ0033 Dolánky		SITM_PZV_2009	Aquatest
14	PP0190 Rokytnice n. Jiz.	U dvou topolů	STS_CHMI_PZV	Ecochem

graf 4)



LOK. DBC	NAZEV	TOK	UKOL_ID	LAB_NM
1	VZ0039 Káraný		SITM_PZV_2009	Aquatest
2	VP0715 Sojovice	HP 70 B	STS_CHMI_PZV	Ecochem
3	VP0672 Otradovice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
4	VP7543 Obodř	VP7520N	PROVM_PZV_2008	ALS Czech Republic
5	VP7519 Brodce	KBL 1 A	STS_CHMI_PZV	Ecochem
6	VZ0037 Bradlec - Bakov nad Jiz.		SITM_PZV_2009	Aquatest
7	VP0655 Bakov nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
8	VP7514 Ptýrov	SK 8 T	STS_CHMI_PZV	Ecochem
9	VP7515 Mnichovo Hradiště	SK 7 C	STS_CHMI_PZV	Ecochem
10	VP0651 Mohelnice nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
11	VP0709 Loukov	HV 2	STS_CHMI_PZV	Ecochem
12	VP0635 Modřišice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
13	VZ0033 Dolánky		SITM_PZV_2009	Aquatest
14	PP0190 Rokytnice n. Jiz.	U dvou topolů	STS_CHMI_PZV	Ecochem

graf 5)



LOK. DBC	NAZEV	TOK	UKOL_ID	LAB_NM
1	VZ0039 Káraný		SITM_PZV_2009	Aquatest
2	VP0715 Sojovice	HP 70 B	STS_CHMI_PZV	Ecochem
3	VP0672 Otradovice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
4	VP7543 Obodř	VP7520N	PROVM_PZV_2008	ALS Czech Republic
5	VP7519 Brodce	KBL 1 A	STS_CHMI_PZV	Ecochem
6	VZ0037 Bradlec - Bakov nad Jiz.		SITM_PZV_2009	Aquatest
7	VP0655 Bakov nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
8	VP7514 Ptýrov	SK 8 T	STS_CHMI_PZV	Ecochem
9	VP7515 Mnichovo Hradiště	SK 7 C	STS_CHMI_PZV	Ecochem
10	VP0651 Mohelnice nad Jizerou		STS_CHMI_PZV	Ecochem
11	VP0709 Loukov	HV 2	STS_CHMI_PZV	Ecochem
12	VP0635 Modřišice		STS_CHMI_PZV	Ecochem
13	VZ0033 Dolánky		SITM_PZV_2009	Aquatest
14	PP0190 Rokytnice n. Jiz.	U dvou topolů	STS_CHMI_PZV	Ecochem

Série linií v grafech znázorňuje časovou řadu měření koncentrací PAH's v letech 2007 – 2009 na vybraných lokalitách. Vzhledem k nepravidelnostem a širšímu časovému rozptylu odběrů na různých lokalitách jsem nemohl období odběrů přesněji vymezit – zabránilo by mi to v použití údajů z některých lokalit. Základní koncentrace je představována nepřerušovanou linkou udávající práh detekce pro daný kontaminant. Přerušovaná čára spojující sekvence dat z jednotlivých období nemá aproximační význam, jelikož distribuce dat v prostoru je nespojitá. Linie pouze opticky pomáhá vymezit jednotlivé řady a velikosti jejich odchylek od prahové linie.

V grafických přehledech nejsou uvedena přesná naměřená čísla, jelikož jde o ilustraci stavu oblasti. Tabulky použitých dat by si vyžádaly neúměrně velký prostor v rámci této práce. Jedná se o první setiny mg/l nad prahem detekce dat. Z uvedených dat je patrné, že na některých lokalitách dochází k dlouhodobému znečišťování prostředí freatické zvodně a že navzdory velmi nízkým koncentracím uvedených látek lze získaná data použít k rámcovému rozboru distribuce kontaminace ve sledovaném prostoru.

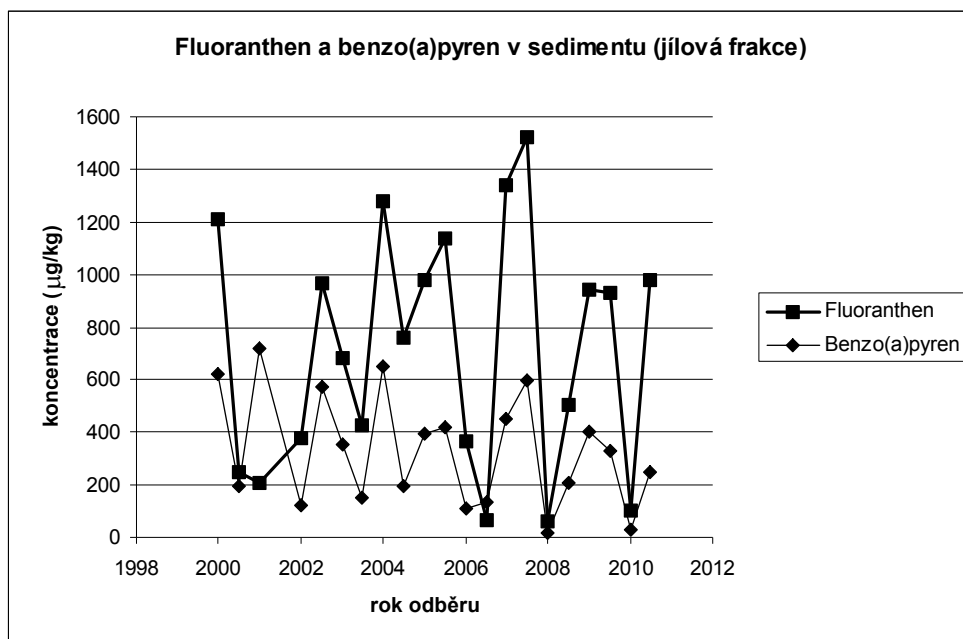
6.3. Sedimenty, plaveniny, vzorkovače a biota

Tyto předměty rozborů poskytují nejlepší data použitelná k analýzám časového vývoje kontaminace na konkrétní lokalitě, v případě plavenin na úseku vodního toku. Dostupné údaje rozborů POP's z těchto matic jsem měl na pěti lokalitách v rámci celého povodí Jizery, takže objem dat v žádném případě neumožňoval objektivní analýzu prostorové distribuce. Na čtyřech z nich byly testy POP's prováděny jen v posledních letech, z toho na třech jen v letech 2009 – 2010. Jedinou lokalitou umožňující sledování časového vývoje kontaminace ve všech zmíněných maticích je profil Předměrice, který poskytl kvalitní data pravidelně měřená v letech 2004 – 2010. Jelikož je skupina POP's velmi široká, uvádím zde výsledky tří skupin schopných reprezentovat výsledky všech POP's – PAH's, dioxinů a pesticidních látek. Polutant DEHP je na profilu testován pouze dva roky, kvůli čemuž jsem jej mezi rozborů časových řad nevedl. Bohužel jsem nemohl použít ke korelaci získané údaje o koncentracích TOC v sedimentech, jelikož datum a průtok při odběru vzorků byly odlišné od dat a průtoků změřených při odběrech vzorků POP's. Zde uvádím výsledky ve formě časových řad pro vybrané kontaminanty. Časové řady nejsou vinou málo pravidelných odběrů ekvidistantní. Výsledky programu Minilab byly proto nepřesné a příliš neodpovídaly místní situaci.

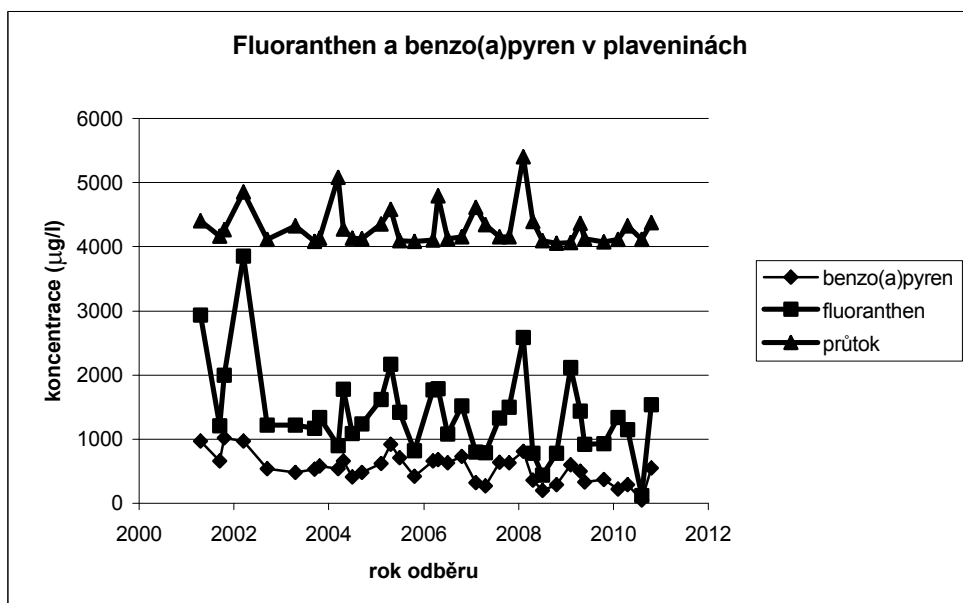
6.3.1. Polycyklické aromatické uhlovodíky

PAH's tvoří rozsáhlou samostatnou dílčí skupinu POP's postrádající halogeny, proto jsem předpokládal poněkud odlišné chování v záznamu časových řad a vyčlenil je zvlášť. Časové řady poskytují data zmíněných matic.

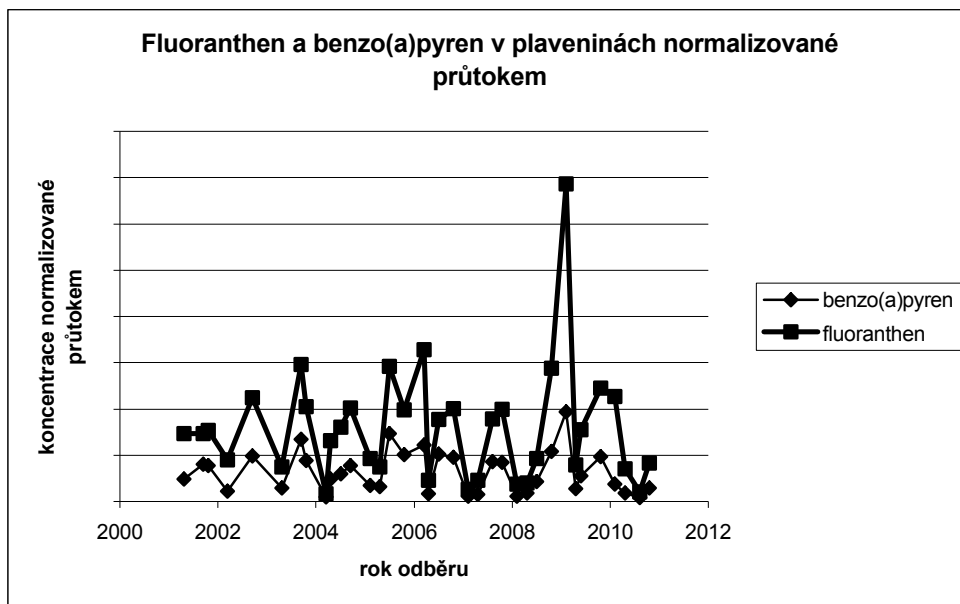
graf 6)



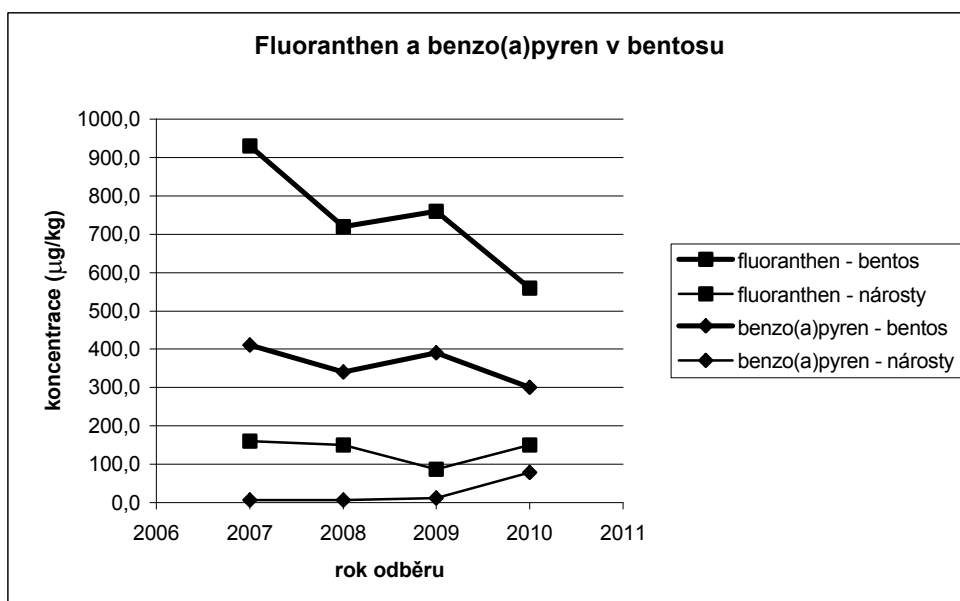
graf 7)



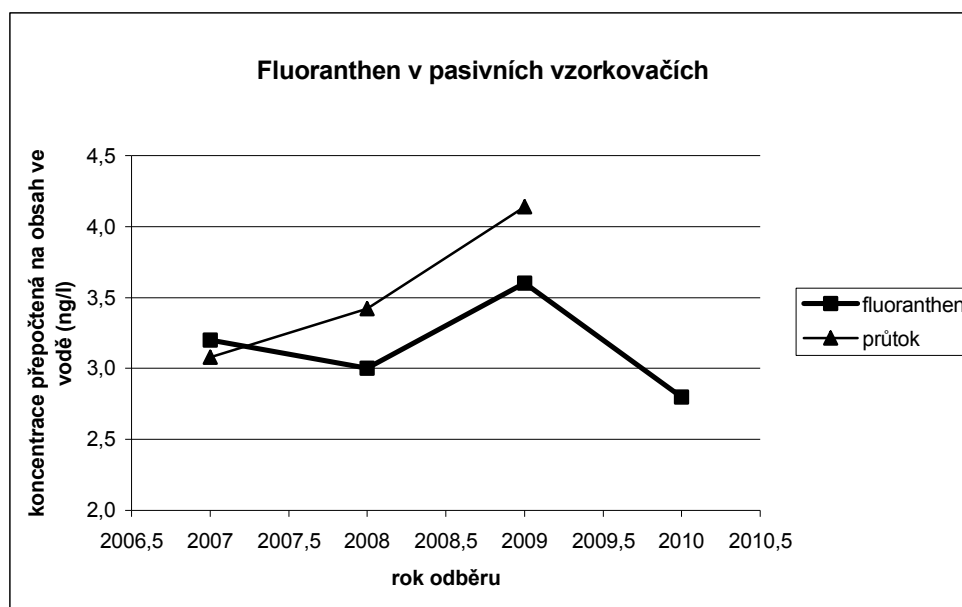
graf 8)



graf 9)



graf 10)

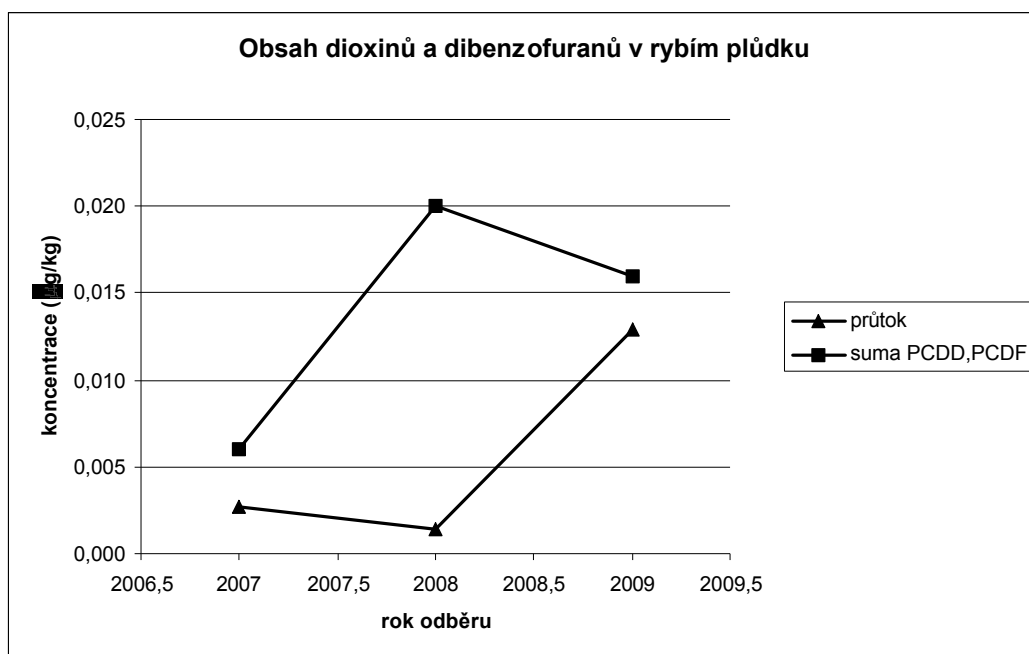


V případě pasivního vzorkovače byly výsledné koncentrace benzo(a)pyrenu v řádech fg/l. Proto jsem je neuvedl.

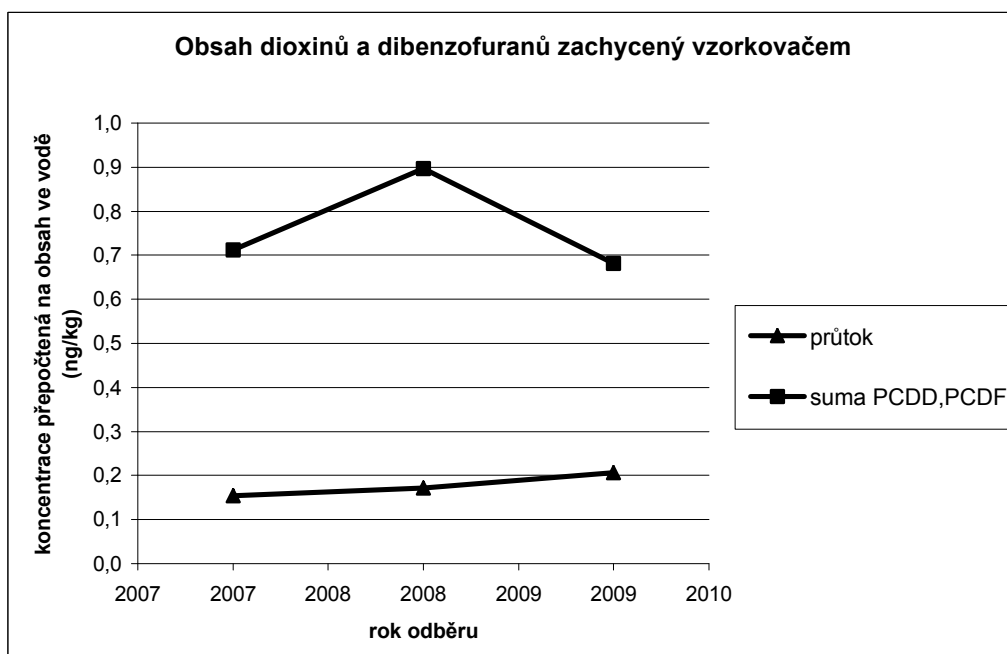
6.3.2. Polychlorované dibenzo-p dioxiny a dibenzofurany

Tyto látky se na profilu Předměřice vyskytovaly v tak nízkých koncentracích, že je byly schopny zachytit pouze rozbory kumulačních materiálů – organismů a pasivních vzorkovačů SPMD. Vzhledem k náročnosti těchto postupů a krátkého období využívání zmíněných metod na měrném profilu je objem dat vhodných ke zpracování velmi malý.

graf 11)



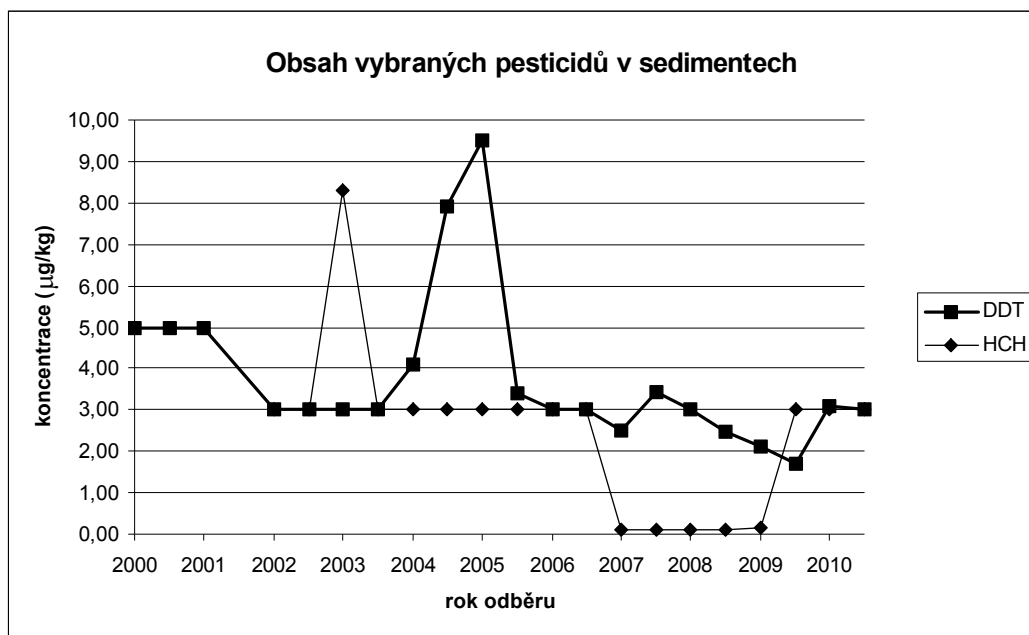
graf 12)



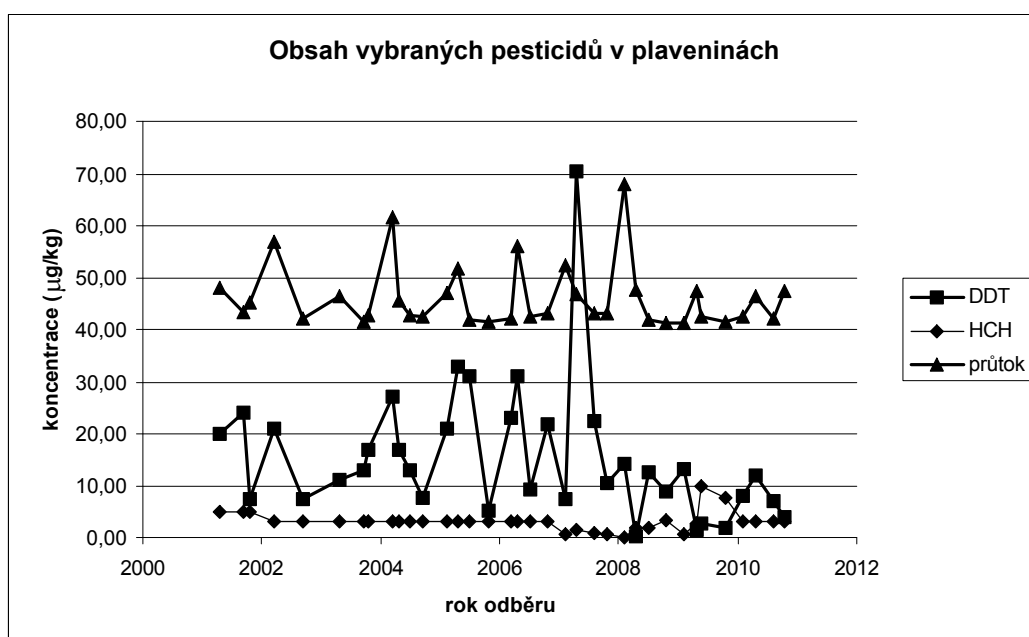
6.3.3. Polychlorované pesticidní látky

Tyto materiály jsou svým chováním podobné ostatním skupinám polyhalogenovaných POP's s výjimkou dioxinů. Z toho důvodu je uvádím jako příklad i za skupiny PCB, PBB a PBDE, jejichž charakteristika vykazovaná grafickými výsledky zpracovaných dat byla prakticky totožná.

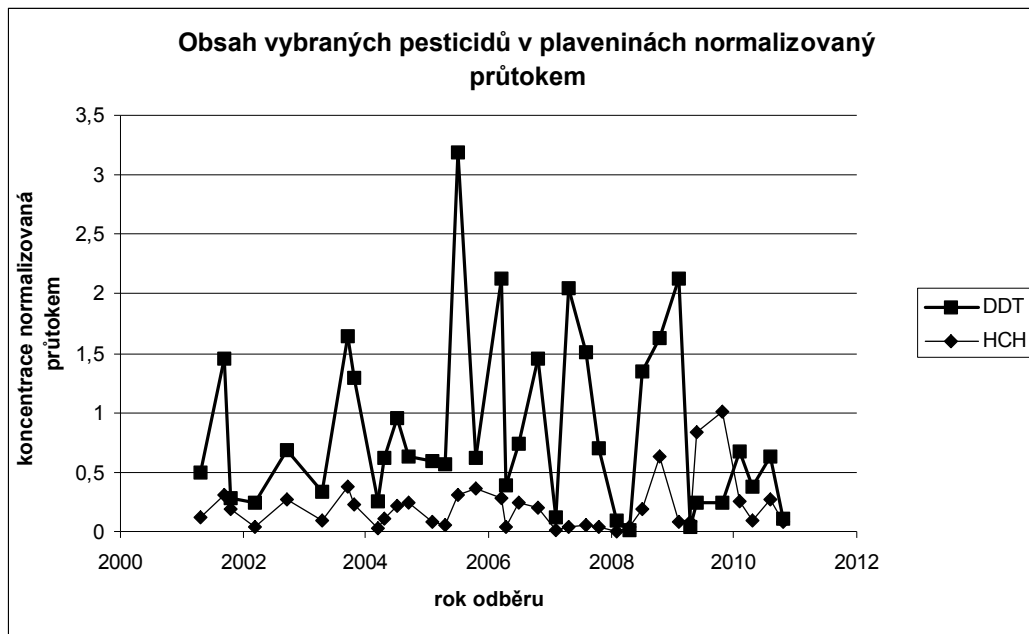
graf 13)



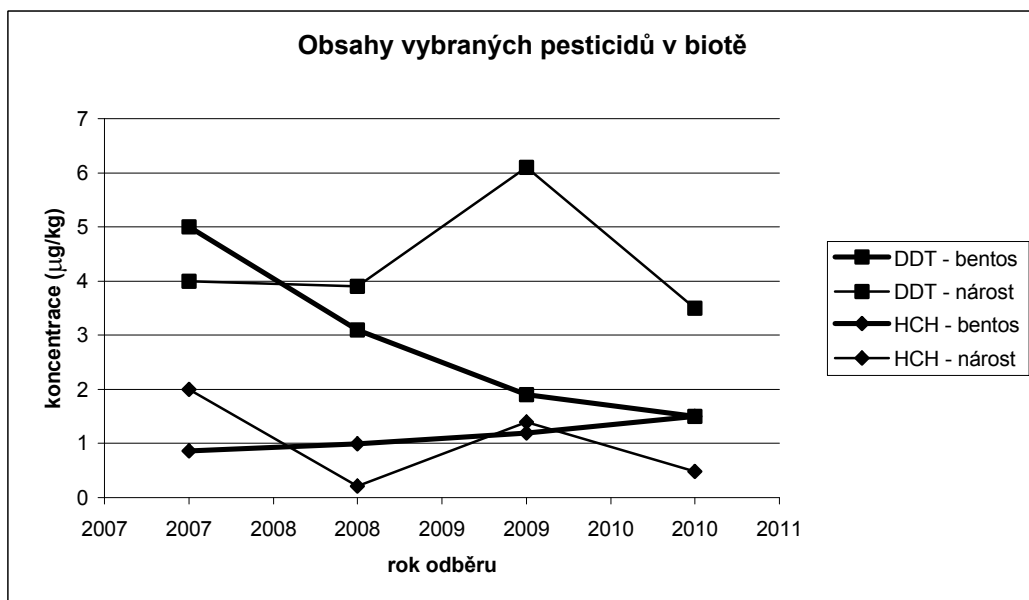
graf 14)



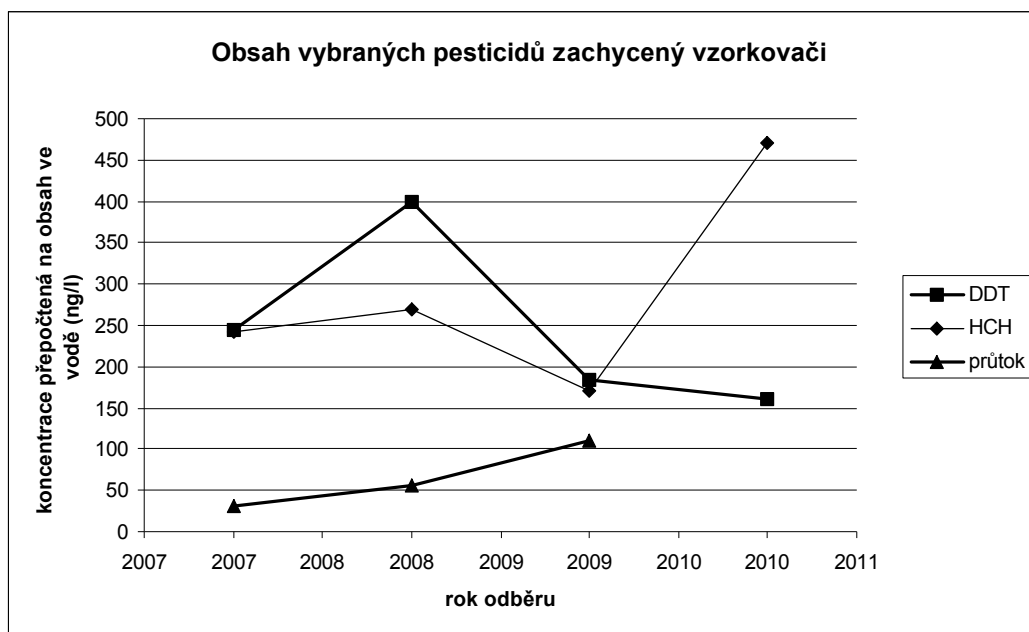
graf 15)



graf 16)



graf 17)



7. Diskuze k výsledkům

7.1. Prostorová distribuce znečištění povodí Jizery látkami POP's

POP's se v prokazatelně v povrchové a freatické vodě vyskytují, ale nikoliv v koncentracích, které by mohly ohrozit zdraví místních obyvatel principem akutní otravy. Otázka chronické otravy závisí na způsobu přijetí POP's do lidského těla. Nejvýznamnějším z těchto způsobů je na dané lokalitě příjem znečištěné vody, nebo potravinových produktů kontaminovaných živočichů napájených touto vodou. Spad částic kontaminovaných POP's po celé rozloze území není podle mého názoru významným zdrojem znečištění vody díky široké rovnoměrné distribuci malých koncentrací po velké ploše. Na grafech 2) – 5) jsou patrné vedle krátkodobých píků vyšších hodnot i místa s dlouhodobě zvýšenou koncentrací vinou přítomnosti zdroje kontaminace v blízkém okolí místa odebrání vzorku. Z tak strohých dat jsem nemohl posoudit, zda se jedná o dlouhodobý únik kontaminace, nebo dopad vyluhování zamořeného tělesa sedimentů, jež se staly v minulosti předmětem znečištění krátkodobého masivního úniku polutantů. Výsledky z grafů každopádně poukazují na přítomnost silnějších bodových lokálních zdrojů kontaminace freatické vody PAH's, zatímco hodnoty celkového pozadí koncentrací jsou pod prahem detekce. Nestejné poměry jednotlivých kontaminantů na lokalitách s pozitivním rozbořem značí zdroje průmyslového znečištění, které často zahrnuje zvýšený podíl pouze jedné, nebo několika složek kontaminace. Ke znečišťování freatické vody dochází především na

lokality 2, 7 a 12 indikující zdroje úniků polutantů do prostoru měst Benátky nad Jizerou, Bakova nad Jizerou a Turnova. Vinou malého objemu dat s naměřenými pozitivními hodnotami koncentrací PAH's se mi nezdařila přesnější lokalizace dalších zdrojů znečištění na území povodí Jizery. Nízké koncentrace pod detekčním prahem v povrchových tocích ale nepoukazují na přítomnost vážnějších zdrojů kontaminace POP's s výjimkou PAH's.

7.2. Vývoj znečištění povodí Jizery v čase

Ke sledování postupného průběhu dlouhodobých změn kontaminace oblasti je třeba mít údaje z dlouhodobě sledovaných profilů povrchové vody, jelikož údaje z vody freatické odráží značnou konzervativnost lokality a nepodléhají rychlejším trendům změn s výjimkou masivního úniku nad prostorem freatické zvodně nebo jejího bezprostředního okolí. Vzhledem k podprahovým koncentracím většiny POP's ve vodě je možné získat objektivní a přesná data pouze z rozboru pevných matric. Jedinou lokalitou s dostatečně dlouhým záznamem rozborů těchto matric byly Předměřice. I zde se nacházely POP's v toku Jizery v podprahových koncentracích běžných rozborů a pouze přepočtené na průměrné roční kontaminace poskytnuté vzorkovači SPMD kvantifikoval jejich hodnoty v řádech jednotek ng/l (grafy 10), 12) a 17)). Pro ukázkou průběhu kontaminace v Předměřicích jsem záměrně zvolil látky s průběžně nejvyššími koncentracemi (DDT, Fluoranthen), nebo natolik toxické, že bylo nezbytné uvést jejich koncentrace i na malých úrovních (dioxiny, benzo(a)pyren). PCB a PBB vykazovaly nižší koncentrace a po srovnání grafických výsledků jsem se rozhodl uvést pouze grafy DDT/HCH, které vykazovaly podobný a o něco výraznější časový průběh změn koncentrace. Jednotlivé koncentrační křivky v případě PAH's i pesticidů (obdobně s PCB a PBB) jeví vysokou závislost na průtoku a po eliminaci jeho vlivu normalizací spolu dobře korelují a kopírují podobný průběh, který ale pravděpodobně značně závisí na sumě TOC, jehož vliv nelze kvůli posunutým datům odběrů spolehlivě eliminovat. Na grafech se pozorovat i vliv chlorace pesticidů a velikost molekul PAH's, neboť se vzrůstem obou parametrů v grafech očividně klesají koncentrace popsanych látek v matricích dotovaných znečištěním POP's říční vodou. Je důležité zdůraznit že pesticidní látky, spolu s PCB a PBB) kopírují podobný trend pravděpodobně společný všem polyhalogenovaným POP's, zatímco průběh trendu uhlovodíků PAH's je odlišný. Je to patrně důsledkem samostatné časové distribuce PAH's vinou kontaminačních eventů u blízkého silného zdroje znečištění – nejspíše Benátek nad Jizerou. Míra závislosti údajů ze všech pevných matric s výjimkou plavenin na průtoku je velmi malá a v krátkodobých poměrech takřka zanedbatelná. Pro větší přehlednost grafů jsem datové řady průtoků v grafech sedimentů (graf 6) a 13)) vypustil.

V časových řadách jsem neodhalil žádný výrazný trend dlouhodobého nárůstu nebo poklesu kontaminací. Předměřice jsou prakticky výchozím profilem celé říční sítě povodí Jizery. Proto na základě údajů z tohoto říčního profilu usuzuji, že stav kontaminace povodí je dlouhodobě vyrovnaný navzdory častým jednorázovým nárůstům koncentrací POP's ilustrovaným grafy 8) a 15) a riziko spojené s požíváním místní vodárensky upravené povrchové i freatické vody zůstává na stále stejné úrovni.

7.3. Zranitelnost zdrojů pitné vody na povodí Jizery

Na základě shromážděných dat soudím, že zdroje podzemní vody na celém povodí Jizery nejsou kontaminací POP's ohroženy, ale jímací objekty na horním toku řeky, zvláště v horské oblasti jsou velmi zranitelné lokální potencionální kontaminací. Vodní zdroje, jenž využívají freatickou zvedeň, mají velmi nízké riziko ztráty jakosti v důsledku znečištění POP's, ale mohou být ohroženy masivním a dlouhodobým zamořením v případě úniku velké kubatury polutantu v bezprostředním okolí zdroje. Nejvíce zranitelné jsou vodárenské objekty využívající vodu povrchovou. Míra znečištění povrchové vody může prudce kolísat v závislosti na jednorázových dotacích POP's přímo do říční sítě buď vlivem průmyslové činnosti či havárie, nebo nevhodným skladováním nebezpečných materiálů. Dalším faktorem významně ovlivňujícím míru kontaminace vodárensky využívaného toku jsou velké sezónní výkyvy průtoku, nebo přímo povodňové události. Z bezpečnostního hlediska je nejvíce ohroženým vodním dílem úpravna pitné vody v Káraném, která odebírá prostřednictvím břehové infiltrace Vodu Jizery systémem mělkých jímacích řadů. Vodárna užívá dvoustupňovou úpravu vody spojené s její jednoduchou filtrací kvartérními sedimenty. Nebezpečí plyne jednak z nižší účinnosti zachytu POP's úpravou vody koagulací (účinnost sorpce u lépe vodou rozpustných POP's nepřekračuje 25%), jednak z široké oblasti a velkého objemu populace postižené potencionálním šířením POP's vodovodní sítí. Z tohoto hlediska jsou zcela nezbytné pravidelné a časté kontroly jakosti říční vody na profilu ještě před jímaným úsekem Jizery i kontrola vody přímo jímané. O ochraně vodního zdroje formou prevence znečištění okolního prostředí jsem se již zmínil ve specializovaných odstavcích.

8. Závěr

Při postupu psaní práce jsem přednostně využíval uvedené zdroje a informace volně dostupné na internetu. Mojí vlastní prací jsou odstavce e) Stručná hydrogeologie v popisné části o oblasti povodí Jizery, dále kapitoly 5. Metodika a průběh postupu, 6. Výsledky, 7. Diskuze k výsledkům a 8. Závěr. Vše ostatní je převzato od jiných autorů.

Cíle mé diplomové práce jsem v důsledku nedostatečného množství použitelných dat dosáhl pouze z malé části. Závěry, k nimž jsem došel v kapitole Diskuze k výsledkům jsou obecně správné, ale nejsou dostatečně podloženy spolehlivými výsledky. Dostupné údaje jsem však podle svých možností zpracoval a využil co nejvíce. Část popisující prostorovou distribuci znečištění jsem nemohl doplnit plánovanými mapovými výstupy a část sledující časové trendy znečištění pevných matic zahrnuje data pouze z jediné lokality Předměřice. Velkou roli hraje menší spolehlivost dat způsobená nízkou citlivostí rozborů při prahu detekce kontaminantu.. Vzhledem k nižším výpovědním hodnotám zobrazených grafických výstupů je nutno brát je spíše jako ilustraci k popsání situace jakosti vody v povodí, než jako hlavní argument pro nezbytné zásahy za účelem ochrany kvality vody. K vytvoření takového argumentu je třeba posílit a zahustit síť bodových lokalit sledujících koncentrace POP's a rozšířit ji i do silněji zranitelných partií povodí např. v okolí Tanvaldu, případně sledovat na některých lokalitách více složek POP's, nebo na nich častěji a pravidelněji odebírat vzorky.

Tato práce ale může sloužit přinejmenším jako metodický návod pro řešení podobného problému pro oblasti s větším množstvím statisticky využitelných dat. Pokud se stane jedním z podnětů ke zdokonalení monitoringu POP's na území povodí Jizery, bude její účel alespoň zčásti splněn.

Seznam použité literatury

- Burešová Helena PCB v prostředí povrchového toku a problematika jejich stanovení, 2009, Praha
Diplomová práce UK
- Kubátová Alena Optimalizace a aplikace analytických metod při studiu biodegradace polychlorovaných bifenyly (PCB), 1997, Praha
Doktorandská disertační práce UK
- Svatošová Renata Expozice české populace chlorovaným pesticidům 2009, Praha
Diplomová práce UK
- Alloway B. J. Chemical principles of environmental pollution
1997, London
- Čížek Zdeněk (Nebezpečné) vlastnosti odpadů: sborník referátů ze semináře 1994, Praha
- Environmental pollution by pesticides
1973, London
- Světová zdravotnická organizace
Polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans
1998, Genéve
- Véber Karel: Polychlorované bifenyly v biosféře, zejména ve vodách a některých vodních organismech, Academia, 1991, Praha
Studie ČSAV
- International Program on Chemical Safety:
Polybrominated biphenyls
Environmental health criteria, 1994, Genéve
- Světová zdravotnická organizace:
Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons
1998, Genéve
- Holoubek Ivan: Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí
1996, Praha
- Šulc Petr: Hodnocení jakosti povrchových vod v povodí Jizery
1991, Praha
Diplomová práce UK

- Jiráková Hana: Jakost podzemní vody v jímacím území Káraný
2007, Praha
Diplomová práce UK
- POPs Persistentní organické polutanty; Nová strategie EU
v oblasti chemických látek
2001, Praha
- Kužílek Vladimír: Polycyklické aromatické uhlovodíky v hydrosféře
1994, Praha
- Šráček Ondřej: Kontaminační hydrogeologie
2002, Praha
Karolinum
- Hynie Ota: Hydrogeologie ČSSR.I, Prosté vody
1961, Praha
ČSAV
- Mísař Zdeněk: Geologie ČSSR. I., Český masív
1983, Praha
Státní pedagogické nakladatelství
- Zdeněk Mísař: Regionální geologie ČSSR: geologie českého masívu. Díl 3,
Oblast západosudetská 1969, Praha
Státní pedagogické nakladatelství
- Chlupáč Ivo: Geologická minulost České republiky
2002, Praha
Academia
- Laws Edward A.: Aquatic pollution a introductory text
1993, New York
- Zdroje volně dostupné na internetu: stránky Hygienické služby
materiály MŽP
databáze toxických látek Sdružení Arnika
stránky ČHMÚ a Povodí Labe
materiály poskytované organizací EPA