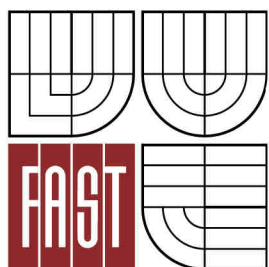


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

VLIV ODTOKU Z ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD NA KRASOVÉ TOKY

EFFECT OF EFFLUENT FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS ON KARST RIVERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. KATEŘINA SCHRIMPELOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JITKA MALÁ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Kateřina Schrimpelová
Název	Vliv odtoku z čistíren odpadních vod na krasové toky
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	13. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015

V Brně dne 13. 3. 2014

.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Pitter P. 1999. Hydrochemie.

Horáková M. 2000. Analytika vody.

Další literatura dle vlastní literární rešerše.

Zásady pro vypracování

Literární rešerše.

Seznámení s lokalitou Moravského krasu a výběr 2 ČOV pro sledování.

Půlroční monitoring - odběr vzorků vod ve 14-denních intervalech: odtok z ČOV, vodní tok nad a pod ČOV, vývěr vodního toku po průtoku krasovou oblastí.

Laboratorní analýza vybraných ukazatelů v odebraných vzorcích.

Vyhodnocení:

- srovnání obou sledovaných ČOV (počet EO, použitá technologie, kvalita odtoku);
- vyhodnocení vlivu odtoku z ČOV na kvalitu vody v recipientu;
- vyhodnocení změn kvality vody ve vodoteči po průtoku krasovou oblastí.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Krasové toky jsou specifické svými hydrografickými poměry. Obvykle přitékají z nekrasového území a téměř okamžitě po přítoku do krasu se propadají do podzemí. Dále protékají jeskynnými dutinami, dokud nedojde k jejich vývěru zpět na povrch. Cílem práce bylo posouzení vlivu odtoku z čistíren odpadních vod na krasové toky. Studie byla provedena ve střední části CHKO Moravský kras a posuzuje vliv dvou ČOV na jeskynný systém Rudické propadání – Býčí skála. V rámci práce byl proveden půlroční monitoring, který spočíval v odběru vzorků vody vždy jednou za čtrnáct dní. Celkově bylo provedeno 13 odběrů z 8 odběrných míst. Byly také provedeny 4 jednorázové odběry vod v jeskynném systému. V místě odběru bylo vždy provedeno měření průtoku, teploty, konduktivity, koncentrace kyslíku a hodnota pH. V odebraných vzorcích vody byl následně stanoven obsah nerozpuštěných látek, CHSK_{Cr} , BSK_5 , N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} a P_{celk} . Z naměřených hodnot byla zjištěna změna parametrů v čase a během průtoku tokem. Hodnoty odtoků z ČOV byly porovnány s emisními standardy pro vypouštění do povrchových vod a parametry vodních toků byly porovnány s normami environmentální kvality. Z hodnot vyplývá značné zlepšení jakosti toku při průtoku jeskynnými prostory. Dle zjištěných výsledků je prokázáno negativní ovlivnění vodních toků sledovanými ČOV. Největším problémem je vyplavování kalu z ČOV Rudice, a jeho následná sedimentace v toku, nebo odtok do Rudického propadání.

KLÍČOVÁ SLOVA

kras, vodní tok, znečištění, čistírna odpadních vod

ABSTRACT

Karst rivers are special type of rivers because of their hydrography conditions. They usually flow from non-karst area and as soon as they reach in to the karst area they disappear underground. There, they flow through cavities until they reach the surface again. The aim of this thesis is to assess the impact of water outflow from wastewater treatment plant on karst rivers. The study was done in the central area of CHKO Moravský kras where the impact of two WWTP on a cave system Rudické propadání – Býčí skála is evaluated. As a part of this study a half-year monitoring was carried out, which consisted of water sampling once every two weeks. In total, 13 water samples were taken from 8 sampling points. Also 4 additional one-time samples were taken from the cave system. Moreover, flow rate, temperature, conductivity, oxygen concentration and pH were measured at the sampling point. Afterwards, the content of undissolved solids, COD_{Cr} , BOD, N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} and total phosphorus were determined in the samples. The change of parameters in time and during the flow in the river was observed from the measured values. The balance of pollutants in particular parts of the river was calculated. The outflow values from waste water treatment plants were compared to the emission limits for surface waters and the parameters of rivers were compared to the environmental quality standards. According to the results, it can be observed that the water quality improves after passing through the cavities. It was proven that the outflows from the observed waste water treatment plants are negatively influencing the water streams. The most serious problem is the wash up of sludge from WWTP Rudice and its consequent sedimentation in the river and/or outflow to the Rudické propadání.

KEYWORDS

karst, river, pollution, waste water treatment plant

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SCHRIMPELOVÁ, Kateřina. *Vliv odtoku z čistíren odpadních vod na krasové toky*. Brno, 2015. 80 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2015

.....

podpis autora

Kateřina Schrimpelová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala doc. Ing. Jitce Malé, Ph.D., za zprostředkování tohoto výzkumu, za odborné vedení při zpracování práce i asistenci při adrenalinových odběrech krasových vod. Dále děkuji Ing. Evě Gruberové, za spolupráci při odběrech vzorků vod a seznámení s oblastí Moravského krasu. Poděkování si zaslouží i další pracovníci Správy CHKO Moravský kras a Vodárenské akciové společnosti, a. s., kteří mi vždy a s ochotou vycházeli vstříc. V neposlední řadě děkuji Zdeňce Letzingerové, za uvedení do správného provádění chemických analýz. Výzkum by se nemohl uskutečnit bez finanční podpory pivovaru Heineken, kterému tímto také děkuji.

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. Vlastnosti a složení přírodních vod.....	11
2.1 Teplota.....	11
2.2 Elektrolytická konduktivita	11
2.3 Hodnota pH.....	12
2.4 Kyslík.....	12
2.5 Druhy látek ve vodách	13
2.6 Sloučeniny fosforu.....	13
2.7 Sloučeniny dusíku.....	14
2.8 Organické látky.....	16
3. KRAS	18
3.1 Hydrologie krasu	19
4. ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ	21
4.1 Charakteristika zájmového území	22
4.1.1 Geologický vývoj území	22
4.1.2 Reliéf oblasti	24
4.1.3 Pedologie	25
4.1.4 Klimatické poměry	25
4.1.5 Potenciální přirozená vegetace a fauna	25
4.1.6 Hydrologie území	26
4.2 Významné lokality v okolí	28
4.3 Historický vývoj území a současné využití krajiny	29
4.4 Zdroje znečištění.....	30
4.4.1 Popis čistíren odpadních vod	32
5. ODBĚR A ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ	35
5.1 Odběrná místa.....	36
5.2 Metodika odběru.....	37
5.3 Chemické analýzy.....	37
6. ZPRACOVÁNÍ DAT.....	38
6.1 Výpočet bilance polutantů	38

7. VÝSLEDKY	39
7.1 Změny sledovaných parametrů v Jedovnickém potoce	39
7.2 Bilance ve vybraných úsecích toků	40
7.3 Parametry odtoků z ČOV	41
7.4 Jakost povrchových vod	42
8. DISKUZE.....	43
8.1 Vliv odtoků z ČOV na kvalitu vody v recipientu	43
8.2 Srovnání ČOV Jedovnice a ČOV Rudice	44
8.3 Změny kvality vody v toku po průtoku jeskynním systémem.....	45
8.4 Návrh opatření pro zlepšení jakosti vody v tocích	46
9. ZÁVĚR	47
10. POUŽITÁ LITERATURA.....	48
SEZNAM TABULEK	50
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	51
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	52
SEZNAM PŘÍLOH.....	54
PŘÍLOHY	55
SUMMARY	80

1. ÚVOD

Krasové území, je území, budované převážně karbonátovými horninami, s výskytem povrchových a podzemních krasových jevů. Tato území mají specifický reliéf i průběh proudění vod, a také poskytují různorodá stanoviště pro rozmanité, mnohdy i ohrožené, druhy živočichů a rostlin. Díky výskytu atraktivních krasových jevů, jako např. jeskyně, propasti a skalní věže, jsou tyto oblasti hojně turisticky navštěvované. Kras je také předmětem výzkumu v oboru různých vědních disciplín. Proto bychom se měli snažit krasové oblasti chránit a zachovat je v podobě blízké přírodnímu stavu. Krasové toky obvykle přitékají z nekrasového území a na okraji krasu dochází k jejich propadání. Dále protékají jeskynními dutinami s nízkou teplotou a absencí světla. Tyto podmínky mohou omezit samočistící schopnost toku. Znečišťování vodních toků v krasu může mít nepříznivý vliv na krasové jevy a na kvalitu ovzduší v jeskynních prostorách. Obsahem práce je půlroční monitoring kvality vody v tocích a odtoků ze dvou ČOV ve vybrané krasové oblasti. Cílem práce bylo srovnání obou sledovaných ČOV, vyhodnocení vlivu odtoku z ČOV na kvalitu vody v recipientu a vyhodnocení změn kvality vody po průtoku krasovou oblastí.

2. VLASTNOSTI A SLOŽENÍ PŘÍRODNÍCH VOD

Přírodní voda vždy obsahuje rozpuštěné a nerozpuštěné anorganické a organické látky a rozpuštěné plyny. K hlavnímu obohacení dochází při průtoku půdou a horninovým prostředím. Zdrojem antropogenního původu mohou být vypouštěné odpadní vody a nečistoty z ovzduší. Složení tekoucích povrchových vod se po délce mění. Změny mohou být krátkodobé nebo dlouhodobé. Vlivem lidské činnosti může dojít až k narušení samočisticí schopnosti toku, tj. schopnost samovolnými biologickými a chemickými procesy eliminovat znečišťující látky.

2.1 Teplota

Teplota je významným ukazatelem jakosti vod, má vliv na chemickou a biochemickou reaktivitu. U povrchových vod má podstatný vliv na schopnost samočištění, ovlivňuje rozpustnost kyslíku a rychlost biochemických pochodů. Při teplotách pod 5 °C probíhají biochemické pochody jen velmi zvolna, při nárůstu teploty se procesy několikanásobně zrychlují (Pitter, 2009). U vysokých teplot může dojít k deficitu kyslíku.

2.2 Elektrolytická konduktivita

Stanovení konduktivity umožňuje bezprostřední odhad koncentrace iontově rozpuštěných látek a celkové mineralizace ve vodách. Konduktivita vyjadřuje koncentraci ionizovatelných anorganických a organických složek. U přírodních vod, s velmi nízkou koncentrací organických látek, je mírou koncentrace anorganických elektrolytů – kationtů a aniontů. Je převrácenou hodnotou odporu roztoku, obsaženého mezi dvěma elektrodami o ploše 1 m², vzdálenými 1 m od sebe. Na koncentraci iontů závisí lineárně, je také ovlivněna jejich nábojovým číslem, pohyblivostí a teplotou. U běžných povrchových a prostých podzemních vod se obvykle konduktivita pohybuje mezi 50 a 500 μS.cm⁻¹ (Pitter, 2009).

2.3 Hodnota pH

Hodnota pH ovlivňuje většinu fyzikálně-chemických, chemických a biochemických procesů ve vodách. Ovlivňuje poměr disociovaných a nedisociovaných forem některých kyselin a zásad, které se pak mohou chovat odlišným způsobem, například mohou mít jinou míru toxicity. Hodnota je v neznečištěných přírodních vodách obvykle určována uhličitanovou rovnováhou, může však být ovlivněna například přítomností volných anorganických nebo organických kyselin. Hodnotu pH také ovlivňují některé procesy, které ve vodě probíhají, jako například hydrolyza iontů kovů, oxidace nebo redukce železa, nitrifikace, denitrifikace, vylučování uhličitanů, respirace, fotosyntetická asimilace a methanogeneze. V čistých přírodních vodách jsou obvyklé hodnoty pH mezi 6,0 a 8,5, ale mohou klesnout i pod 4 (vody z rašeliníšť), nebo naopak stoupnout i k hodnotě 9,5. Optimální pH pro ryby se pohybuje v rozmezí 6,5 až 8,5 (Pitter, 2009).

2.4 Kyslík

Kyslík je plyn atmosférického a biochemického původu, dostává se do vodního sloupce difúzí z atmosféry, nebo při fotosyntetické asimilaci. Ve vodách se vyskytuje v poměrně stabilní dvoumolekulární formě O_2 . Rozpustnost kyslíku ve vodě závisí na teplotě, přičemž s rostoucí teplotou rozpustnost klesá. Také závisí na koncentraci rozpuštěných látek (s růstem koncentrace rozpustnost klesá), ale při celkové mineralizaci do 1 000 $mg.l^{-1}$ není rozdíl podstatný (Pitter, 2009). V povrchových vodách je koncentrace ovlivněna typem vodního tělesa a organickým znečištěním. V tocích není výrazná vertikální zonace, nasycení se obvykle pohybuje mezi 85 a 95 % (Pitter, 2009). Může ale dojít i k přesycení vody kyslíkem, způsobeným turbulencí vody, nebo asimilací zelených organismů. Snižování koncentrace je naopak způsobeno aerobním rozkladem organických látek, disimilací, nitrifikací, nebo oxidací železa aj. Kyslík je ve vodách nezbytný pro zajištění aerobních procesů při samočištění toků a také pro život ryb. Při nepřítomnosti kyslíku probíhají anaerobní procesy, dochází k redukci dusičnanů, a následně i síranů a organických látek, za vzniku sulfanu a metanu. Obvyklá koncentrace kyslíku je zhruba 8–12 $mg.l^{-1}$ v létě a 6–8 $mg.l^{-1}$ (Pitter, 2009).

2.5 Druhy látek ve vodách

Z fyzikálního hlediska lze látky ve vodách rozdělit na pravé roztoky a nerozpuštěné látky. Pravými roztoky jsou iontově rozpuštěné látky (elektrolyty), nebo neiontově rozpuštěné látky (neelektrolyty). Skupinovými stanoveními se určuje sušina veškerých, rozpuštěných a nerozpuštěných látek. Při stanovování se obvykle za rozpuštěné považují látky, které projdou membránovým filtrem o velikosti pórů 0,45 μm . V tom případě však nejsou odstraněny všechny koloidně dispergované látky. Velikost pórů použitého filtru může ovlivnit stanovení obsahu látek vytvářejících disperze hydratovaných oxidů (např. železo, mangan, hliník, fosfor, křemík), ale neovlivní látky vytvářející málo rozpustné koloidně dispergované sloučeniny (např. sodík, draslík, chloridy, dusičnany, hydrogenuhličitany, sírany). (Pitter, 2009)

Nerozpuštěné látky se dělí na usaditelné, neusaditelné a vzplývavé. V přírodních vodách jsou tvořeny hlinitokřemičitany, hydratovanými oxidy kovů, fytoplanktonem, zooplanktonem, organickým detritem aj. Speciální vlastnosti mají koloidní disperze, což jsou částice s velikostí zhruba 5 až 1000 nm. Díky velké adsorpční kapacitě dokáží snižovat koncentrace rozpuštěných látek ve vodách. Koncentrace nerozpuštěných látek ve vodách se u čistých toků pohybuje v jednotkách mg.l^{-1} , při povodních se však může zvýšit na desítky až stovky (Pitter, 2009).

2.6 Sloučeniny fosforu

Fosfor je transportován vodními toky jako rozpuštěný, nebo adsorbovaný na suspendovaných částicích. Běžně se analyticky odlišuje celkový fosfor, orthofosforečnanový fosfor a fosfor vázaný v hydrolyzovaných fosforečnanech. Fosfor může být také uváděn ve formě biologicky dostupného fosforu. Jedná se o rozpuštěné orthofosforečnany a orthofosforečnany volně vázané na nerozpuštěných látkách. Tyto formy dokáže využívat fytoplankton a jsou tedy významné zejména pro vznik eutrofizace. Stanovení biologicky dostupného fosforu u nerozpuštěných látek je však značně obtížné (Pitter, 2009).

Hlavním přírodním zdrojem fosforu ve vodách je zvětrávání minerálů označovaných jako fosfáty. Nejrozšířenějším fosfátem jsou různé formy apatitu $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})]$, které se nejčastěji vyskytují v magmatických horninách bohatých na vápník, ale v malé míře jsou obsaženy i v jiných druzích hornin. Fosforečnanový fosfor se ve vodách přirozeně vyskytuje ve velmi malých koncentracích, v setinách až desetínách mg l^{-1} (Pitter, 2009).

Zvýšené koncentrace ve vodách jsou způsobeny antropogenními vlivy, jako je vypouštění splaškových odpadních vod a aplikace fosfátových hnojiv. Fosfor je obsažen v moči, fekáliích a zbytcích potravy, při jejichž rozkladu je uvolňován. Do odpadních vod se také dostává z čisticích prostředků obsahujících fosforečnany. Specifická produkce fosforu na 1 obyvatele na 1 den se pohybuje mezi 2 až 3 g (Pitter, 2009). Žádné, nebo nedostatečné odstranění fosforu před vypuštěním odpadních vod do recipientu značně zvyšuje jeho množství v tocích. Fosfátová hnojiva mají vysokou rozpustnost, takže se z nich vlivem srážek může fosfor snadno dostávat do toků. Dalším zdrojem fosforu může být rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu, která se usazuje na dně nádrží a toků. Fosfor obvykle vytváří málo rozpustné fosforečnany Ca, Mg, Fe a Al, a také může být sorbován na povrch částic, čímž se jeho koncentrace ve vodách snižuje.

2.7 Sloučeniny dusíku

Dusík se společně s fosforem označují jako nutrienty, patří mezi nejdůležitější mikrobiogenní prvky a jsou nezbytné pro rozvoj mikroorganismů. Ve vodách se stanovuje celkový dusík, který lze rozdělit na dusík organicky a anorganicky vázaný. Formami anorganického dusíku je dusík amoniakální, dusitanový a dusičnanový.

Sloučeniny dusíku ve vodách nejsou příliš stabilní a dochází k jejich biochemickým přeměnám, to je ovlivněno zejména oxidačně-redukčním potenciálem a hodnotou pH. Organicky vázaný dusík je ve vodách obsažen ve formě bílkovin, peptidů, aminokyselin, močoviny, alifatických a aromatických aminů, aminosacharidů aj., včetně látek vznikajících rozkladem biomasy (Pitter, 2009). Mikrobiální činností

je rozkládán, za vzniku amoniakálního dusíku. V aerobním prostředí dochází nitrifikaci, tedy k biochemické oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany, a následně dusičnany, působením nitrifikačních bakterií. Rychlost nitrifikace je závislá na teplotě, při teplotách pod 5 °C je velmi malá. Během nitrifikace dochází ke spotřebě kyslíku, také jsou uvolňovány vodíkové ionty snižující pH. Nejrychleji probíhá při teplotě 20 až 30 °C a pH 7 až 8,5 (Pitter, 2009). V anoxických podmínkách dochází k denitrifikaci, což je redukce dusičnanů a dusitanů na elementární dusík, nebo oxidy dusíku, které unikají do atmosféry.

Jedním z hlavních zdrojů dusíku ve vodách jsou splaškové vody. Specifická produkce dusíku na 1 obyvatele za 1 den je 11–23 g (nejčastěji se uvažuje 12 g). Z toho je 3–16 g organický dusík a 8–10 g anorganický dusík (Pitter, 2009). Dalším zdrojem jsou odpady ze zemědělství a splachy půd hnojených dusíkatými hnojivy. Nezanedbatelným zdrojem amoniakálního dusíku jsou srážkové vody, které mají obvykle koncentrace v jednotkách mg.l^{-1} (Pitter, 2009).

Amoniakální dusík se vyskytuje ve vodách jako amonný kation NH_4^+ nebo amoniak NH_3 (chemickými metodami se stanovují obě formy současně). Amoniak, na rozdíl od amonného kationtu, působí velmi toxicky na ryby. Toxicita amoniakálního dusíku je tedy ovlivněna pH, které má vliv na zastoupení amoniaku. V přírodních povrchových vodách koncentrace amoniakálního dusíku nebývá vyšší než 1 mg.l^{-1} (Pitter, 2009).

Dusitany jsou ve vodách velmi nestálé, jsou meziproduktem transformací sloučenin dusíku. Přeměna amoniakálního dusíku na dusitany je pomalejší než přeměna na dusičnany, proto bývá koncentrace dusitanů ve vodách nízká a nedochází k jejich hromadění. Také působí toxicky na ryby, jejich toxicita však nejspíše závisí na celkovém složení vody, zejména množství chloridů (Pitter, 2009).

Dusičnany jsou konečným produktem rozkladu dusíkatých organických látek v aerobním prostředí. Jejich koncentrace v přírodních vodách neustále narůstá, vlivem vzrůstajícího množství vypouštěných odpadních vod a zemědělské činnosti. Dusičnany nejsou příliš škodlivé, mohou se však v trávicím traktu redukovat na toxické dusitany.

Dusitany v krvi reagují s hemoglobinem za vzniku methemoglobinu, který nemá schopnost přenášet kyslík. Problémy vznikají zejména u kojenců do 3 měsíců věku, při požívání vody s vysokým obsahem dusičnanů (Pitter, 2009).

2.8 Organické látky

Přírodními organickými látkami jsou například produkty životní činnosti organismů a bakterií a výluhy z půdy či substrátu, v přírodních vodách se jedná zejména o huminové látky (Pitter, 2009). Organické látky antropogenního původu pocházejí převážně z odpadních vod a odpadů ze zemědělství, či skládek. Mohou podléhat biologickému rozkladu, nebo mohou být biochemicky rezistentní, ty se pak mohou hromadit ve vodách či v půdě. Organické látky, ani u vyšších koncentrací, nemusí vykazovat žádný významný negativní vliv, ale mohou ovlivňovat kyslíkový režim povrchových vod. V tomto případě není nutné stanovovat jednotlivé druhy organických látek, ale pouze celkovou koncentraci. Veškeré organické látky ve vodách se obvykle stanovují jako chemická spotřeba kyslíku (CHSK), stanovení organického uhlíku (TOC – Total Organic Carbon, DOC – Dissolved Organic Carbon), nebo jako biochemická spotřeba kyslíku (BSK). (Pitter, 2009)

Chemická spotřeba kyslíku udává množství kyslíku potřebného oxidaci organických látek, za použití oxidačního činidla. Jako oxidační činidlo se používá dichroman draselný (CHSK_{Cr}), nebo méně často manganistan draselný (CHSK_{Mn}). Použití dichromanu je účinnější, protože se jedná o silnější oxidační činidlo. Při použití u odpadních, nebo povrchových vod dochází k oxidaci většiny organických látek a velmi dobře vystihuje celkové organické znečištění (Pitter, 2009).

Biochemická spotřeba kyslíku udává hmotnostní koncentraci rozpuštěného kyslíku, který se za daných podmínek spotřebuje biochemickou oxidací organických látek ve vodě. Pro stanovení je používána mezinárodně unifikovaná standardní zředovací metoda, kdy je vzorek po tuto dobu uložen ve tmě při 20 °C. Hodnota spotřebovaného kyslíku závisí na době inkubace, jako jednotná inkubační doba bylo zvoleno 5 dní (BSK₅) (Pitter, 2009).

BSK určuje míru koncentrace biologicky rozložitelných látek, na rozdíl od CHSK, které zahrnuje i látky biologicky nerozložitelné. Poměrné zastoupení biologicky rozložitelných látek lze odhadnout z poměru BSK_5 k CHSK. U odpadních vod se poměr $BSK_5 : CHSK$ pohybuje asi od 0,5 až do 0,75, u biologicky vyčištěných vod 0,1 až 0,2 a u čistých povrchových vod menší než 0,1 (Pitter, 2009). Specifická produkce organického znečištění se orientačně předpokládá asi 60 g BSK_5 a 120 g $CHSK_{Cr}$ na 1 obyvatele za 1 den.

3. KRAS

Kras je souborný termín pro území budovaná karbonátovými nebo jinými rozpustnými horninami s výskytem povrchových a podzemních krasových jevů a se specifickou krasovou hydrografií. Karbonátovými horninami je především vápenec, tvořený minerálem kalcitem CaCO_3 , a dolomit, s minerálem dolomitem $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Podobné tvary a jevy mohou vznikat také v jiných než karbonátových horninách, pokud nevznikají fyzikálně chemickým procesem rozpouštění (krasověním), označuje se toto území jako pseudokras. Dle Panoše (2001) mají přirozené krasové jeskynní systémy průměrnou stálou teplotu 6–10 °C a relativní vlhkost 80–100 %.

Vznik krasových jevů je podmíněn rozpouštěním horniny a následným vysrážením, obvykle za vzniku speleotém. Speleotémy jsou sekundární krasové jevy tvořené vrstvami vysráženého minerálu, nejčastěji kalcitu. Při tomto procesu je srážková voda během průchodu půdou obohacena oxidem uhličitým, dojde k částečné přeměně na kyselinu uhličitou. Ta při průtoku rozpouští karbonátovou horninu. V jeskynních dutinách pak dojde k poklesu parciálního tlaku oxidu uhličitého a opětovnému vysrážení. (Appelo *et al.*, 2005)

Reliéf krasového území je obvykle tvořen plošinami prořezanými hlubokými kaňony – žleby. Nepravidelným rozpouštěním vápence vznikají prohlubně různých tvarů a velikostí označované jak škrapy a škrapová pole. Dalším povrchovým jevem jsou izolované skály – hřebenáče, skalní okna a skalní mosty, které jsou obvykle troskami starých jeskyní (Balák *et al.*, 2006). Dalšími krasovými jevy jsou jeskyně, závrtky, ponory a vývěry krasových vod.

Jeskyně jsou chráněny zákonem č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny. Ten zakazuje ničit, poškozovat a upravovat jeskyně bez povolení. Ochrana se vztahuje i na přírodní jevy na povrchu, které s jeskyněmi souvisejí.

3.1 Hydrologie krasu

Průběh proudění vod v krasovém území je ovlivněn propustností a rozpustností matečných hornin. Pro krasové oblasti je specifický přesun povrchového odvodnění do podzemí. Vodní toky mohou pramenit přímo v krasovém území, ty jsou označovány jako autochtonní, nebo přitékat z nekrasového území – alochtonní toky. Autochtonní vody obvykle se do podzemí vsakují rozptýleně, například ve škrapových polích, nebo soustředěně, v ponorech či závrttech. Alochtonní vody obvykle tečou soustředěně a na povrchu vytváří specifické tvary údolí – slepá nebo poloslepá, na jejichž koncích vtékají do podzemí pomocí ponorů. Jícen široce rozevřeného ponoru, do něhož vtéká vodní tok, může být označen jako propadání. Voda v podzemí proudí krasovými dutinami a rozpouští horninu ve vertikálním i horizontálním směru. Současně také voda horninou prosakuje. Vlivem tlaku a gravitace voda vyvěrá v krasových pramenech – vyvěračkách (Panoš, 2001).

Krasovým povrchovým jevem jsou závrtky, ve kterých dochází k prosakování povrchových vod do podzemí. V nich také začíná prohlubování a snižování reliéfu a většinou jsou propojeny s podzemními dutinami. Vznikají působením rozpouštění vápenců, svahových pohybů, vegetace a řícení (Hromas, 2009).

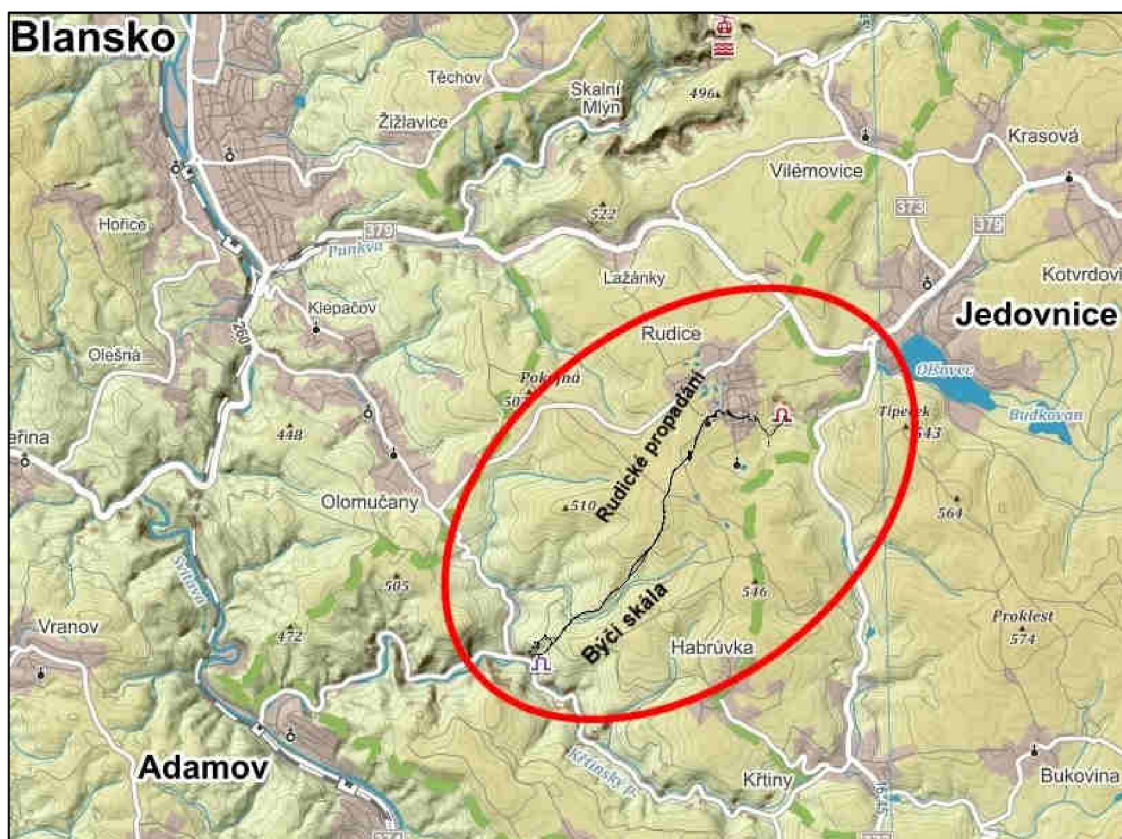
Kras se ve vertikálním směru rozděluje na hydrografické zóny. Každé pásmo je určeno původem a směrem pohybu podzemních vod v průlinách, puklinách a krasových dutinách. Jedná se o svrchní epikras, střední vadózní zónu a spodní freatickou zónu (Fleury *et al.*, 2005). Epikras je zvětralá část karbonátové horniny na povrchu, pod půdním pokryvem. Protože má vyšší pórovitost a propustnost než hornina pod ním, dochází při srážkách ke vzniku tzv. vysutého kolektoru. Vadózní zóna je prostor mezi nejvyšší a nejnižší hladinou podzemní vody. Póry jsou zde vyplněny vodou jen z části. Obvykle je zde proudění vody vertikální, při vysokých vodních stavech se však mění na horizontální (Panoš, 2001). V této zóně probíhá intenzivní krasovění. Freatická zóna se nachází pod hladinou podzemní vody, všechny póry jsou zde vyplněny vodou a proudění je zde v horizontálním směru. Voda je soustředěna v puklinách obušovaných a rozšiřovaných mechanickou erozí vody a unášeného materiálu (Mangin, 1994).

Při průtoku vody jeskynním systémem dochází ke změnám průtočného množství, za nízkých stavů je nadlepšován podzemní vodou a v případě vysokých vodních stavů může být omezován malou průtočností profilů jeskynních dutin. Dochází i ke změnám teploty, kdy je teplota u vývěru ovlivněna jak teplotou vody v ponorech, tak i teplotou vzduchu a horniny v jeskyni. Nakolik je ovlivněna teplota prostředím jeskyně závisí na velikosti průtoku. (Musil *et al.*, 1993)

4. ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Zájmové území leží v Jihomoravském kraji v okrese Blansko, asi 10 km severně od Brna a 6 km východně od Blanska. Celé náleží do CHKO Moravský kras. Mapa území je zobrazena na obrázku 4.1.

Moravský kras je nejlépe vyvinutým krasovým územím v ČR a obsahuje nejrozmanitější krasové jevy (Hromas, 2009). Je rozdělen na severní, střední a jižní část. Zájmové území leží ve střední části krasu odvodňovanou Křtinským potokem a jeho přítokem Jedovnickým potokem. Ústředním krasovým jevem je zde jeskynní systém Rudické propadání – Býčí skála na Jedovnickém potoce, který má délku zhruba 13 km a jedná se o druhý největší jeskynní systém v Moravském krasu (Balák *et al.*, 2006). Studovanou oblastí Jedovnický potok a jeho přítok Rudický potok před a po průtoku jeskynním systémem.



Obr. 4.1: Mapa zájmového území s přibližným průběhem jeskynního systému Rudické propadání – Býčí skála (mapy.cz, Musil *et al.*, 1993), upraveno.

4.1 Charakteristika zájmového území

Moravský kras lze označit jako holokarst (Hromas, 2009), to je úplný kras se značným rozvojem povrchového i podzemního krasování. Dle Panoše (2001) je tak označován kras vázaný na chemicky čisté a dobře rozpustné vápence a reprezentovaný bohatým souborem dokonale vyvinutých krasových jevů. Lze jej také označit jako kras v užším slova smyslu nebo kras pravý. Jeho vznik byl podmíněn vápencovou sedimentací v období devonu a následným krasověním. Geologie území má velký vliv na reliéf terénu i jeho hydrologické poměry. Vyskytují se zde závrtý, slepá a poloslepá údolí jeskynní systémy a další krasové jevy určující tok podzemních vod (Krásný *et al.*, 2011).

4.1.1 Geologický vývoj území

Zájmové území náleží do geologické jednotky Český Masiv, a dále do oblasti moravskoslezské. Převážná část zemí je tvořena vápenci Moravského krasu. Pouze malá část na severovýchodě, v okolí Jedovnice, spadá do kulmu Dražanské vrchoviny. Na obrázku 4.2 je geologická mapa zájmového území.

Ve středním devonu (paleozoikum) došlo ke vzniku mořské sedimentární pánve a následné sedimentaci na podloží magmatických granitoidních hornin brněnského batolitu. Nejstarší vrstvu tvoří tzv. bazální devonská klastika, jedná se zejména o arkózy a slepence. Později proběhla vápencová sedimentace macošského souvrství. Jde o střídání vápenců lažáneckých a vilémovických. Nejnižší polohy lažáneckých vápenců tmavošedé barvy jsou označovány jako josefovské vápence. Jednotlivé typy vápenců se od sebe liší obsahem různých druhů fosilií a jinou strukturou horniny. Nejlépe vyvinutým komplexem vápenců jsou vápence vilémovické, které dosahují největších mocností. Z chemického hlediska jsou velmi čisté a optimální pro tvorbu krasových jevů (Hromas, 2009). Na zájmovém území jsou zastoupeny převážně vilémovické vápence, které v oblasti Býčí skály přechází do lažáneckých vápenců.



LEGENDA:

KENOZOIKUM

KVARTÉR

1	navážka, halda, výsypka, odval
6	nivní sediment
7	smíšený sediment
12	píščito-hlinitý až hlinito-píščitý sediment
16	spraš a sprašová hlína

NEOGÉN, KVARTÉR

49	písek, štěrk
----	--------------

MEZOZOIKUM

KŘÍDA

319	střídání kaolinických jílů a písků rudické vrstvy
-----	---

PALEOZOIKUM

KARBON

478	jilovité břidlice, prachovce, droby
479	droby

DEVON

506	hlíznaté vápence líšeňské souvrství - křtínské vápence
510	vápence macošské souvrství - vilémovické vápence
511	vápence a dolomity macošské souvrství - lažánecké vápence

Obr. 4.2: Geologická mapa zájmového území 1:50 000 s přibližným průběhem jeskynního systému (Česká geologická služba, Musil *et al.*, 1993), upraveno.

Vápencová sedimentace byla ukončena líšeňským souvrstvím (svrchní devon až spodní karbon). To je tvořeno hlíznatými křtinskými vápenci a organodetrityckými hádskofičskými vápenci. V těchto vápencích dochází pouze k velmi slabému krasovění. Křtinské vápence tvoří úzký pruh ve východní části území na styku s kulmem.

Nad nimi byly v období spodního karbonu ukládány sedimenty nekrasové sedimentace drahanského kulmu. Jako kulm jsou označovány klastické horniny splavovány z pevniny do sedimentární pánve (Mísař, 1983). V současné době se na povrchu vyskytují severovýchodně od Moravského krasu a jedná se zejména o jílovité břidlice a droby.

V době spodní křídly (mezozoikum) došlo nejrozsáhlejšímu krasovění, kdy zde bylo tropické humidní klima. V místě Rudické plošiny vznikly hluboké deprese ve tvaru tzv. geologických varhan a trychtýřovitých prohlubní o hloubce až 140 m (Hromas, 2009). Následně byly vyplněny křídovými sedimenty – kaolinickými jíly a písky, nazývanými jako rudické vrstvy. Na jejich bázi se nachází oxidické železné rudy, které se zde dříve těžily (Chlupáč *et al.*, 2011). Další cyklus krasovění začal na hranici paleogénu a neogénu (terciér), došlo k tvorbě krasových údolí a k vývoji jeskynních systémů. Proces byl přerušen zaplavením mořem v období badenu a pokračoval na konci neogénu.

V pleistocénu (kvartér) převládalo mrazové zvětrávání, docházelo k hromadění sedimentů, v zájmovém území se jedná zejména o hlinitopísčité sedimenty a fluvialní sedimenty v okolí toku. Také probíhal vznik půd a tvorba sintrů, které pokračují do dnes.

4.1.2 Reliéf oblasti

Moravský kras má téměř plochý povrch ukloněný k jihu o nadmořské výšce okolo 500 m. V okolí vodních toků dochází k zahloubení a vzniku žlebů (Hromas, 2009). V zájmovém území se jedná o Rudickou plošinu, na severu ohraničenou Lažáneckým žlebem a na jihu Křtinským údolím. Jedovnický potok východně od Rudice vytváří slepé údolí, zakončené Rudickým propadáním. Koncová část údolí, s vápencovým podložím, má strmé svahy a jsou zde skalní stěny. V lokalitě Kolíbky je v blízkosti

skalních stěn i několik skalních věží (hřebenáčů) a škrapová pole a v okolí Rudice je také velký počet závrťů.

4.1.3 Pedologie

Na vápencích Moravského krasu jsou z půd zastoupeny rendziny. Mohou se zde také nacházet fragmenty reliktních krasových půd terra fusca a terra rossa. Pokud je na náhorních plošinách sprašové podloží, mohou se zde vyskytovat i hnědozemě. Na východě území náležící Dražanské vrchovině se nachází zejména hnědozemě na spraších, případně kambizemě. (Culek *et al.*, 1996)

4.1.4 Klimatické poměry

Oblast leží v klimatické oblasti MT10 dle Quitta. Místní klima je značně rozdílné na malých vzdálenostech, dna kaňonů jsou chladná a horní hrany jsou teplé a suché. V Olomučanech (cca 5 km od lokality) byla průměrná roční teplota 7,7 °C a průměrný roční srážkový úhrn 620 mm (Culek *et al.*, 1996).

4.1.5 Potenciální přirozená vegetace a fauna

Dle fytogeografického členění podle Skalického (1988) spadá zájmové území do Českomoravského mezofytika, jedná se o vegetační stupeň suprakolinní (pahorkatiny a vrchoviny 200-550 m n. m.). V západní části se jedná o fytogeografický okres 70. Moravský kras a ve východní části okres 71. Dražanská vrchovina. Přirozenou vegetací na studovaném území je dle Mapy přirozené vegetace (Neuhauslová *et al.*, 2001) ostřicová bučina, která spadá pod květnaté bučiny. Přirozená vegetace je ovlivněna i tvarem reliéfu, podél toků v údolích se zde mohou vyskytovat olšiny a na kamenitých svazích suťové lesy (Culek *et al.*, 1996).

Fauna sice nese znaky hercynské podprovincie, ale se silným ovlivněním karpatským prvkem, zejména v bučinách na vápenci. V Moravském krasu jsou významná stanoviště netopýrů včetně hromadných zimovišť (Culek *et al.*, 1996).

4.1.6 Hydrologie území

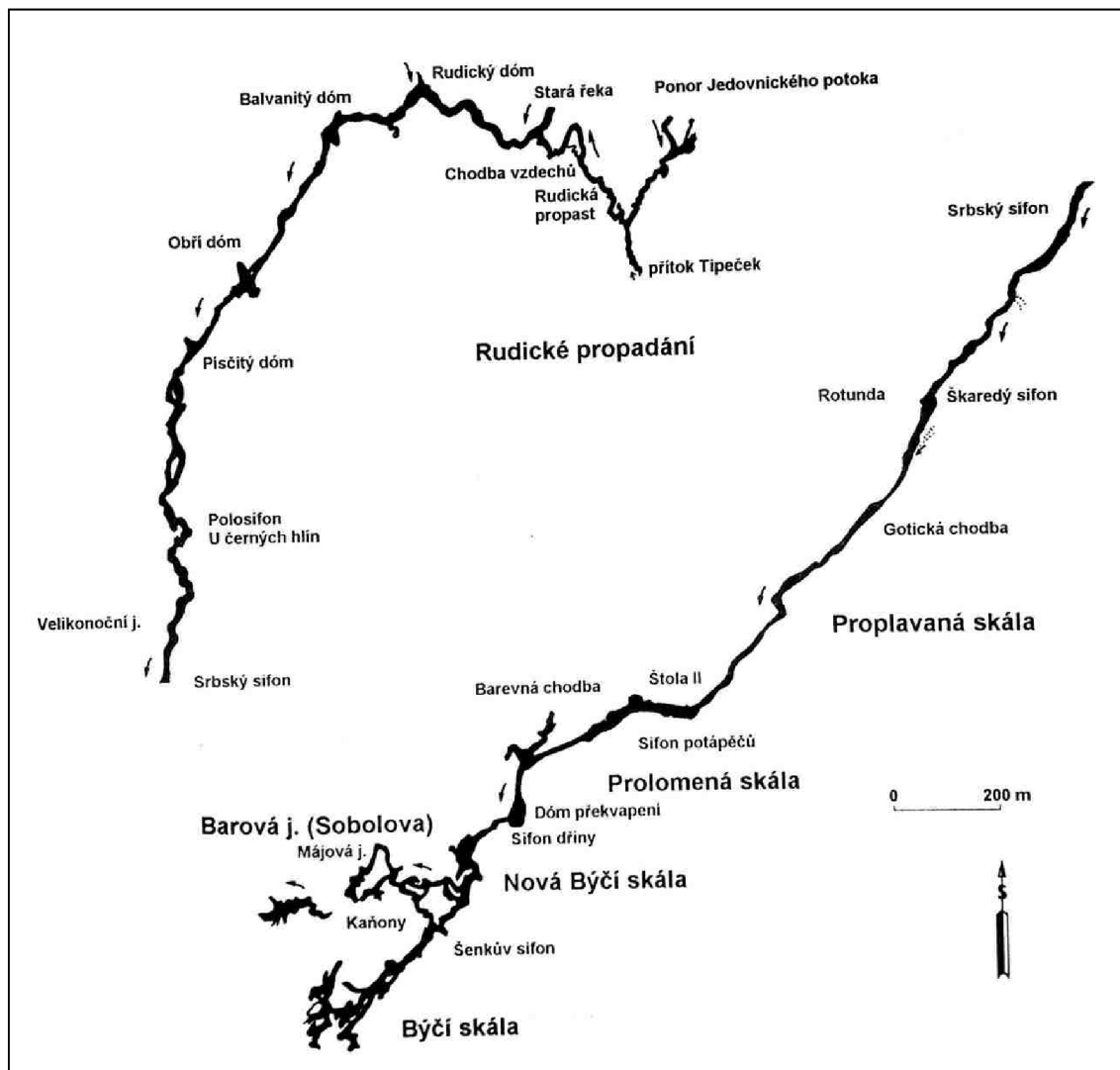
Hlavním tokem v zájmovém území je Jedovnický potok. Pramení 1 km sv. od Senetářova, v nekrasovém území Dražanské vrchoviny, a má po propadání plochu povodí 32 km² (Hromas, 2009). Protéká několika rybníky, z nichž největší jsou Olšovec a Budkovan. Na okraji Moravského krasu se propadá do podzemí a dále teče jeskynním systémem Rudické propadání – Býčí skála. U osady Josefov vyvěrá na povrch a stéká se s Křtinským potokem. Průtok je značně ovlivněn rybníky, v letním období je průtok minimální a probíhá plnění rybníků.

Dalším tokem je zde Rudický potok. Jedná se o antropogenní odtok z místní ČOV. Je to pravobřežní přítok Jedovnického potoka, se kterým se stéká v těsné blízkosti Rudického propadání. V obci Rudice je jednotná kanalizace, proto je odtok z ČOV a současně i průtok v Rudickém potoku značně ovlivněn srážkami. V případě extrémního úhrnu srážek dochází k odlehčení vody z kanalizace do závrtu Pod Kovárnou, ale část přebytečného průtoku obtéká ČOV a vtéká do Rudického potoka.

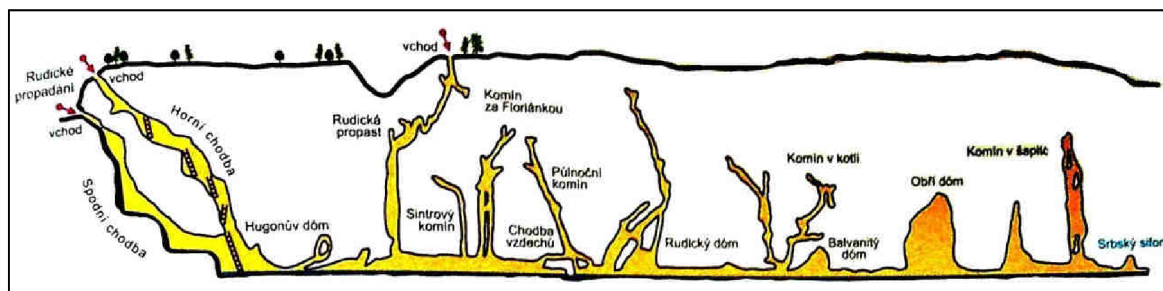
Hydrologicky ale i ekologicky významným územím je Mokřad pod Tipečkem, který dotuje podzemní pramen Tipeček. Ten je zdrojem vody pro obec Rudice.

Jeskynní systém Rudické propadání – Býčí skála, má celkovou délku zhruba 13 km. Je rozdělen na dvě části, na jejich rozhraní je Srbský sifon. Půdorys obou částí jeskynního systému je na obrázku 4.3. Část Rudické propadání má délku zhruba 6 km. Jeskynní dutiny v něm mají, zejména v na počátku, menší průřez a jsou členitější, než je tomu dále. To je způsobeno přechodem do jiného typu vápenců. Současné krasové odvodnění má v jeskynních systémech erozní bázi ve výšce 300–340 m n. m. (Hromas, 2009). Příčný profil Rudického propadání je uveden na obrázku 4.4.

Jeskynní systém Rudické propadání má mnoho podzemních přítoků, nejvýznamnějšími jsou Přítoková chodba a Tipeček. Ke známým povrchovým přítokovým cestám patří na území Rudice závrt Pod Kovárnou a v Žegrově, který zásobuje Žegrovský vodopád v Rudickém dómu. Dalšími je závrt u Klostermannovy studánky, z něj voda vyvěrá v Obřím dómu v Lieberzeitově chodbě, jeskynní systém Krchůvek, jehož vody vyvěrají v úseku Obří dóm – Písčítý dóm, a propáستka ve dně žlábku v Pokojné, která zasahuje do hloubky zhruba 11 m pod terén (Hromas, 2009).



Obr. 4.3: Půdorys jeskynního systému, rozděleného na část Rudické propadání a část Býčí skála (Musil *et al.*, 1993), upraveno.



Obr. 4.4: Podélný profil Rudickým propadáním (Hromas, 2009).

4.2 Významné lokality v okolí

Oblast obsahuje mnoho významných přírodních prvků, mnoho z nich je vázáno na krasové území, jako je okolí Rudického propadání a Kolíbek. Významným prvkem v nekrasovém území je Mokřad pod Tipečkem.

NPP Rudické propadání se nachází na okraji Rudické plošiny. Jedná se o hluboce zařízlé slepé údolí s prudkými kamenitými svahy a zakončené 40 m vysokou skalní stěnou, kde dochází k propadu Jedovnického potoka do podzemí. Vápencové strmé údolí umožnilo vnik suťových lesů, s velkým výskytem mechorostů. Rudické propadání je jeskynním systémem nepřístupným veřejnosti. Je významným zimovištěm netopýrů, vyskytují se zde i kriticky ohrožené druhy jako je netopýr brvitý, netopýr velký, netopýr černý a vrápenec malý.

Na oblast Rudického propadání navazuje oblast Kolíbký. Jedná se o skalní amfiteátr s krasovými tvary pokročilého vývoje. Pravděpodobně vznikl rozpadem jeskyně velkých rozměrů, ze které zůstaly pouze stěny, tzv. jeskyně bez stropu. Byly zde nalezeny archeologické důkazy osídlení již z období paleolitu. Okolí Kolíbek je význačné malým zásahem do přirozeného vývoje krajiny. Nachází se zde přírodě blízké louky a suť porostlé křovinami. Je zde praktikováno spásání travního porostu ovce.

V jižní části území, v oblasti drahanského kulmu, leží PR Mokřad pod Tipečkem. Jedná se o podmáčenou louku s charakteristickými přírodními společenstvy. Tento mokřad pravděpodobně dotuje vodou podzemní zdroj Tipeček. V okolí mokřadu ležela dnes již zaniklá středověká osada Tipeček.

NPR Býčí skála se rozprostírá v části Josefovského a Křtinského údolí. Ve východní části rezervace je vývěr Jedovnického potoka, vstup do Býčí skály a několik dalších jeskyní (Jáchymka, Kostelík). Nachází se zde také mnoho skalních útvarů. Ve střední části rezervace pak leží pozůstatek hutnického komplexu Stará huť u Adamova.

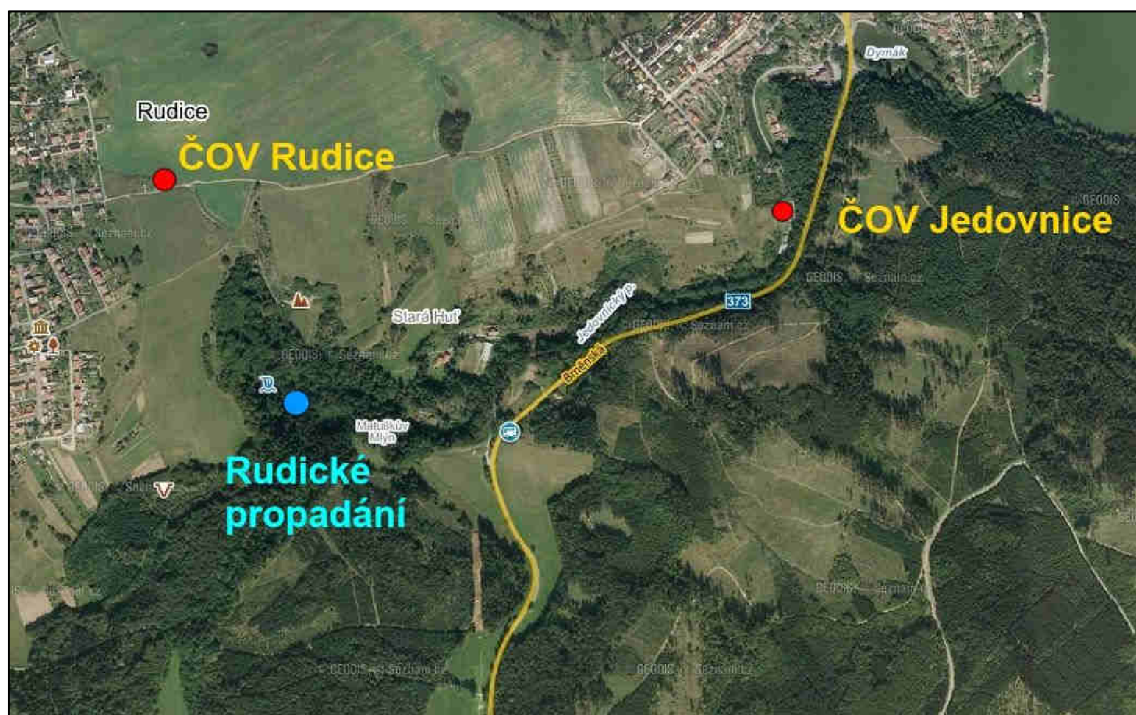
4.3 Historický vývoj území a současné využití krajiny

Významnější vliv člověka na krajinu Moravského krasu je znám až z období neolitu s nástupem zemědělství. Krasové plošiny však v dřívějších dobách nebyly využívány zemědělci, z důvodu méně úrodné a mělké půdy a nedostatku povrchové vody. Hlavní rozvoj sídel v této oblasti byl až ve 11.–14. století n. l. Sídla se obvykle soustřeďují v blízkosti ponorů nekrasových vod, kde jsou úrodné půdy údolních niv. Na krasových plošinách vznikala sídla zejména v souvislosti s těžbou nerostných surovin. Údolní nivy byly intenzivně zemědělsky využívány od 8.–9. století n. l. Zúrodnování krasových plošin souvisí se vznikem stálých osad na přelomu 1. a 2. tisíciletí. Další zintenzivnění zemědělské výroby proběhlo v souvislosti s přílivem obyvatelstva a zakládáním nových vesnic na přelomu 17. a 18. století. Ovlivněním krasu, souvisejícím se zemědělskou činností, bylo zavážení závrtů a jejich zaorávání, které probíhalo ještě v 70. letech 20. století. S intenzifikací zemědělství také souvisel zvýšený přísun průmyslových hnojiv. V letech 1987–1989 bylo provedeno zatravnění ploch s intenzivními průsaky, jedná se o dříve rozorané závrtky a zóny nad jeskynními systémy. Dále v roce 2003 proběhlo další zatravnění a část orné půdy byla vyloučena z pěstování plodin náročných na hnojení a pesticidy (kukuřice, okopaniny) a byl snížen podíl obilovin. Od roku 2004 jsou realizována agroenvironmentální opatření, jako pěstování meziplodin, osevní postup v ochranných zónách jeskynní a ošetřování travních porostů, které by měly mít pozitivní vliv na krasové jevy i zemědělskou krajinu. (Hromas, 2009)

Oblast byla značně ovlivněna těžbou železné rudy v okolí obce Rudce. Obec byla založena roku 1247, ale původní osídlení hutníků sahá až do 9. století. Přelomem je rok 1746, kdy se majiteli stal rod Salmů s výhradním právem výroby litiny na území Rakouska-Uherska. Tím došlo k velkému rozmachu hutí, včetně Hugovy hutě a kuplovný u Rudického propadání. Železná ruda se těžila nejprve podpovrchovým dolováním a později povrchovými lomy z rudických vrstev s obsahem limonitu. Hloubka šachet při podpovrchovém dolování se pohybovala v rozmezí 20-140 m (Hromas, 2009). Oblast byla v době těžby ovlivněna značným odlesněním. Dřevo bylo těženo a využíváno pro vytápění při zpracování rudy. Těžba dosáhla vrcholu v roce 1860 a byla ukončena v roce 1896, současně s provozem hutí v Blansku. Od té doby probíhala pouze povrchová těžba keramických a slévárenských jílu a písků. Kromě velkých důlních děl se zachovalo i mnoho drobných dobývek a odvalů. (Obec Rudice)

4.4 Zdroje znečištění

Sledovanými zdroji znečištění Jedovnického potoka byly ČOV Jedovnice, umístěná na jižním okraji obce Jedovnice a ČOV Rudice, která leží ve východní části obce Rudice. Čistírny odpadních vod jsou vyznačeny na obrázku 4.5.

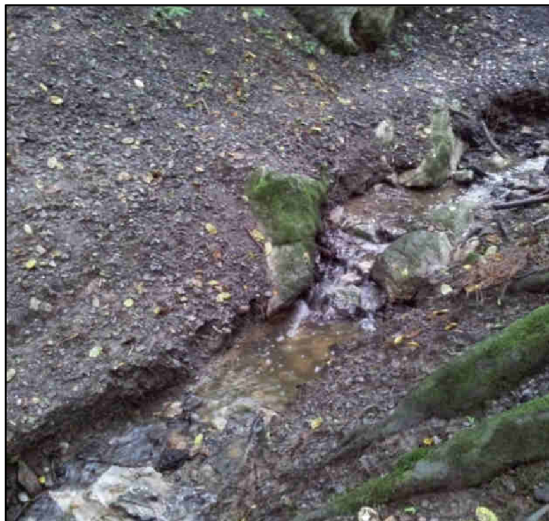


Obr. 4.5: Ortofotomapa okolí Rudického propadání s vyznačením čistíren odpadních vod (mapy.cz), upraveno.

Zdrojem znečištění by také mohly být smyvy z polí, obsahující živiny v rozpuštěné formě, nebo adsorbované na nerozpuštěných částicích. Protože se v okolí sledovaného úseku Jedovnického a Rudického potoka nachází pouze kulturní a přírodě blízké louky a lesní biotopy, je ovlivnění smyvem zanedbatelné. Hnojiva používaná v zemědělství však mohou být vyplavována z půdy a pronikat až do jeskynních systémů. Cestami pro odtok vody mohou být závrtky, které bývají v těsné blízkosti polí. Odtok jimi je rychlý a nedochází tedy k odbourání hnojiv v horninovém prostředí. Dle Kovaříka (2005) může být obsah dusičnanů pod zemědělskými pozemky až desetkrát vyšší (až 100 mg/l) než pod zalesněným povrchem, množství chloridů může být až trojnásobné.

Pro ČOV Rudice bylo z důvodu absence blízkého toku využito dráhy soustředěného odtoku, čímž byl antropogenně vytvořen Rudický potok. Protože v místě průtoku

potoka, nedaleko propadání, byla v minulosti ukládána struska ze zpracování železné rudy, dochází při větších srážkových událostech k jejímu vymílání a splavování do Rudického propadání (obrázek 4.6). Tomu nasvědčují i náplavy struskového materiálu v jeskyních (obrázek 4.7). Kvůli zmírnění dalšího odplavování strusky byly na Rudickém potoce vybudovány dvě přehrážky pro zmírnění sklonu toku.



Obr. 4.6: Vymílání strusky v údolí nad Rudickým propadáním.



Obr. 4.7: Náplavy strusky v Rudickém propadání.

Dalším negativním jevem je usazování kalu, vyplavovaný zejména z ČOV Rudice při extrémních srážkových událostech. Přehrážky na Rudickém potoce tento kal zachycují (obrázek 4.8) a dochází v nich k rozkladným procesům. Kal, který není zachycen přehrážkami, pokračuje dále do propadání. V jeskynním systému, zejména před sifony, vzniká pěna (obrázek 4.9) a zápach.



Obr. 4.8: Kal z ČOV nahromaděný za přehrážkou na Rudickém potoce.



Obr. 4.9: Pěna před sifonem v Rudickém propadání.

4.4.1 Popis čistíren odpadních vod

ČOV Jedovnice čistí odpadní vody obce přiváděné jednotnou gravitační kanalizací. Fekálními vozy je sem také dovážena odpadní voda z rekreační oblasti u rybníka Olšovce (včetně autokempu) a dalších okrajových částí obce, které nejsou napojeny na kanalizaci. ČOV byla vybudována v roce 1998, jedná se tedy o poměrně moderní čistírnu. Nádrže jsou umístěny pod zemským povrchem, aby nebyl narušen vzhled okolí. Součástí je mechanické předčištění, biologická část a terciární dočištění. Pro případ vysokých průtoků, je před ČOV zařazena akumulární nádrž.

Mechanické předčištění je složeno z hrubých automaticky stíraných česlí a vertikálního lapáku písku. Je zde zařazen obtok s ručně stíranými česlemi. Následně voda natéká do nádrže s dávkováním síranu železitého pro odstraňování fosforu. Voda je dále čerpána a rovnoměrně rozdělena do dvou aktivačních nádrží. Jedná se o nízkozatěžovanou aktivaci s aerobní stabilizací kalu, s odstraněním dusíku přerušovaným nitrifikačně-denitrifikačním procesem a se simultánním srážením fosforu (Kuběnová, 1999). Nádrže jsou přerušovaně provzdušňovány, nebo míchány ponornými vrtulovými míchadly. Obsah kyslíku je kontrolován kyslíkovou sondou. Dále je zařazena vertikální dosazovací nádrž. Odtud je čerpán vratný kal zpět do aktivační nádrže. Přebytečný kal je dále zpracován v kalovém hospodářství. Terciální stupeň tvoří mikrosítový bubnový filtr, pro zachycení neusazeného vyvločkovatého kalu. Průtok na odtoku je měřen Venturiho žlabem s ultrazvukovou sondou.

ČOV Rudice byla vybudována v roce 1981 a jedná se o mechanicko-biologickou ČOV. V obci je jednotná kanalizace. Před ČOV je umístěna odlehčovací komora s lapákem splavenin, ze které přebytečná voda odtéká do závrtu Pod Kovárnou. Ten sloužil pro odtok odpadních vod před vybudováním ČOV.

Mechanické předčištění probíhá v betonovém žlabu, osazeném česlemi, který také slouží jako lapák písku a plovoucích nečistot. Stírání česlí a odstraňování splavenin je prováděno ručně. Při zahlcení voda obtéká po povrchu okolo ČOV. Biologická část je tvořena zařízením Kovoblok (obrázek 4.10), to je celokovová válcová nádrž, rozdělená na aktivační, dosazovací a kalový prostor (Kuběnová, 1999).

Aktivace je navržena jako prodloužená aktivace s úplnou stabilizací kalu a s automatickým odkalováním. V aktivačním prostoru je voda provzdušňována a promíchávána povrchovým aerátorem. Kal se dostává štěrbinou u dna do dosazovacího prostoru. Vyčištěná voda odtéká přes zubatou přelivnou hranu v úrovni hladiny. Plovoucí látky z hladiny jsou z vody odstraňovány hladinovými přepady.



Obr. 4.10: ČOV Rudice - zařízení Kovoblok.

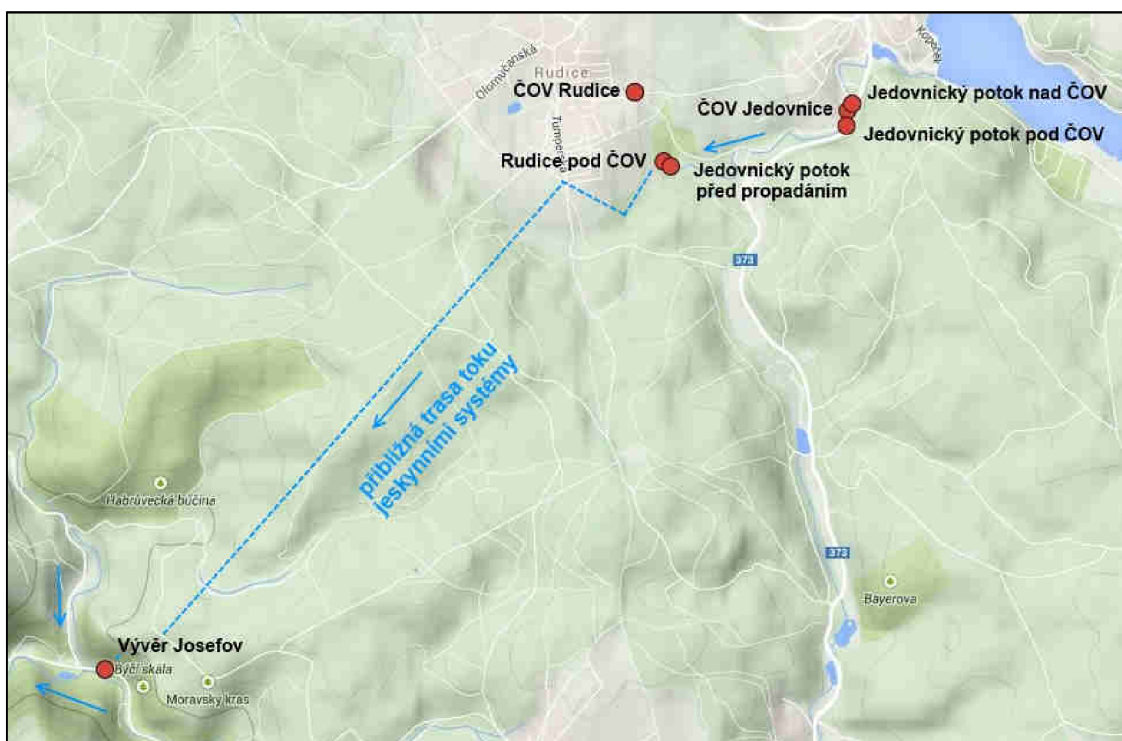
Limity vypuštěných vod jsou stanoveny v nařízení vlády č. 23/2011 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb. Určuje emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění městských odpadních vod pro vypouštění do vod povrchových. V tabulce 4.1 jsou uvedeny emisní standardy pro ČOV Jedovnice a ČOV Rudice, vybrané z přílohy č. 1 nařízení vlády. Jsou zde stanoveny přípustné, průměrné a maximální koncentrace podle počtu ekvivalentních obyvatel (EO). Přípustné koncentrace mohou být překročeny pouze v povolené míře. Maximální koncentrace překročeny být nesmí.

Tab. 4.1: Emisní standardy koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod dle nařízení vlády č. 23/2011 Sb.

Ukazatel [mg.l ⁻¹]	ČOV Jedovnice kategorie 2001-10000 EO			ČOV Rudice kategorie 500-2000 EO		
	Přípustné hodnoty	Průměrné hodnoty	Maximální hodnoty	Přípustné hodnoty	Průměrné hodnoty	Maximální hodnoty
NL	30	-	60	40	-	70
CHSK _{Cr}	120	-	170	125	-	180
BSK ₅	25	-	50	30	-	60
N-NH ₄ ⁺	-	15	30	-	20	40
P _{celk}	-	3	8	-	-	-

5. ODBĚR A ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ

V pravidelném intervalu 2 týdnů v období března až srpna 2014 byly odebírány vzorky vody z povrchových toků a odtoků ČOV. Celkem bylo provedeno 13 odběrů, pokaždé ze 7 odběrných míst (8 vzorků). Dále byl proveden jednorázový odběr jeskynních v systémech Býčí skála (2 vzorky) a Rudické propadání (2 vzorky). Rozmístění pravidelných odběrných míst je zobrazeno na obrázku 5.1.



Obr. 5.1: Rozmístění odběrných míst (Google), upraveno.

5.1 Odběrná místa

První skupina odběrných míst zachycuje vliv ČOV Jedovnice na Jedovnický potok. V odběrném místě **1 – Jedovnice ČOV – odtok** je vzorek odebírán na odtoku z ČOV, před Venturiho žlabem. Jedná se o oficiální místo pro odběr vzorků z odtoku. Odběrné místo **2 – Jedovnický potok nad ČOV** leží zhruba 80 m proti proudu od odtoku z ČOV. Odběrné místo **3 – Jedovnický potok pod ČOV** je asi 50 m po proudu od odtoku.

Do další skupiny je možné zařadit místa týkající se Rudického potoka. Odběrné místo **4 – Rudice ČOV – 24h slévaný vzorek** a Odběrné místo **5 – Rudice ČOV – bodový odběr** jsou oba odebírány z na odtoku, ze šachty označené jako odběrné místo. Slévaný vzorek byl odebírán pomocí automatického vzorkovače. Přesto, že se jedná o jedno odběrné místo, je pro přehlednost každý druh odběru označen jiným číslem. Odběrné místo **6 – Rudický potok pod ČOV** leží asi 0,5 km po proudu od ČOV Rudice, zhruba 20 m nad soutokem s Jedovnickým potokem. Vzorek byl odebírán z výtoku z první přehrážky.

Poslední dvě pravidelná odběrná místa zachycují kvalitu vody v Jedovnickém potoce před a po průtoku jeskynním systémem. Odběrné místo **7 – Jedovnický potok před propadáním** je zhruba 50 m nad propadáním. Těsně nad propadáním také dochází k soutoku Jedovnického a Rudického potoka. Odběrné místo **8 – Vývěr Josefov** je na výtoku Jedovnického potoka z podzemí. Vzorky vody byly odebírány z hlavního vývěru, průtok však byl měřen tak, aby zachytil všechny vývěry.

Byly provedeny také jednorázové odběry přímo z jeskyní. Z Býčí skály vzorek **B1** odebraný před kaňony – jedná se o nejbližší volně přístupné místo před vývěrem. A vzorek **B2** na konci jeskynního systému Býčí skála u Srbského sifonu. Z Rudického propadání byl odebrán vzorek **R1** v Hugonově dómu, na začátku jeskyní, po průtoku kaskádami spodní chodby. A vzorek **R2** před sifonem u chodby vzdechů.

5.2 Metodika odběru

Z každého místa bylo odebráno 1,5 l vzorku vody do PET vzorkovnic, které byly následně uloženy do termoboxů. Současně bylo prováděno měření vybraných parametrů přímo v toku (teplota, konduktivita, koncentrace O_2 a pH). Pracovníci Správy CHKO Moravský kras také zajišťovali měření průtoku v několika místech odběru, probíhající ve stejnou dobu jako měření. V případě odběru vzorku z odtoku ČOV byl odečten průtok přímo z průtokoměru čistírny.

Po převozu do laboratoře bylo odděleno 0,5 l nekonzervovaného vzorku (pro stanovení NL, $CHSK_{Cr}$ a BSK_5). Zbývající objem byl konzervován 2 ml nasyceného roztoku $HgCl_2$ a uchován v lednici pro další rozbor.

5.3 Chemické analýzy

In-situ jsem provedla měření přenosným multimetrem s příslušnými sondami. Byla měřena teplota, konduktivita, koncentrace kyslíku a pH. Současně probíhalo měření průtoku.

Z odebraných vzorků byl stanoven obsah nerozpuštěných látek (NL), hodnoty chemické spotřeby kyslíku dichromanem draselným ($CHSK_{Cr}$) a biochemické spotřeby kyslíku po 5 dnech (BSK_5) a koncentrace forem dusíku a fosforu. Dusík byl určován jako amoniakální dusík ($N-NH_4^+$), dusitanový dusík ($N-NO_2^-$) a dusičnanový dusík ($N-NO_3^-$). Fosfor ve formě fosforečnanů ($P-PO_4^{3-}$) a celkového fosforu (P_{celk}).

Rozbory byly provedeny podle standardních operačních postupů Ústavu chemie FAST VUT v Brně.

6. ZPRACOVÁNÍ DAT

Dle hodnot získaných chemickými rozbory byla vypočtena koncentrace N_{org} , dle rovnice (6.1) a koncentrace N_{celk} , dle rovnice (6.2).

$$N_{org} = N_{Kj} - N-NH_4^+ \quad (6.1)$$

$$N_{celk} = N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^- + N_{org} \quad (6.2)$$

6.1 Výpočet bilance polutantů

Pro výpočet bilance při průtoku jeskynním systémem (příloha 3) byl proveden součet hmotnostních toků Rudického a Jedovnického potoka (odběrná místa 6 a 7). Ten byl následně odečten od skutečně naměřeného hmotnostního toku na vývěru (odběrné místo 8).

Pro výpočet bilance v Jedovnickém potoce před propadáním (příloha 4) byly sečteny hmotnostní koncentrace na odtoku z ČOV Jedovnice a v Jedovnickém potoce nad ČOV (odběrná místa 1 a 2). Následně byla odečtena hodnota skutečného hmotnostního toku naměřeného na Jedovnickém potoce před propadáním, před soutokem s Rudickým potokem (odběrné místo 7).

Poslední bilance je při průtoku Rudickým potokem (příloha 5). Protože není uvažováno s jiným zdrojem vody v Rudickém potoce, než je odtok z čistírny, je bilance vypočtena pouze jako rozdíl hmotnostního toku na odtoku z ČOV Rudice (odběrné místo 4 – 24h slévaný vzorek) a pod ČOV u první přehrážky, před soutokem s Jedovnickým potokem (odběrné místo 6).

Hmotnostní tok [$\text{kg} \cdot \text{den}^{-1}$] je vypočten jako násobek koncentrace a průtoku. Pokud dochází k nárůstu polutantu, je znaménko bilance kladné, u snižování záporné.

7. VÝSLEDKY

Naměřené hodnoty a výsledky chemických analýz jsou uvedeny v příloze 1. Z naměřených hodnot je patrná rostoucí teplota vody v čase, která dosahuje maximální hodnoty 30. 7. 2014 (11. odběr) a poté klesá. Teplota se pohybuje v rozmezí 3,0 až 20,6 °C. V odběrném místě 8 (vývěr Josefov) je patrný menší rozptyl teplot (8,6 až 13,5 °C), než je tomu u ostatních lokalit.

7.1 Změny sledovaných parametrů v Jedovnickém potoce

Změny parametrů Jedovnického potoka byly porovnávány v odběrných místech 2 – Jedovnický potok nad ČOV, 3 – Jedovnický potok pod ČOV, 7 – Jedovnický potok před propadáním a 8 – vývěr Josefov. Naměřené hodnoty ve vybraných místech jsou uvedeny v příloze 2, kde je patrný i průběh změn parametrů po toku.

Průběh teplot vody je v jarním a letním období rozdílný. V jarním období dochází v jeskynním systému ke zvyšování teploty vody a v letním období ke snižování. Obsah kyslíku vykazuje opačnou tendenci než průběh teploty vody. Trend změn hodnot CHSK_{Cr} a BSK_5 je mění podobný jako u teploty, a tedy opačný než u kyslíku.

N-NH_4^+ ve většině případů narůstá za odtokem z ČOV Jedovnice a dále po toku se jeho koncentrace snižuje. N-NO_2^- se ve většině případů pohybuje v malém rozmezí hodnot, za odtokem z ČOV v několika případech dochází k jeho zvýšení, jinak je ale tendence spíše klesající. Koncentrace N-NO_3^- je v několika případech zvyšována přítokem z ČOV, v úseku od ČOV k propadání se výsledky různí, v jeskynním systému dochází ve většině případů k nárůstu.

Formy fosforu vykazují ve většině případů nárůst koncentrace za odtokem z ČOV Jedovnice a další nárůst před propadáním, v jeskynním systému dochází ke snížení.

7.2 Bilance ve vybraných úsecích toků

Dle bilance polutantů v jeskynním systému Rudické propadání – Býčí skála (příloha 3) zde dochází k výraznému nárůstu průtoku (průměrně o 20 l.s^{-1}). Bilance NL vychází při každém měření odlišně. U hodnot CHSK_{Cr} a BSK_5 dochází převážně ke zvyšování. N-NH_4^+ vykazuje ve většině případů snižování (průměrně o $0,5 \text{ kg.den}^{-1}$), ke znatelnému nárůstu dochází pouze u odběrů 9 a 10. N-NO_2^- vykazuje přibližně stejné hodnoty. N-NO_3^- ve většině případů narůstá (průměrně o 11 kg.den^{-1}), kromě odběrů 5 a 8, kde dochází k výraznému poklesu až o 39 kg.den^{-1} . N_{org} také prokazuje nárůst (průměrně o 14 kg.den^{-1}), kromě odběrů 3, 11 a 13. Pouze u odběru 13 dochází k velkému poklesu, o 26 kg.den^{-1} . Formy fosforu vychází značně rozkolísaně, vyšší hodnoty se vyskytují u odběrů 5 a 8, kde dochází k úbytku obou forem o více než 4 kg.den^{-1} , průměrně však dochází téměř k vyrovnání.

Změna parametrů při průtoku Jedovnickým potokem v úseku od ČOV Jedovnice po soutok s Rudickým potokem je uvedena v příloze 4. Převažuje zde snižování průtoku průměrně o 5 l.s^{-1} . Dochází zde ke snižování obsahu NL (průměrně o 12 kg.den^{-1}), kromě odběru 2. Hodnoty CHSK_{Cr} a BSK_5 se ve většině případů zvyšují. Všechny formy dusíku vykazují snižování. Extrémními hodnotami je snížení N-NH_4^+ o zhruba 15 kg.den^{-1} u odběru 2, N-NO_2^- o $1,6 \text{ kg.den}^{-1}$ u odběru 12 a N_{org} o 63 kg.den^{-1} u odběru 13. U forem fosforu převažuje snižování průměrně o $1,3 \text{ kg.den}^{-1}$ P-PO_4^{3-} a $1,0 \text{ kg.den}^{-1}$ P_{celk} .

Bilance úseku Rudického potoka od ČOV Rudice po výtok z první přehrážky je uvedena v příloze 5. Dochází zde ke střídání snižování a zvyšování koncentrace NL, extrémní hodnotou je zvýšení o 92 kg.den^{-1} při 5. odběru. Hodnoty CHSK_{Cr} a BSK_5 se zde také různí, opět jsou zde extrémy při 5. odběru (CHSK_{Cr} 10 kg.den^{-1} , BSK_5 $2,8 \text{ kg.den}^{-1}$). Hodnota N-NH_4^+ se téměř nemění, ke znatelnému snížení dochází pouze u odběrů 8, a to o $2,4 \text{ kg.den}^{-1}$. N-NO_2^- vykazuje pouze malé změny s převahou narůstajících hodnot. U N-NO_3^- dochází ve všech případech ke snížení (průměrně o $1,5 \text{ kg.den}^{-1}$), s extrémními hodnotami okolo 4 kg.den^{-1} u odběrů 5 a 8. N_{org} vykazuje střídání snižování a zvyšování v rozmezí 2 a -2 kg.den^{-1} . Formy fosforu vychází značně rozkolísaně, extrémními hodnotami je odběr 5, kde dochází ke zvyšování o $0,45 \text{ kg.den}^{-1}$ P-PO_4^{3-} , a odběr 12 se snížením o $0,26 \text{ kg.den}^{-1}$ P-PO_4^{3-} .

7.3 Parametry odtoků z ČOV

V tabulce 7.1 jsou uvedeny minimální, maximální a střední hodnoty odtoků z ČOV vypočtené z naměřených hodnot. Střední hodnota byla vypočtena aritmetickým průměrem. Podle srovnání naměřených hodnot z odtoků ČOV a emisních standardů ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod dle nařízení vlády č. 23/2011 Sb., došlo k překročení maximální hodnoty NL u obou ČOV. Na odtoku ČOV Jedovnice byla překročena maximální koncentrace 60 mg.l⁻¹, u ČOV Rudice se jedná o maximální koncentraci 70 mg.l⁻¹ (v tabulce překročení vyznačeno červeně). V obou případech jde o překročení u jednoho měření, jedním dalším případem je také překročena přípustná koncentrace.

Tab. 7.1: Maximální, minimální a střední hodnoty chemických a fyzikálních parametrů, naměřené na odtoku z ČOV Jedovnice a ČOV Rudice.

		ČOV Jedovnice - odtok			ČOV Rudice - odtok		
		Min.	Max.	Střední hodnota	Min.	Max.	Střední hodnota
Průtok	[l.s-1]	3,8	12,2	8,0	0,6	9,2	2,3
Konduktivita	[μS.cm ⁻¹]	674	870	762	597	1501	869 ¹⁾
Kyslík	[mg.l ⁻¹]	5,49	7,67	6,60	3,31	7,98	5,89
Teplota	[°C]	8,9	18,7	14,5	5,5	20,6	13,6
pH	[-]	6,79	7,86	7,15	4,50	7,36	6,05
NL	[mg.l ⁻¹]	0	290	15 ²⁾	2	100	22 ³⁾
CHSK_{Cr}	[mg.l ⁻¹]	6	38	24	29	75	50
BSK₅	[mg.l ⁻¹]	4,2	11,5	7,5	4,5	15,0	9,1
N-NH₄⁺	[mg.l ⁻¹]	0,5	2,4	1,4	1,3	10,2	2,8
N-NO₂⁻	[mg.l ⁻¹]	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1
N-NO₃⁻	[mg.l ⁻¹]	1,2	13,6	6,6	13,9	111,8	61,8
N_{org}	[mg.l ⁻¹]	1,3	24,5	10,6	0,1	10,9	4,6
P-PO₄³⁻	[mg.l ⁻¹]	1,0	4,3	2,6	4,1	14,0	8,4
P_{celk}	[mg.l ⁻¹]	1,0	4,3	2,6	4,2	14,1	8,6

Pozn.: U ČOV Rudice jsou uvedeny hodnoty NL, CHSK_{Cr}, BSK₅, forem dusíku a fosforu ze 24h slévaného vzorku, ostatní parametry byly měřeny v době odběru.

¹⁾ z průměru vyřazena extrémní hodnota 1501 μS.cm⁻¹ (odběr 12. 3. 2014)

²⁾ z průměru vyřazena extrémní hodnota 290 mg.l⁻¹ (odběr 12. 3. 2014)

³⁾ z průměru vyřazena extrémní hodnota 100 mg.l⁻¹ (odběr 12. 3. 2014)

7.4 Jakost povrchových vod

Srovnání sledovaných ukazatelů Jedovnického a Rudického potoka s normami environmentální kvality dle nařízení vlády č. 23/2011 Sb. je uvedeno v tabulce 7.2. V tabulce je uvedena průměrná hodnota (v případě teploty nejvyšší přípustná hodnota) dle NEK, která by neměla být překročena, a průměry vypočtené z naměřených hodnot v jednotlivých odběrných místech na tocích (v případě teploty maximální hodnota). Červeně jsou vyznačeny překročení NEK.

Tab. 7.2: Průměry z naměřených hodnot (u teploty nejvyšší naměřená hodnota) vybraných parametrů v tocích a jejich srovnání s normami environmentální kvality (dle n. v. č. 23/2011 Sb).

Ukazatel	Průměrná hodnota	Průměr z naměřených hodnot				
		2 Jedovnický potok nad ČOV	3 Jedovnický potok pod ČOV	6 Rudický potok	7 Jedovnický potok před propadáním	8 Vývěr Josefov
Průtok [l.s ⁻¹]	-	9,4	-	-	14,0	36,0
κ [μS.cm ⁻¹]	-	441	630	890	583	561
Kyslík [mg.l ⁻¹]	> 9	7,39	7,18	8,11	8,94	9,32
Teplota [°C]	29 ¹⁾	18,2 ²⁾	18,3 ²⁾	17,2 ²⁾	17,5 ²⁾	13,5 ²⁾
pH [-]	6-9	7,39	7,30	6,95	7,55	7,24
NL [mg.l ⁻¹]	20	16	16 ³⁾	35⁴⁾	9 ⁵⁾	9 ⁶⁾
CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	26	32	32	54	29	15
BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	3,8	8,4	7,3	10,0	5,8	5,7
N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	0,23	1,1	2,1	1,7	0,9	0,3
N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	-	0,2	0,1	0,6	0,1	0,1
N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	5,4	3,6	4,8	53,4	4,6	6,9
N _{org} [mg.l ⁻¹]	-	9,0	8,8	4,1	6,1	5,5
N _{celk} [mg.l ⁻¹]	6	14,0	15,8	59,8	11,7	12,4
P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	-	0,5	2,0	8,4	1,9	0,9
P _{celk} [mg.l ⁻¹]	0,15	0,5	2,1	8,7	2,6	1,5

Pozn.: ¹⁾ nejvyšší přípustná hodnota

²⁾ nejvyšší naměřená hodnota

³⁾ vyřazena extrémní hodnota 460 mg.l⁻¹ (odběr 12. 3. 2014)

⁴⁾ vyřazena extrémní hodnota 260 mg.l⁻¹ (odběr 12. 3. 2014) a 454 mg.l⁻¹ (odběr 16. 7. 2014)

⁵⁾ vyřazena extrémní hodnota 140 mg.l⁻¹ (odběr 12. 3. 2014)

⁶⁾ vyřazena extrémní hodnota 300 mg.l⁻¹ (odběr 12. 3. 2014)

8. DISKUZE

8.1 Vliv odtoků z ČOV na kvalitu vody v recipientu

Při porovnání průměrných hodnot v odměrných místech nad a pod odtokem z ČOV Jedovnice, je patrné zejména zvyšování obsahu N-NH_4^+ , které je za ČOV téměř dvojnásobné, a čtyřnásobný nárůst koncentrace fosforu. Také konduktivita je o třetinu zvýšena. Změna dalších parametrů není příliš výrazná, jedná se o mírné snížení obsahu kyslíku a zvýšení N-NO_3^- . Kvalita byla zvýšena mírným snížením BSK_5 . Některé ukazatele překračovaly normy environmentální kvality již před ČOV (obsah kyslíku, CHSK_{Cr} , BSK_5 , N-NH_4^+ , N_{celk} , P_{celk}) a nedošlo ke změně ani za odtokem. Špatná kvalita vody v toku může být způsobena eutrofizací, nebo rozkladnými procesy v rybnících, případně nelegálním vypouštěním odpadních vod z rekreační oblasti v jejich okolí. Vzhledem ke zhoršené kvalitě vody v toku, nedochází k výraznému negativnímu ovlivnění odtokem z ČOV, kvalita však není odtokem ani zlepšována.

Protože Rudický potok je antropogenním odtokem z ČOV, je sledován zejména jeho vliv na Jedovnický potok, nikoli kvalita vody v toku samotném. U vypouštěné vody z ČOV Rudice je během průtoku Rudickým potokem částečně sníženo znečištění vlivem samočištění v toku. Přesto jsou však hodnoty před vtokem do Jedovnického potoka vysoké. Nejvýraznější je téměř dvojnásobná hodnota průměru BSK_5 a CHSK_{Cr} , oproti hodnotám v Jedovnickém potoce před soutokem. Dvojnásobné množství N-NH_4^+ , extrémně zvýšené N-NO_3^- až o desetinásobek a také značně vysoké N-NO_2^- . Koncentrace celkového dusíku je větší zhruba pětinásobně a celkový fosfor více než trojnásobně. Výsledky značí nedostatečnou funkci ČOV Rudice.

Obsah NL vypouštěných z ČOV Rudice přesahuje maximální hodnotu dle nařízení vlády č. 23/2011 Sb. Kal však může být vyplavován i ve větší míře, při extrémních srážkových událostech a zvýšených průtocích, které nemusely být zachyceny měřením. Vyplavování kalu však nasvědčuje jeho hromadění v přehrážkách na Rudickém potoce.

Pro srovnání s NEK byly použity hodnoty z půlročního monitoringu, probíhajícího zejména na jaře a v létě. Dle nařízení vlády č. 23/2011 Sb. by však měly být použity roční průměrné hodnoty. Průměrné vypočtené hodnoty se tedy nemusí shodovat s ročním průměrem, jedná se zejména o parametry ovlivněné teplotou, jako je obsah kyslíku, konduktivita, pH aj. Jsou také ovlivněny rychlosti zejména biochemických procesů. Pro vzájemné srovnání parametrů z různých odběrných míst však není období měření podstatné, důležitější je četnost.

Vymílání strusky vlivem odtoku z ČOV Rudice nebylo měřeními parametry zjištěno, ani to není předmětem práce.

8.2 Srovnání ČOV Jedovnice a ČOV Rudice

Při porovnání průměrných hodnot sledovaných parametrů je patrné, že ČOV Rudice vypouští vody s nižším obsahem kyslíku nižší hodnotou pH. Vody mají také průměrně dvakrát vyšší koncentraci CHSK_{Cr} . Značné je i vypouštění větších koncentrací N-NH_4^+ a zejména N-NO_3^- , které dosahuje téměř desetinásobné hodnoty průměru. Hodnoty fosforu také vykazují vyšší koncentrace, průměrně více než trojnásobné. Hodnoty N_{org} ale dosahují vyšších průměrných hodnot u ČOV Jedovnice. U obou ČOV došlo k překročení limitních koncentrací pouze u NL. Výsledky vyšly podle očekávání, vzhledem k rozdílům v technologii obou ČOV. Zejména výraznější snížení koncentrací N-NO_3^- a fosforu na ČOV Jedovnice, díky nitrifikačně-denitrifikační aktivaci a stupni odstraňování fosforu.

I přes lepší účinnost ČOV Jedovnice, je její vliv na zatížení toku výraznější, protože odtok z čistírny je zhruba srovnatelný s velikostí průtoku v recipientu, v mnohých případech i vyšší. Na rozdíl od odtoku z ČOV Rudice, který tvoří zhruba desetinu průtoku v Jedovnickém potoce před soutokem.

8.3 Změny kvality vody v toku po průtoku jeskynním systémem

Menší rozptyl teplot vody v odběrném místě 8 – vývěr Josefov, než je tomu u ostatních odběrných míst, je pravděpodobně způsoben ovlivněním teplotou v jeskynním systému, která je dle Panoše (2001) 6–10 °C. Tomu nasvědčuje zvyšování teploty vody v jeskynním systému v zimě, kdy je teplota nižší, a ochlazování vody v letním období. Vliv na teplotu vody ve vývěru může mít i teplota přítoků podzemních vod, která bude obdobná jako teplota horniny.

Zvyšování průtoku v Jedovnickém potoce směrem po toku je způsobeno přítoky vody z ČOV a podpovrchovými přítoky. Zejména v oblasti jeskynního systému byl dle výsledků prokázán značný přítok podzemní vody. Přítoky pravděpodobně snižují koncentrace znečištění. Výjimku tvoří N-NO_3^- , jehož koncentrace se zvyšuje. Nárůst koncentrace N-NO_3^- bude ale pravděpodobně podpořen i transformací z jiných forem dusíku. Nejvyšší hodnoty průtoků jsou u 13. odběru a jsou způsobeny regionálním deštěm předešlého dne.

Nárůst obsahu kyslíku v oblasti jeskynního systému je nejspíše ovlivněn snížením teploty vody. Může být ale ovlivněn i provzdušněním proudu a snížením obsahu organických látek. Tomu nasvědčuje snižování hodnot CHSK_{Cr} a BSK_5 při zvyšujícím se obsahu kyslíku u většiny vzorků. Snížení obsahu organických látek může být způsobeno jejich rozkladem, nebo přítokem méně znečištěné vody.

Dle bilance NL v jeskynním systému dochází střídavě k usazování a vyplavování, z nichž dle naměřených hodnot žádný proces výrazně nepřevažuje. Hodnoty NL v toku jsou ale ovlivněny činností ČOV a průtoky. Při extrémních průtocích může docházet k přepadu odpadních vod do toku. Zvýšeným průtokem také dochází k vyplavování NL ze dna koryta do vodního sloupce, čímž se tato hodnota může značně zvyšovat. Protože bylo sledováno usazování velkého množství kalu z ČOV Rudice i menší množství z ČOV Jedovnice v obou tocích, za odtoky z ČOV, i přímo v jeskynním systému, lze předpokládat, že značná část NL je antropogenního původu a může způsobit nadměrné i zanesení jeskynního systému.

Bilance polutantů v jeskynním systému může být značně ovlivněna délkou doby protékání vody. V jeskyních je také řada tůní, kde dochází k mísení většího množství vod. Změna parametrů na vtoku se tedy u vývěru může projevit za delší časový úsek a se sníženým ale delším trváním.

Při průtoku jeskynním systémem, o délce zhruba 13 km, je patrné zlepšení jakosti vody, dochází ke zvýšení koncentrace kyslíku a snížení $CHSK_{Cr}$, tak, že splňují NEK. Také došlo ke snížení koncentrace fosforu. Dle naměřených hodnot má jeskynní systém pravděpodobně dobrou samočisticí schopnost, ale snižování koncentrací znečištění může být způsobeno i naředěním podzemními vodami.

8.4 Návrh opatření pro zlepšení jakosti vody v tocích

Výrazným zdrojem znečištění je zastaralá ČOV Rudice, proto by bylo vhodné vybudovat novou čistírnu, nebo provést přečerpávání odpadních vod na ČOV Jedovnice, které je již plánováno. Vhodným krokem by také byla rekonstrukce kanalizační sítě v Rudici a její přebudování na oddílný systém. V tom případě by dále nedocházelo k přepadům znečištěných odpadních vod do závrtu Pod Kovárnou, kam by byly dále zaústěny pouze dešťové vody. Také by tím bylo sníženo vyplavování kalu z ČOV Rudice a zmenšeno vymílání strusky v údolí Rudického potoka.

Nezbytné pro zlepšení kvality vody v Jedovnickém potoce je také vyřešit eutrofizaci rybníků, kterými rybník protéká před přítokem na krasové území.

9. ZÁVĚR

Na základě této práce je prokázáný negativní vliv ČOV na sledované vodní toky. Ten se projevuje zejména zvýšením koncentrace celkového dusíku, zejména $N-NH_4^+$ a $N-NO_3^-$, a fosforu. Také dochází k nárůstu konduktivity a koncentrace NL. Z výsledků vyplývá, že ČOV Jedovnice je účinnější, než ČOV Rudice, ale její odtok je několikanásobně vyšší, čímž se vliv na tok zvyšuje. Kvalita vody v toku však překračuje v několika parametrech NEK již před ČOV Jedovnice. Zhoršená kvalita vody v toku může být způsobena procesy probíhajícími v rybnících, případně nelegálním vypouštěním odpadních vod do toku.

V jeskynním systému Rudické propadání – Býčí skála dochází k navýšení průtoku a změně teploty. Je zde zlepšena jakost vody. Dle průměrných hodnot zde dochází ke zvýšení koncentrace kyslíku a snížení $CHSK_{Cr}$ a fosforu. Projevilo se zde ale zvýšení $N-NO_3^-$, překračující NEK. Zdá se, že tok podzemní tok má poměrně dobrou samočisticí schopnost, zvýšené hodnoty $N-NO_3^-$ mohou být produkty nitrifikace, ale výsledky mohou být ovlivněny přítoky podzemních vod a dobou zdržení v jeskyních.

U odtoků z ČOV nebyly naměřeny hodnoty překračující maximální hodnoty NL pro vypouštění do vod povrchových dle nařízení vlády č. 23/2011 Sb. Bylo také pozorováno hromadění kalu v tocích, zejména za ČOV Rudice, které nasvědčuje, že dochází k únikům velkého množství NL, pravděpodobně při vyšších průtocích na ČOV. NL mají ze sledovaných parametrů největší vliv na jeskynní systém, mohou způsobovat zanášení a následné rozkladné procesy, které dále ovlivňují kvalitu vody a vzduchu v jeskyních. Tím je porušován zákon o ochraně přírody, který zakazuje ničení a poškozování jeskyní. Nutnost řešení je zdůrazněna i tím, že se jedná o chráněnou krajinnou oblast a národní přírodní památku.

Pro zvýšení jakosti vody ve sledovaných tocích by bylo vhodně vybudovat v Rudici novou ČOV, nebo provést přečerpávání na ČOV Jedovnice. Také by bylo vhodné přebudování kanalizace v Rudici na oddílný systém. Situaci je také nutné řešit na toku před jeho vtokem na krasové území. V tomto případě se jedná zejména o omezení eutrofizace v rybnících, kterými protéká.

10. POUŽITÁ LITERATURA

- APPELO, C., S. GOLDBERG, D. POSTMA, 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Vyd. 2. Leiden (Netherlands): A. A. Balkema publishers. ISBN 04-153-6428-0.
- BALÁK, I., L. KOTOUČ a L. ŠTEFKA, 2006. *Chráněná krajinná oblast Moravský kras*. Správa ochrany přírody, Cortusa, Pozemkový spolek Hády. ISBN 80-239-3983-1.
- CULEK, M. (ed.) et al., 1996. *Biogeografické členění České republiky*. Praha: ENIGMA. ISBN 80-853-6880-3.
- FETTER, C. W., 2001. *Applied hydrogeology*. Vyd. 4. Upper Saddle River (New Jersey): Prentice-Hall. ISBN 01-308-8239-9.
- FLEURY, P., B. LADOUCHE, Y. CONROUX, H. JOURDE a N. DÖRFLIGER, 2005. *Modelling the hydrologic functions of karst aquifer under active water management – The Lez spring*. Vyd. 2. Leiden (Netherlands): A. A. Balkema publishers.
- HROMAS, J. (ed.), 2009. *Chráněná území ČR: Jeskyně, svazek XIV*. Vyd. 1. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, s. 393-486. ISBN 978-80-87051-17-7.
- CHLUPÁČ, I. et al., 2011. *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 2. Praha: Academia. ISBN 978-802-0019-615.
- KOVAŘÍK, M., 2005. *Moravský kras – čistírny a kvalita vody*. In: *Řešení extrémních požadavků na čištění odpadních vod*. Boskovice: Vodárenská akciová společnost, a. s., s. 1-7.
- KRÁSNÝ, J. et al., 2012. *Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-797-0.
- KUBĚNOVÁ, J., 1999. *Sledování jakosti vod v CHKO Moravský kras*. Praha. Diplomová práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav technologie vody a prostředí.

- MANGIN, A., 1994. *Karst hydrogeology*. In: Stanford, J., Gibert, J. a Danielopol, D.: *Groundwater Ecology*. San Diego: Academic Press, s. 43–67. ISBN 01-228-2110-6.
- MÍSAŘ, Z., 1983. *Geologie ČSSR, Český masív*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- MUSIL, R. *et al.*, 1993. *Moravský kras: labyrinty poznání*. Adamov: GEO program.
- NEUHAUSLOVÁ, Z. *et al.*, 2001. *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky*. Praha: Academia.
- PANOŠ, V., 2001. *Karsologická a speleologická terminologie: výkladový slovník s ekvivalenty ve slovenštině a jednacích jazycích mezinárodní speleologické unie (Unesco)*. Žilina: Knižné centrum. ISBN 80-806-4115-3.
- PITTER, P., 2009. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- SKALICKÝ, V., 1988. *Regionálně fytogeografické členění*. In: Hejný S. a Slavík B.: *Květena ČSR I*. Praha: Academia.

Elektronické zdroje

- ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Lokalizační a mapová aplikace* [on-line]. 2014 [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=588627&x=1146961&s=1.
- GOOGLE. Mapová data. On-line: <https://www.google.cz/maps>, dne 14. 10. 2014.
- MAPY.CZ. *Mapový portál* [on-line]. 2014 [cit. 2014-10-07]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>.
- OBEC RUDICE. *Stránky obce* [on-line]. 2014 [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: <http://www.rudice.cz/>, dne 21. 10. 2014.

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1: Emisní standardy koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod dle nařízení vlády č. 23/2011 Sb.

Tab. 7.1: Maximální, minimální a střední hodnoty chemických a fyzikálních parametrů, naměřené na odtoku z ČOV Jedovnice a ČOV Rudice.

Tab. 7.2: Průměry z naměřených hodnot (u teploty nejvyšší naměřená hodnota) vybraných parametrů v tocích a jejich srovnání s normami environmentální kvality (dle n. v. č. 23/2011 Sb).

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4.1: Mapa zájmového území s přibližným průběhem jeskynního systému Rudické propadání – Býčí skála (mapy.cz, Musil et al., 1993), upraveno.

Obr. 4.2: Geologická mapa zájmového území 1:50 000 s přibližným průběhem jeskynního systému (Česká geologická služba, Musil et al., 1993), upraveno.

Obr. 4.3: Půdorys jeskynního systému, rozděleného na část Rudické propadání a část Býčí skála (Musil et al., 1993), upraveno.

Obr. 4.4: Podélný profil Rudickým propadáním (Hromas, 2009).

Obr. 4.5: Ortofotomapa okolí Rudického propadání s vyznačením čistíren odpadních vod (mapy.cz), upraveno.

Obr. 4.6: Vymílání strusky v údolí nad Rudickým propadáním.

Obr. 4.7. Náplavy strusky v Rudickém propadání.

Obr. 4.8: Kal z ČOV nahromaděný za přehrázkou na Rudickém potoce.

Obr. 4.9: Pěna před sifonem v Rudickém propadání.

Obr. 4.10: ČOV Rudice - zařízení Kovoblok.

Obr. 5.1: Rozmístění odběrných míst (Google), upraveno.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV	... čistírna odpadních vod
CHKO	... chráněná krajinná oblast
NPR	... národní přírodní rezervace
PR	... přírodní rezervace
EO	... ekvivalentní obyvatel
NEK	... normy environmentální kvality
Q	... průtok [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]
κ	... konduktivita [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]
T	... teplota [$^{\circ}\text{C}$]
NL	... nerozpuštěné látky [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
CHSK _{Cr}	... chemická spotřeba kyslíku (oxidace dichromanem draselným) [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
BSK ₅	... biochemická spotřeba kyslíku po 5 dnech [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
N-NH ₄ ⁺	... amoniakální dusík [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
N-NO ₂ ⁻	... dusitanový dusík [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
N-NO ₃ ⁻	... dusičnanový dusík [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
N _{Kj}	... Kjeldahlův dusík [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
N _{org}	... organicky vázaný dusík [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
N _{celk}	... celkový dusík [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
P-PO ₄ ³⁻	... fosforečnanový fosfor [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
P _{celk}	... celkový fosfor [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase.

Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem.

Příloha 3: Bilance polutantů při průtoku jeskynním systémem Rudické propadání – Býčí skála.

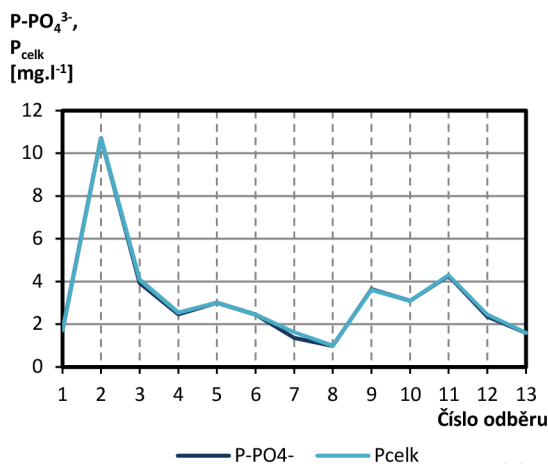
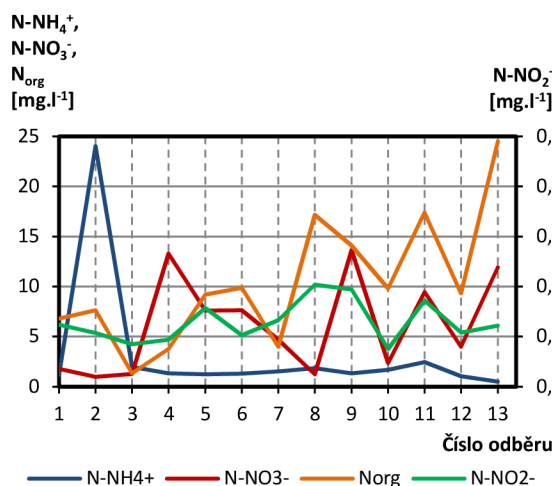
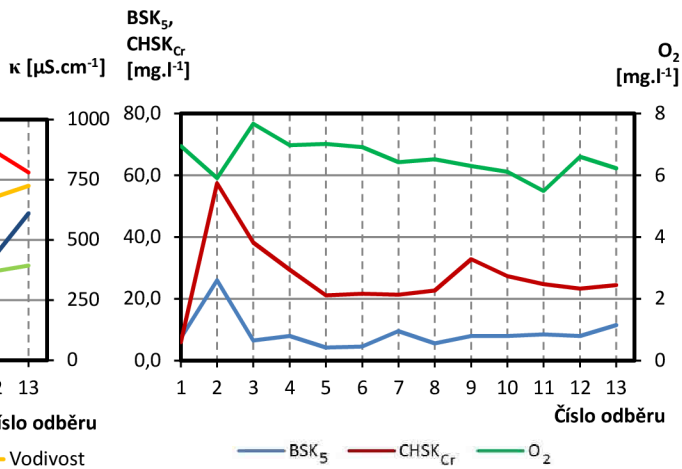
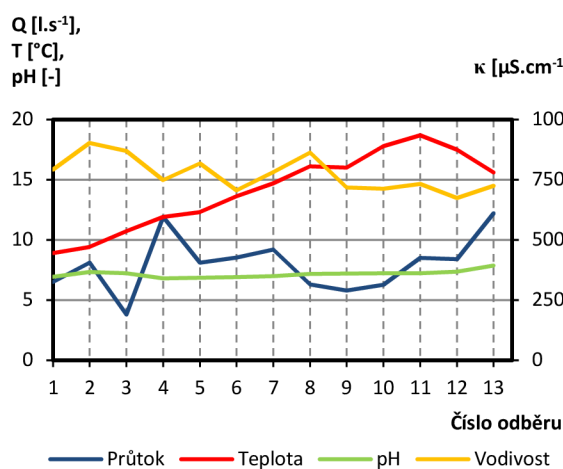
Příloha 4: Bilance polutantů při průtoku Jedovnickým potokem od ČOV Jedovnice po soutok s Rudickým potokem.

Příloha 5: Bilance polutantů při průtoku Rudickým potokem, od ČOV Rudice po první hrázku (odběrné místo 6).

Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 1).

Jedovnice ČOV – odtok (odběrné místo 1).

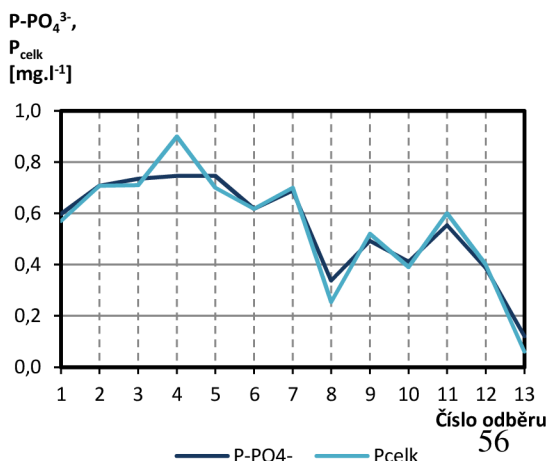
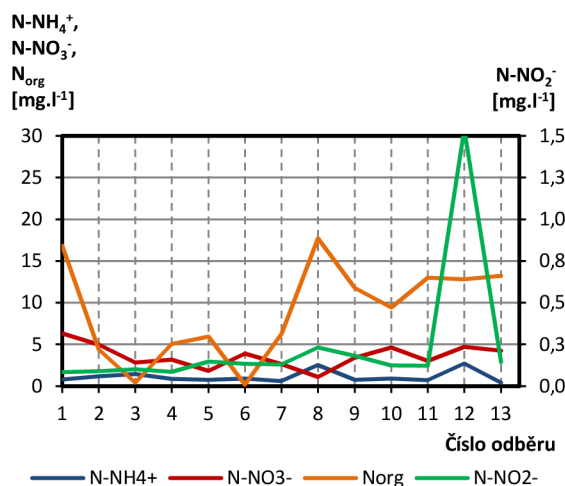
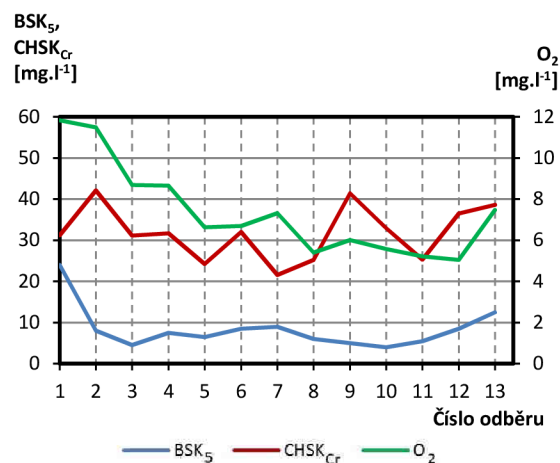
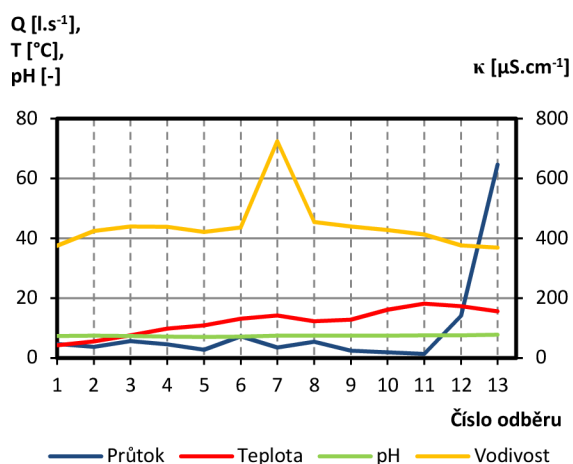
Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Doba odběru	9:00	10:00	9:00	9:00	9:00	9:00	8:20	9:00	9:20	8:20	9:00	9:00	9:00
Průtok [l.s ⁻¹]	6,5	8,1	3,8	11,9	8,1	8,52	9,2	6,3	5,8	6,28	8,5	8,4	12,2
κ [μS.cm ⁻¹]	792	903	870	749	818	706	781	863	718	712	733	674	724
O ₂ [mg.l ⁻¹]	6,94	5,91	7,67	6,98	7,02	6,91	6,43	6,52	6,30	6,12	5,49	6,60	6,23
Teplota [°C]	8,9	9,4	10,7	11,9	12,3	13,6	14,7	16,1	16,0	17,8	18,7	17,5	15,6
pH [-]	6,93	7,33	7,23	6,79	6,86	6,90	7,00	7,17	7,19	7,23	7,22	7,37	7,86
NL [mg.l ⁻¹]	290	30	20	36	2	12	20	2	20	26	14	0	8
CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	6	57	38	29	21	22	21	23	33	27	25	23	25
BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	7,4	26	6,5	8,0	4,2	4,6	9,5	5,6	8	8,0	8,5	8,0	11,5
N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	1,2	24,1	2,0	1,3	1,2	1,3	1,5	1,8	1,3	1,7	2,4	1,0	0,5
N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	1,8	1,0	1,3	13,3	7,6	7,6	4,7	1,2	13,6	2,4	9,4	4,0	11,9
N _{Kj} [mg.l ⁻¹]	8,0	31,7	3,3	5,1	10,5	11,2	5,5	19,0	15,4	11,5	19,9	10,4	25,0
N _{org} [mg.l ⁻¹]	6,8	7,6	1,3	3,8	9,2	9,9	4,0	17,2	14,1	9,8	17,4	9,3	24,5
N _{celk} [mg.l ⁻¹]	9,9	32,8	4,7	18,5	18,2	18,9	10,3	20,4	29,2	13,9	29,5	14,4	37,0
P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	1,7	10,7	3,9	2,5	3,0	2,5	1,4	1,0	3,6	3,1	4,3	2,4	1,6
P _{celk} [mg.l ⁻¹]	1,7	10,7	4,1	2,5	3,0	2,5	1,6	1,0	3,6	3,1	4,3	2,5	1,6



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 2).

Jedovnický potok nad ČOV (odběrné místo 2).

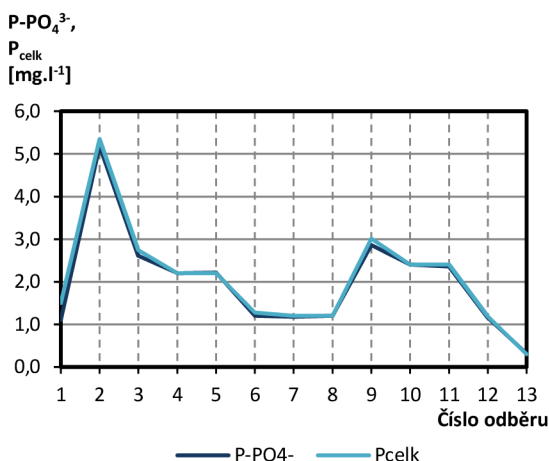
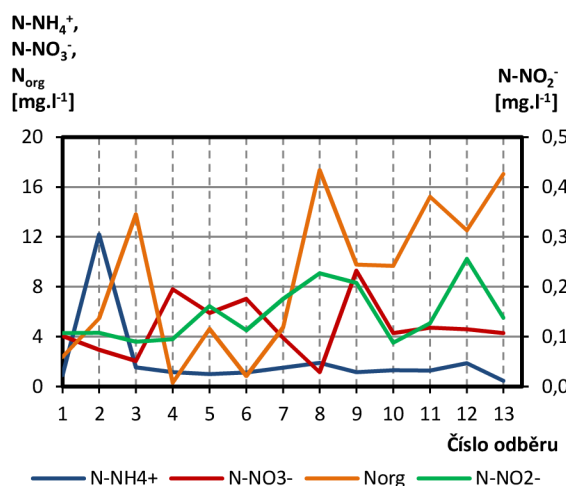
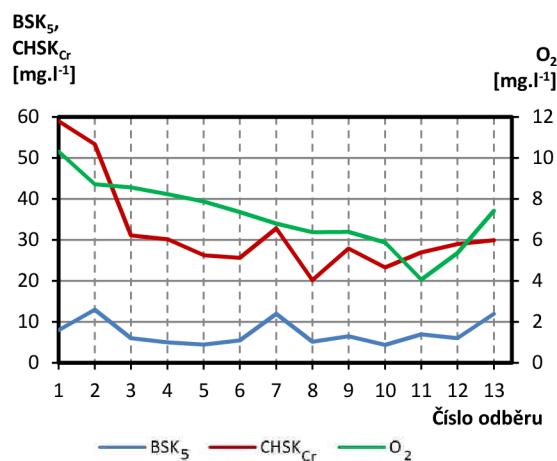
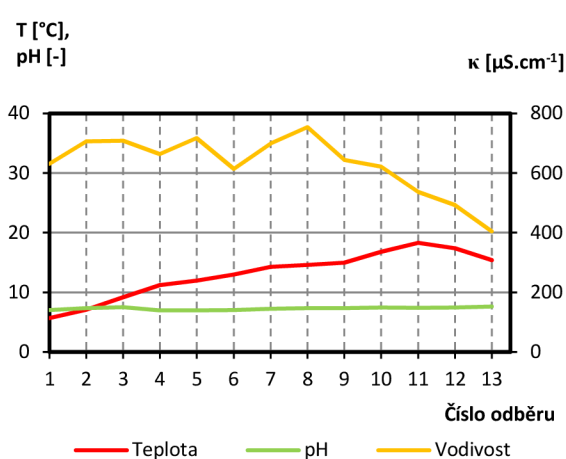
Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Průtok [l.s ⁻¹]	4,7	3,7	5,6	4,6	2,7	7,3	3,4	5,5	2,4	1,9	1,4	14,1	64,7
κ [μS.cm ⁻¹]	375	424	439	438	421	436	724	454	439	428	413	376	369
O ₂ [mg.l ⁻¹]	11,83	11,49	8,68	8,66	6,64	6,7	7,32	5,41	6,01	5,58	5,21	5,04	7,47
Teplota [°C]	4,2	5,5	7,5	9,8	10,9	13,1	14,2	12,3	12,8	16,1	18,2	17,3	15,6
pH [-]	7,33	7,44	7,33	7,14	7,02	7,17	7,46	7,40	7,49	7,48	7,53	7,53	7,75
NL [mg.l ⁻¹]	60	5	5	16	4	16	30	4	24	4	12	14	18
CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	31	42	31	32	24	32	22	25	41	33	25	37	39
BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	24	8	5	8	7	9	9	6	5	4	6	9	13
N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	0,8	1,2	1,5	0,9	0,7	0,9	0,6	2,5	0,8	0,9	0,7	2,7	0,4
N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	1,5	0,1
N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	6,3	5,0	2,8	3,2	1,8	3,9	2,6	1,1	3,4	4,7	3,0	4,7	4,3
N _{Kj} [mg.l ⁻¹]	17,7	5,6	1,9	5,9	6,7	1,1	6,8	20,3	12,5	10,4	13,7	15,5	13,7
N _{org} [mg.l ⁻¹]	16,8	4,4	0,4	5,1	5,9	0,2	6,2	17,7	11,8	9,4	13,0	12,8	13,2
N _{celk} [mg.l ⁻¹]	24,1	10,7	4,8	9,2	8,6	5,1	9,6	21,6	16,1	15,1	16,8	21,8	18,0
P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4	0,1
P _{celk} [mg.l ⁻¹]	0,6	0,7	0,7	0,9	0,7	0,6	0,7	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4	0,1



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 3).

Jedovnický potok pod ČOV (odběrné místo 3).

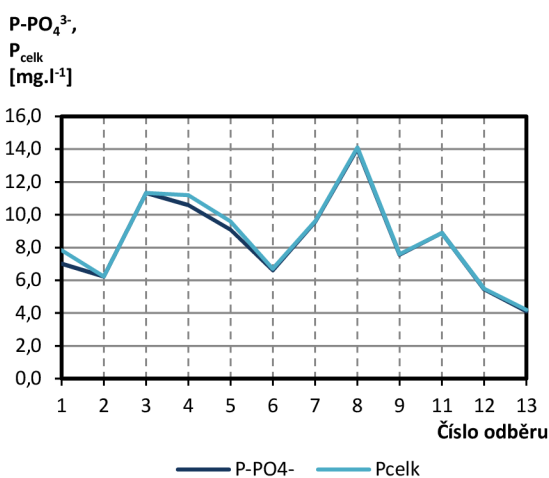
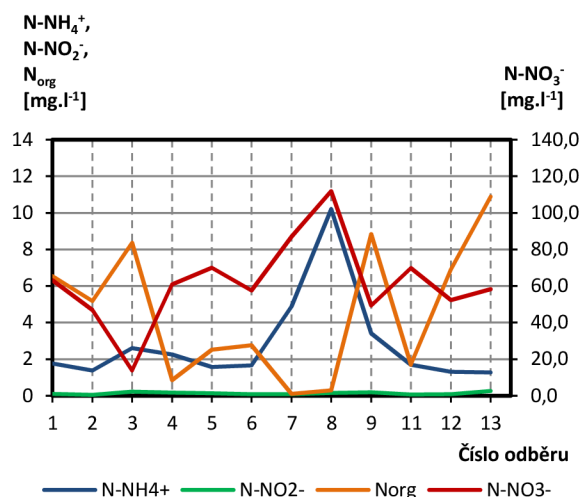
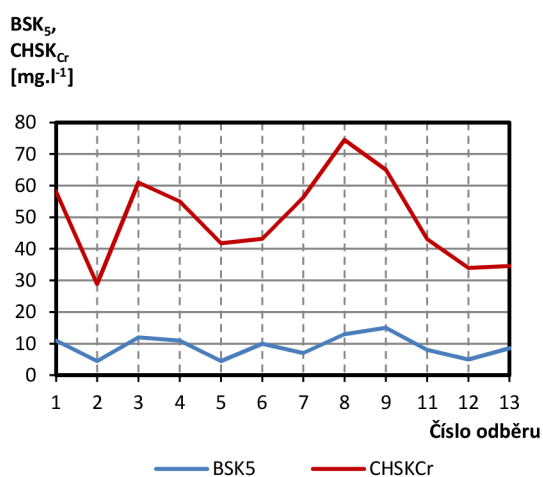
Číslo odběru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru		12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
κ	$[\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$	631	706	709	663	717	614	699	754	644	622	537	493	405
O_2	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	10,32	8,72	8,57	8,23	7,87	7,36	6,8	6,38	6,4	5,88	4,06	5,36	7,42
Teplota	$[\text{°C}]$	5,7	7,1	9,2	11,2	12,0	13,0	14,3	14,6	15,0	16,8	18,3	17,4	15,4
pH	$[-]$	7,06	7,34	7,51	7,00	7,00	7,04	7,27	7,36	7,37	7,44	7,43	7,47	7,63
NL	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	460	45	10	14	14	2	50	2	12	4	10	16	16
CHSK _{Cr}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	59	53	31	30	26	26	33	20	28	23	27	29	30
BSK ₅	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	8	13	6	5	5	6	12	5	7	4	7	6	12
N-NH ₄ ⁺	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	0,9	12,2	1,5	1,2	1,0	1,1	1,5	1,9	1,2	1,3	1,3	1,9	0,5
N-NO ₂ ⁻	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1
N-NO ₃ ⁻	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	4,1	3,0	2,1	7,8	5,9	7,0	3,9	1,2	9,3	4,3	4,7	4,6	4,3
N _{Kj}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	3,3	17,7	15,3	1,5	5,6	2,0	6,3	19,3	11,0	11,0	16,5	14,4	17,5
N _{org}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	2,4	5,5	13,8	0,3	4,6	0,9	4,7	17,3	9,8	9,7	15,2	12,5	17,0
N _{celk}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	7,5	20,7	17,5	9,4	11,7	9,1	10,3	20,6	20,4	15,4	21,4	19,3	21,9
P-PO ₄ ³⁻	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	1,1	5,2	2,6	2,2	2,2	1,2	1,2	1,2	2,9	2,4	2,4	1,2	0,3
P _{celk}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	1,5	5,4	2,7	2,2	2,2	1,3	1,2	1,2	3,0	2,4	2,4	1,2	0,3



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 4).

Rudice ČOV – 24h slévaný vzorek (odběrné místo 4).

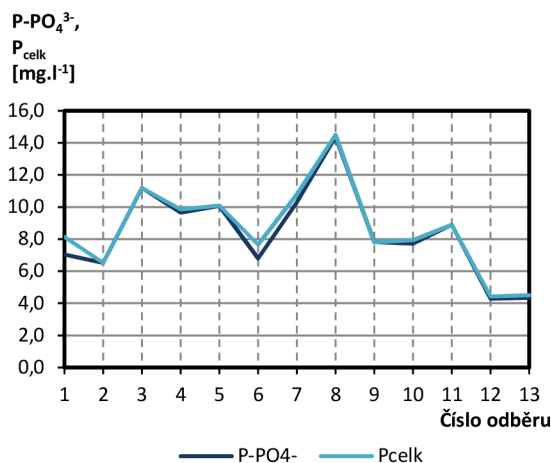
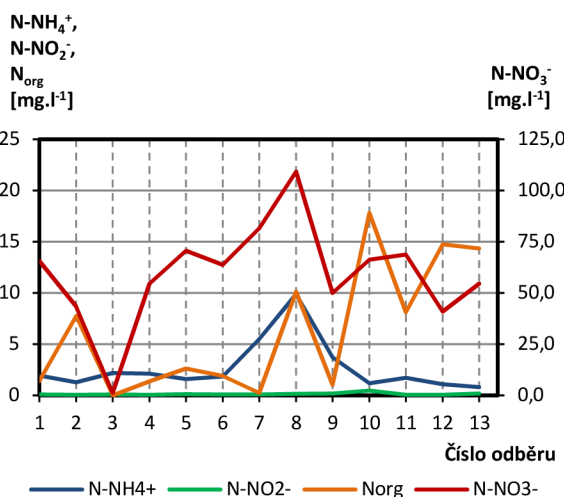
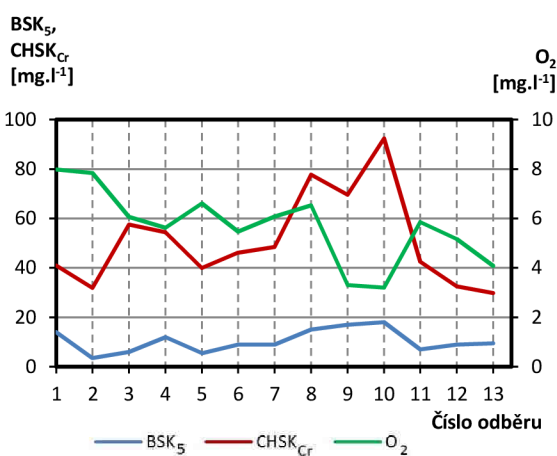
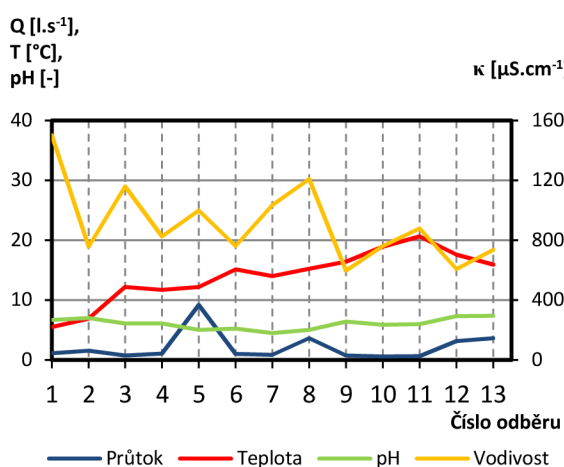
Číslo odběru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru		12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
NL	[mg.l ⁻¹]	100	30	25	38	8	12	44	20	24	-	38	6	2
CHSK _{Cr}	[mg.l ⁻¹]	58	29	61	55	42	43	56	75	65	-	43	34	35
BSK ₅	[mg.l ⁻¹]	11	5	12	11	5	10	7	13	15	-	8	5	9
N-NH ₄ ⁺	[mg.l ⁻¹]	1,8	1,4	2,6	2,3	1,6	1,7	4,9	10,2	3,4	-	1,7	1,3	1,3
N-NO ₂ ⁻	[mg.l ⁻¹]	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	-	0,1	0,1	0,3
N-NO ₃ ⁻	[mg.l ⁻¹]	63,2	47,0	13,9	60,8	70,0	57,6	87,0	111,8	49,4	-	69,8	52,4	58,3
N _{Kj}	[mg.l ⁻¹]	8,3	6,6	11,0	3,1	4,1	4,4	5,0	10,5	12,3	-	3,4	8,2	12,2
N _{org}	[mg.l ⁻¹]	6,5	5,2	8,4	0,9	2,5	2,8	0,1	0,3	8,8	-	1,7	6,9	10,9
N _{celk}	[mg.l ⁻¹]	71,6	53,6	25,1	64,1	74,2	62,1	92,1	122,5	61,8	-	73,3	60,7	70,7
P-PO ₄ ³⁻	[mg.l ⁻¹]	7,0	6,2	11,3	10,6	9,1	6,6	9,6	14,0	7,6	-	8,9	5,5	4,1
P _{celk}	[mg.l ⁻¹]	7,8	6,2	11,3	11,2	9,6	6,7	9,6	14,1	7,6	-	8,9	5,5	4,2



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 5).

Rudice ČOV – bodový odběr (odběrné místo 5).

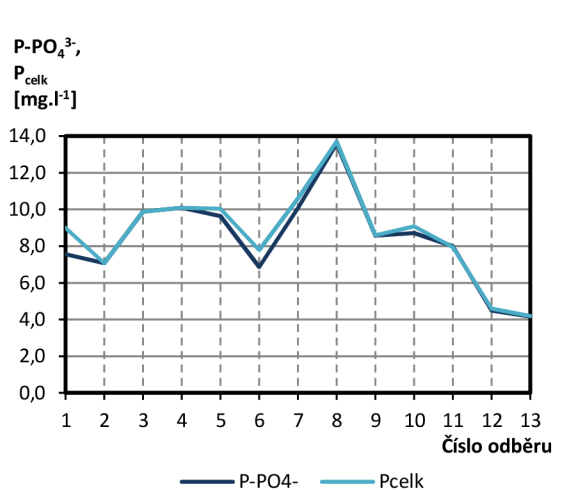
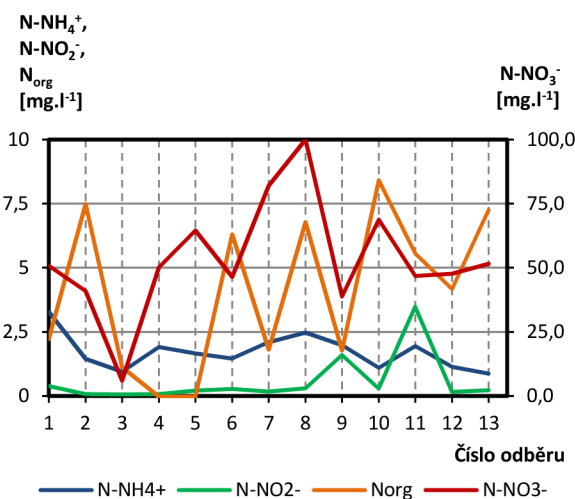
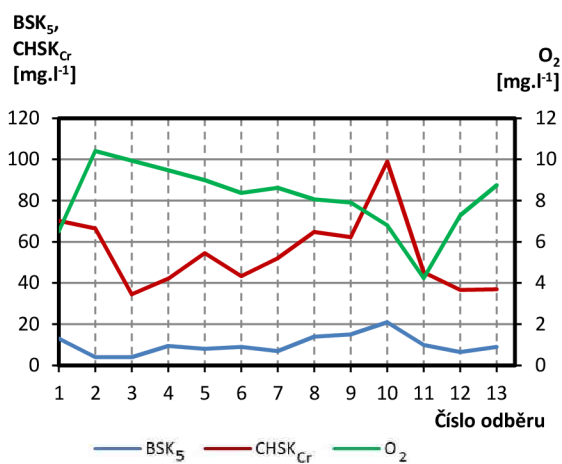
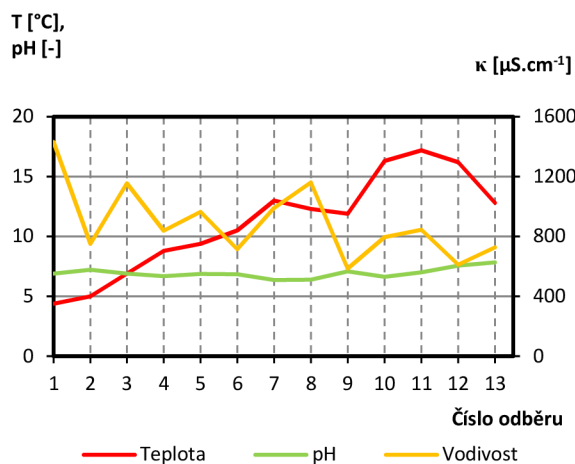
Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Doba odběru	10:15	8:30	8:00	7:45	7:45	7:45	8:00	8:00	7:45	8:00	7:45	8:00	7:45
Průtok [l.s ⁻¹]	1,1	1,6	0,8	1,1	9,2	1,0	0,8	3,6	0,8	0,6	0,6	3,2	3,7
κ [μS.cm ⁻¹]	1501	756	1159	825	998	761	1035	1208	597	761	879	607	735
O ₂ [mg.l ⁻¹]	7,98	7,84	6,07	5,63	6,61	5,47	6,08	6,53	3,31	3,2	5,86	5,17	4,09
Teplota [°C]	5,5	6,9	12,2	11,7	12,2	15,1	14,0	15,2	16,4	18,9	20,6	17,6	15,9
pH [-]	6,65	7,01	6,11	6,07	5,02	5,23	4,50	5,02	6,43	5,86	5,96	7,29	7,36
NL [mg.l ⁻¹]	180	50	30	36	32	12	40	48	36	236	32	10	2
CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	41	32	58	55	40	46	49	78	70	92	43	33	30
BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	14	4	6	12	6	9	9	15	17	18	7	9	10
N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	2,0	1,3	2,2	2,1	1,6	1,8	5,5	9,9	3,7	1,2	1,7	1,1	0,8
N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,2
N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	65,6	43,4	1,3	54,6	70,6	63,8	81,6	109,2	50,0	66,2	68,8	40,9	54,6
N _{Kj} [mg.l ⁻¹]	3,4	9,0	2,2	3,5	4,2	3,8	5,8	20,0	4,8	19,0	9,9	15,8	15,2
N _{org} [mg.l ⁻¹]	1,4	7,7	0,0	1,4	2,6	1,9	0,3	10,1	1,0	17,8	8,1	14,7	14,3
N _{celk} [mg.l ⁻¹]	69,1	52,5	3,5	58,1	74,9	67,6	87,4	129,3	54,9	85,7	78,7	56,8	69,9
P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	7,0	6,5	11,2	9,7	10,1	6,8	10,3	14,4	7,8	7,7	8,9	4,3	4,3
P _{celk} [mg.l ⁻¹]	8,1	6,5	11,2	9,9	10,1	7,7	10,8	14,5	7,8	7,9	8,9	4,4	4,5



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 6).

Rudický potok pod ČOV (odběrné místo 6).

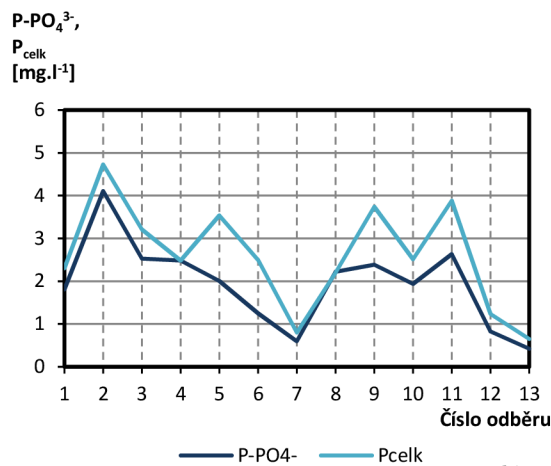
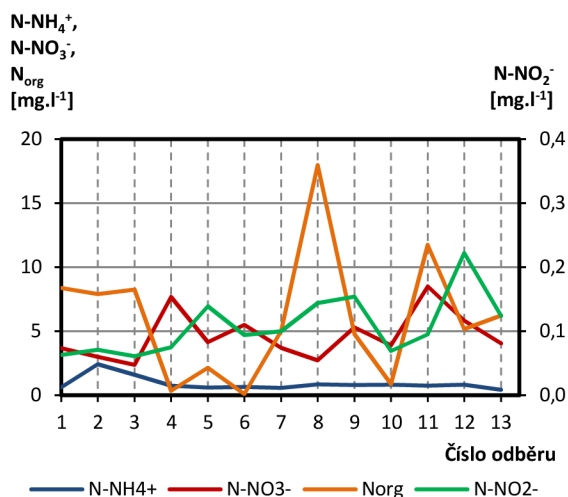
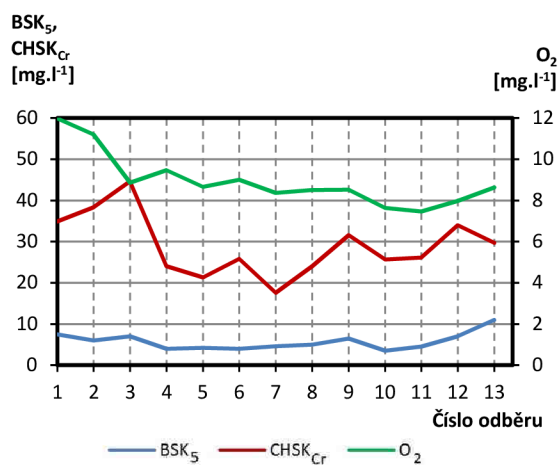
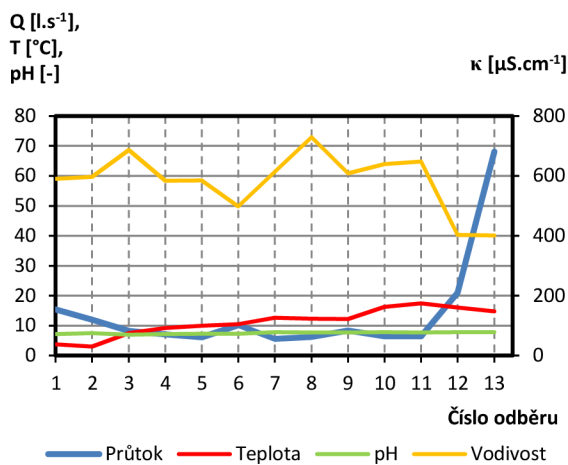
Číslo odběru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru		12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
κ	$[\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$	1430	752	1155	838	965	715	990	1161	586	797	846	613	728
O_2	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	6,51	10,41	9,95	9,47	8,99	8,37	8,624	8,07	7,9	6,81	4,24	7,28	8,75
Teplota	$[\text{°C}]$	4,4	5,0	6,9	8,8	9,4	10,5	13,0	12,3	11,9	16,3	17,2	16,2	12,8
pH	$[-]$	6,90	7,23	6,90	6,68	6,88	6,85	6,38	6,39	7,10	6,63	7,02	7,58	7,84
NL	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	260	30	20	2	124	6	32	30	80	454	12	14	32
CHSK_{Cr}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	70	66	35	42	55	43	52	65	62	99	45	37	37
BSK_5	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	13	4	4	10	8	9	7	14	15	21	10	7	9
N-NH_4^+	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	3,3	1,4	0,9	1,9	1,7	1,5	2,1	2,5	2,0	1,1	2,0	1,1	0,9
N-NO_2^-	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	1,6	0,3	3,5	0,2	0,2
N-NO_3^-	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	50,8	41,0	6,0	50,1	64,6	46,5	82,0	100,0	38,8	68,8	46,8	47,7	51,6
N_{Kj}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	5,5	8,9	2,1	1,9	1,6	7,8	3,9	9,3	3,8	9,5	7,5	5,3	8,1
N_{org}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	2,2	7,5	1,1	0,0	0,0	6,3	1,8	6,8	1,8	8,4	5,6	4,2	7,3
N_{celk}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	56,6	50,0	8,1	52,1	66,4	54,5	86,1	109,5	44,2	78,6	57,8	53,2	60,0
P-PO_4^{3-}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	7,6	7,1	9,9	10,1	9,6	6,9	10,1	13,6	8,6	8,7	8,0	4,5	4,2
P_{celk}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	9,0	7,1	9,9	10,1	10,0	7,8	10,6	13,7	8,6	9,1	8,0	4,6	4,2



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 7).

Jedovnický potok před propadáním (odběrné místo 7).

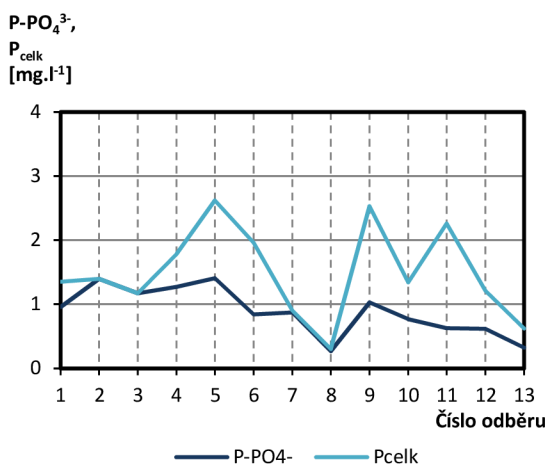
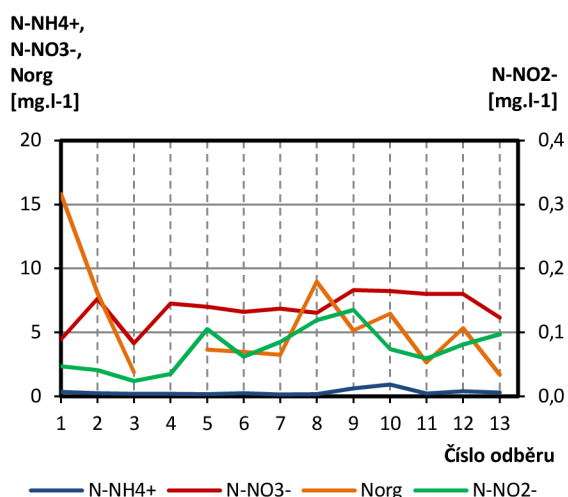
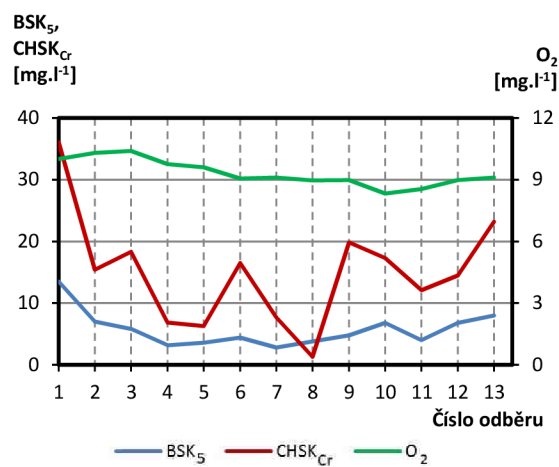
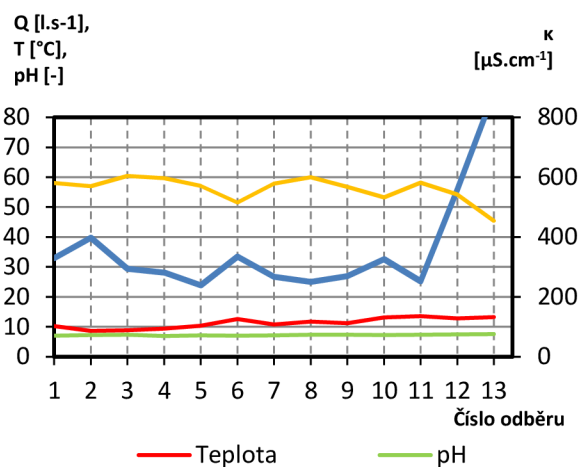
Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Průtok [$l \cdot s^{-1}$]	15,4	12,0	8,3	7,1	6,1	10,2	5,6	6,3	8,4	6,5	6,5	21,0	68,2
κ [$\mu S \cdot cm^{-1}$]	590	597	686	584	585	498	614	729	609	640	648	403	401
O₂ [$mg \cdot l^{-1}$]	11,98	11,19	8,86	9,47	8,66	9	8,36	8,5	8,52	7,64	7,47	7,98	8,63
Teplota [$^{\circ}C$]	3,8	3,0	7,5	9,2	10,0	10,5	12,7	12,3	12,2	16,3	17,5	16,1	14,8
pH [-]	7,21	7,50	6,99	7,19	7,32	7,32	7,88	7,69	7,72	7,80	7,78	7,87	7,88
NL [$mg \cdot l^{-1}$]	140	45	5	4	0	2	2	2	2	8	12	6	16
CHSK_{Cr} [$mg \cdot l^{-1}$]	35	38	45	24	21	26	18	24	32	26	26	34	30
BSK₅ [$mg \cdot l^{-1}$]	8	6	7	4	4	4	5	5	7	4	5	7	11
N-NH₄⁺ [$mg \cdot l^{-1}$]	0,6	2,4	1,6	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4
N-NO₂⁻ [$mg \cdot l^{-1}$]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
N-NO₃⁻ [$mg \cdot l^{-1}$]	3,7	3,0	2,4	7,7	4,2	5,5	3,7	2,7	5,3	3,9	8,5	5,8	4,1
N_{Kj} [$mg \cdot l^{-1}$]	9,0	10,3	9,9	1,1	2,8	0,8	5,6	18,8	5,6	1,7	12,5	6,0	6,7
N_{org} [$mg \cdot l^{-1}$]	8,4	7,9	8,2	0,3	2,2	0,1	5,0	18,0	4,8	0,9	11,7	5,2	6,2
N_{celk} [$mg \cdot l^{-1}$]	12,7	13,4	12,3	8,9	7,1	6,3	9,4	21,7	11,0	5,7	21,1	12,1	10,8
P-PO₄³⁻ [$mg \cdot l^{-1}$]	1,8	4,1	2,5	2,5	2,0	1,3	0,6	2,2	2,4	1,9	2,6	0,8	0,4
P_{celk} [$mg \cdot l^{-1}$]	2,3	4,7	3,2	2,5	3,5	2,5	0,8	2,2	3,7	2,5	3,9	1,2	0,7



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 8).

Jedovnický potok – vývěr Josefov (odběrné místo 8).

Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Průtok [l.s ⁻¹]	32,9	39,8	29,3	28,2	23,8	33,5	26,8	25,0	27,0	32,6	25,2	56,0	88,2
κ [μS.cm ⁻¹]	581	570	604	597	571	515	579	600	568	532	582	542	454
O₂ [mg.l ⁻¹]	10,01	10,3	10,4	9,76	9,6	9,06	9,1	8,97	8,98	8,33	8,54	8,98	9,1
Teplota [°C]	10,2	8,6	8,8	9,4	10,3	12,6	10,8	11,7	11,2	13,1	13,5	12,8	13,2
pH [-]	7,02	7,24	7,31	6,90	7,09	7,06	7,16	7,37	7,32	7,27	7,37	7,41	7,60
NL [mg.l ⁻¹]	300	35	30	2	4	2	2	0	4	10	4	10	0
CHSK_{Cr} [mg.l ⁻¹]	36	15	18	7	6	17	8	1	20	17	12	15	23
BSK₅ [mg.l ⁻¹]	14	7	6	3	4	4	3	4	5	7	4	7	8
N-NH₄⁺ [mg.l ⁻¹]	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,6	0,9	0,2	0,4	0,3
N-NO₂⁻ [mg.l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
N-NO₃⁻ [mg.l ⁻¹]	4,5	7,6	4,2	7,3	7,0	6,6	6,9	6,5	8,3	8,2	8,0	8,0	6,2
N_{Kj} [mg.l ⁻¹]	16,2	8,4	2,1	-	3,8	3,7	3,4	9,1	5,8	7,4	2,9	5,7	2,0
N_{org} [mg.l ⁻¹]	15,8	8,1	1,9	-	3,6	3,5	3,2	9,0	5,2	6,5	2,7	5,3	1,7
N_{celk} [mg.l ⁻¹]	20,7	16,0	6,3	-	10,9	10,4	10,4	15,8	14,3	15,7	11,0	13,8	8,2
P-PO₄³⁻ [mg.l ⁻¹]	1,0	1,4	1,2	1,3	1,4	0,8	0,9	0,3	1,0	0,8	0,6	0,6	0,3
P_{celk} [mg.l ⁻¹]	1,4	1,4	1,2	1,8	2,6	2,0	0,9	0,3	2,5	1,3	2,3	1,2	0,6



Příloha 1: Vývoj sledovaných parametrů v čase (část 9).

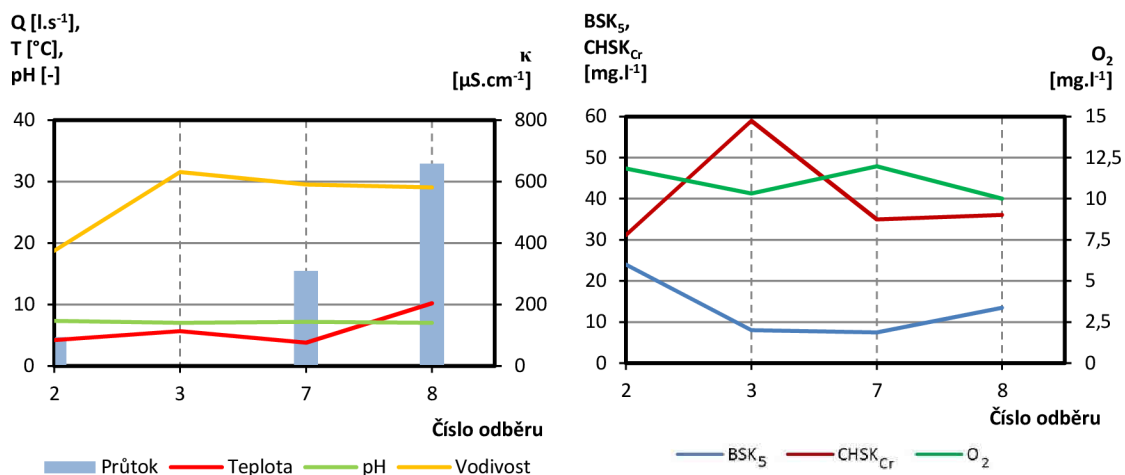
Další odběrná místa.

Datum odběru		5.6.2014		5.8.2014	
Lokalita		Býčí skála		Rudické propadání	
Označení		B1	B2	R1	R2
Místo odběru		před kaňony	za Srbským sifonem	Hugonův dóm	před sifonem u chodby vzdechů
κ	[$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	-	-	464	460
O₂	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	10,06	9,09	9,60	8,92
Teplota	[°C]	9,9	10,2	15,2	14,4
pH	[-]	-	-	8,81	7,55
NL	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	12	2	26	110
CHSK_{Cr}	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	10	3	22	26
BSK₅	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	6,0	7,4	5,6	5,6
N-NH₄⁺	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0,2	0,2	0,6	0,6
N-NO₂⁻	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0,1	0,1	0,1	0,1
N-NO₃⁻	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	7,9	7,8	6,5	7,9
N_{Kj}	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	3,8	4,4	12,5	17,5
N_{org}	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	3,6	4,2	11,9	16,9
N_{celk}	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	11,7	12,3	19,1	25,5
P-PO₄³⁻	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	1,0	1,1	1,1	1,0
P_{celk}	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	1,0	1,1	1,1	1,1

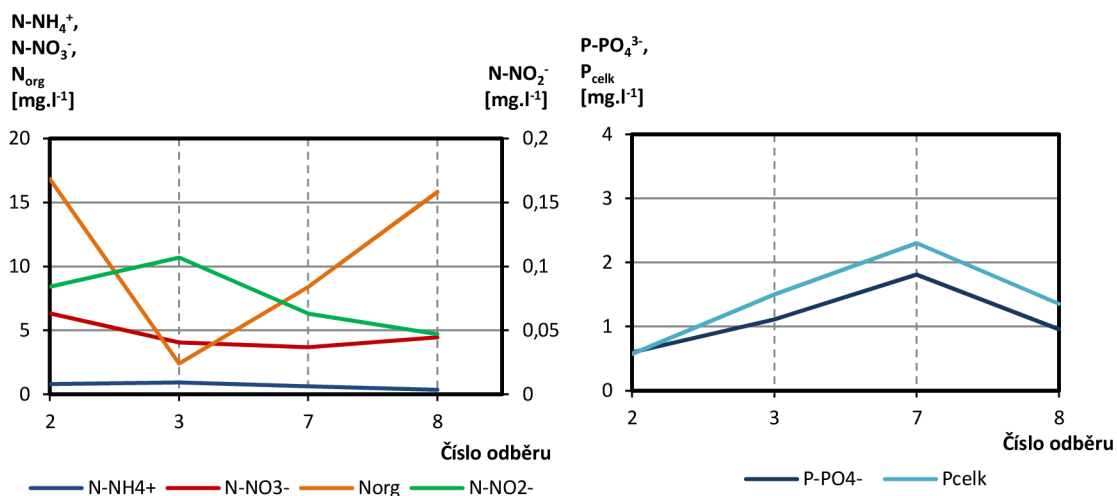
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 1).

Odběr 12. 3. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	4,7	375	4,2	7,33	24,0	31	11,83
3	-	631	5,7	7,06	8,0	59	10,32
7	15,4	590	3,8	7,21	7,5	35	11,98
8	32,9	581	10,2	7,02	13,5	36	10,01



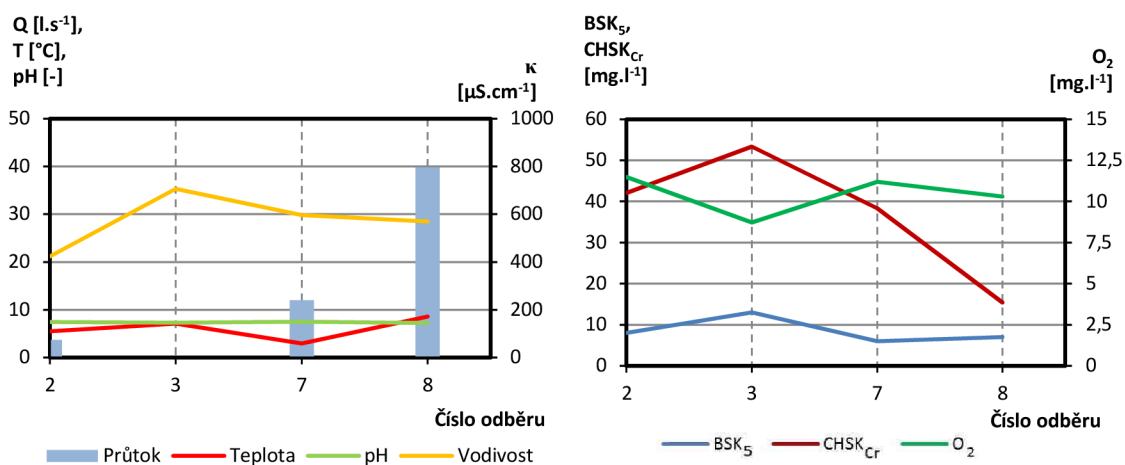
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,8	0,1	6,3	16,8	0,6	0,6
3	0,9	0,1	4,1	2,4	1,1	1,5
7	0,6	0,1	3,7	8,4	1,8	2,3
8	0,3	0,05	4,5	15,8	1,0	1,4



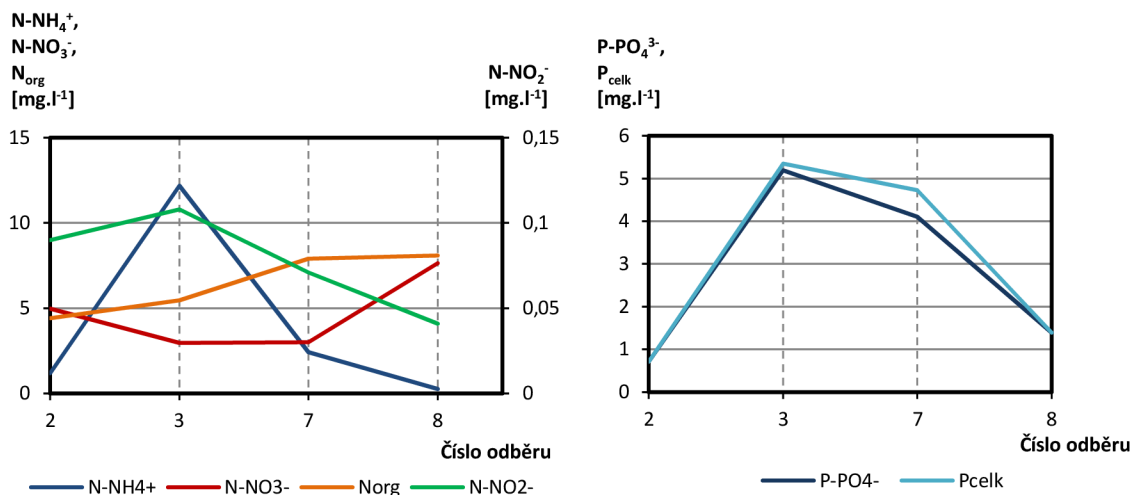
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 2).

Odběr 26. 3. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	3,7	424	5,5	7,44	8,0	42	11,49
3	-	706	7,1	7,34	13,0	53	8,72
7	12,0	597	3	7,50	6,0	38	11,19
8	39,8	570	8,6	7,24	7,0	15	10,30



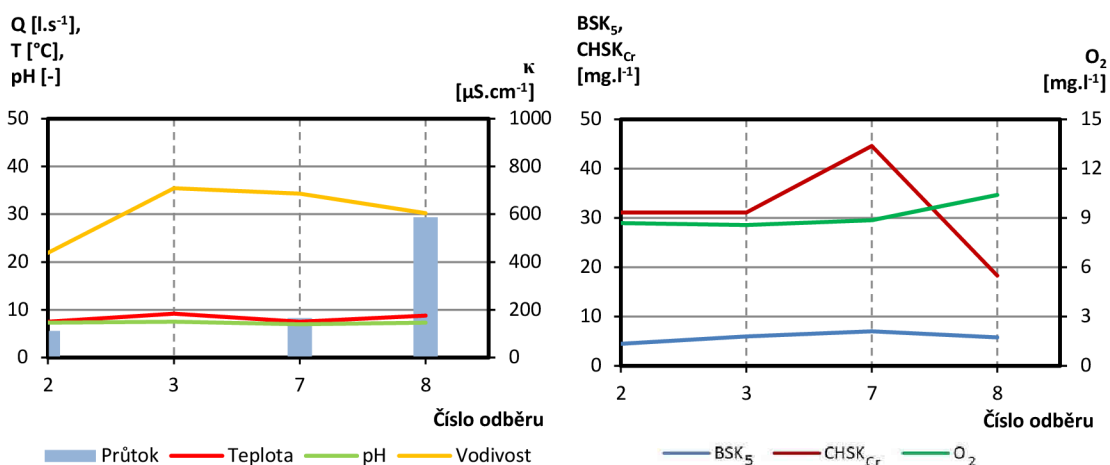
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,8	0,1	6,3	16,8	0,6	0,6
3	0,9	0,1	4,1	2,4	1,1	1,5
7	0,6	0,1	3,7	8,4	1,8	2,3
8	0,3	0,05	4,5	15,8	1,0	1,4



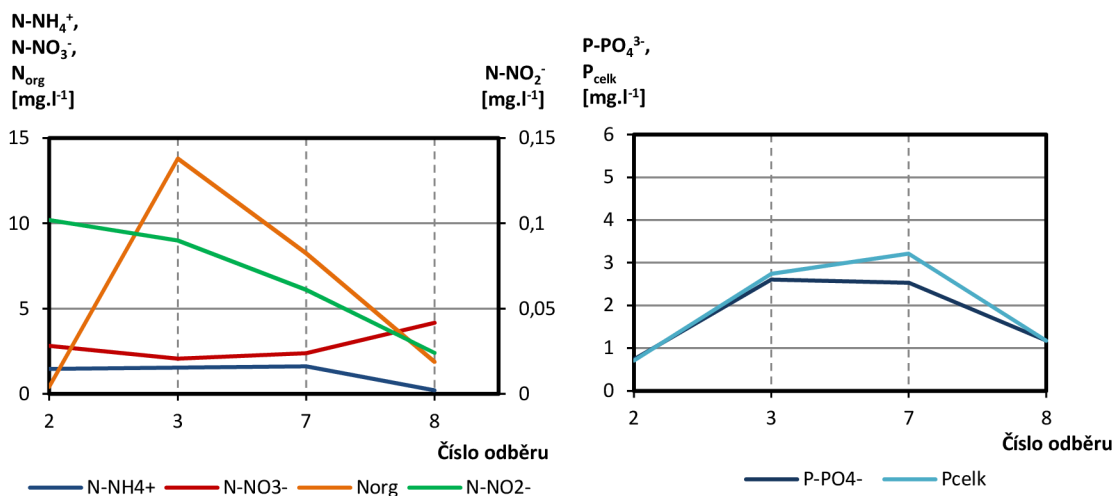
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 3).

Odběr 9. 4. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	5,6	439	7,5	7,33	4,5	31	8,68
3	-	709	9,2	7,51	6,0	31	8,57
7	8,3	686	7,5	6,99	7,0	45	8,86
8	29,3	604	8,8	7,31	5,8	18	10,40



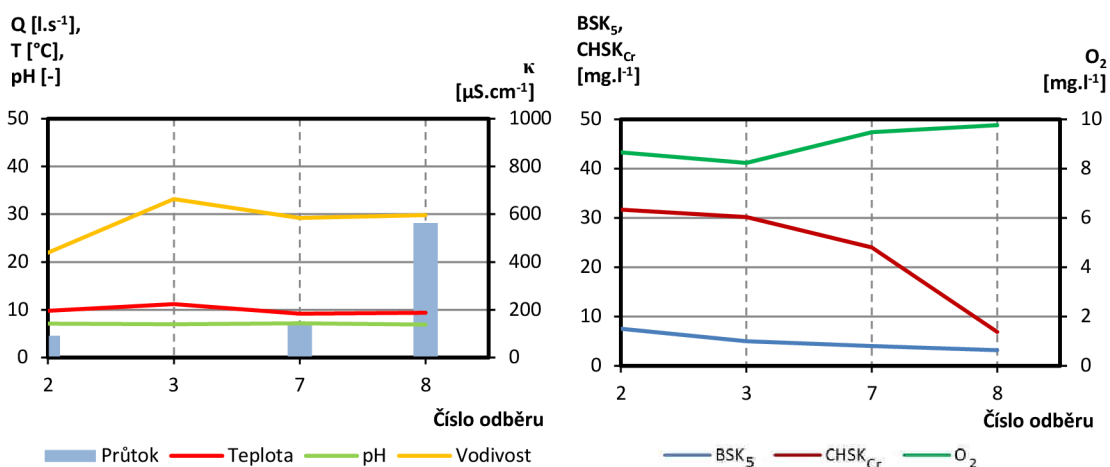
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	1,5	0,1	2,8	0,4	0,7	0,7
3	1,5	0,1	2,1	13,8	2,6	2,7
7	1,6	0,1	2,4	8,2	2,5	3,2
8	0,2	0,02	4,2	1,9	1,2	1,2



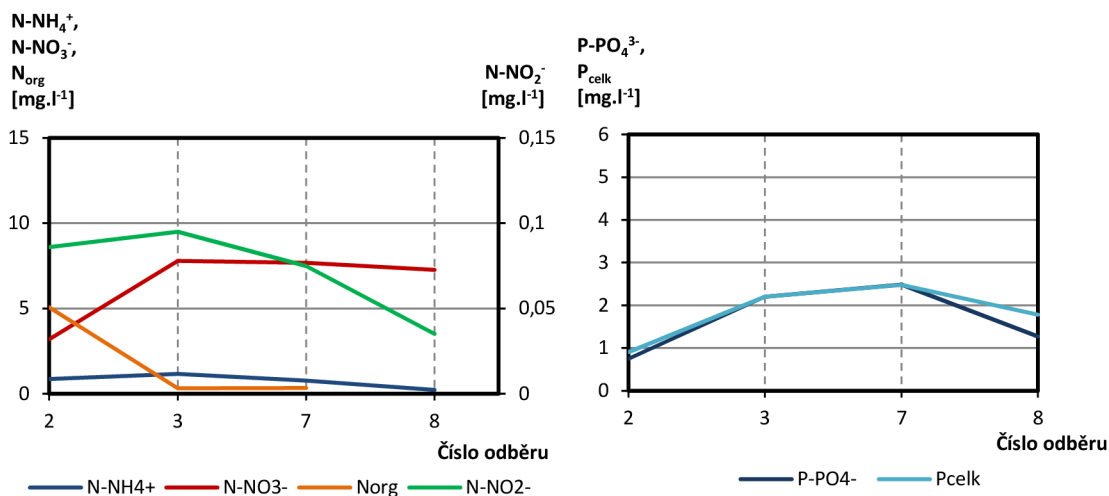
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 4).

Odběr 23. 4. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	4,6	438	9,8	7,14	7,5	32	8,66
3	-	663	11,2	7,00	5,0	30	8,23
7	7,1	584	9,2	7,19	4,0	24	9,47
8	28,2	597	9,4	6,90	3,2	7	9,76



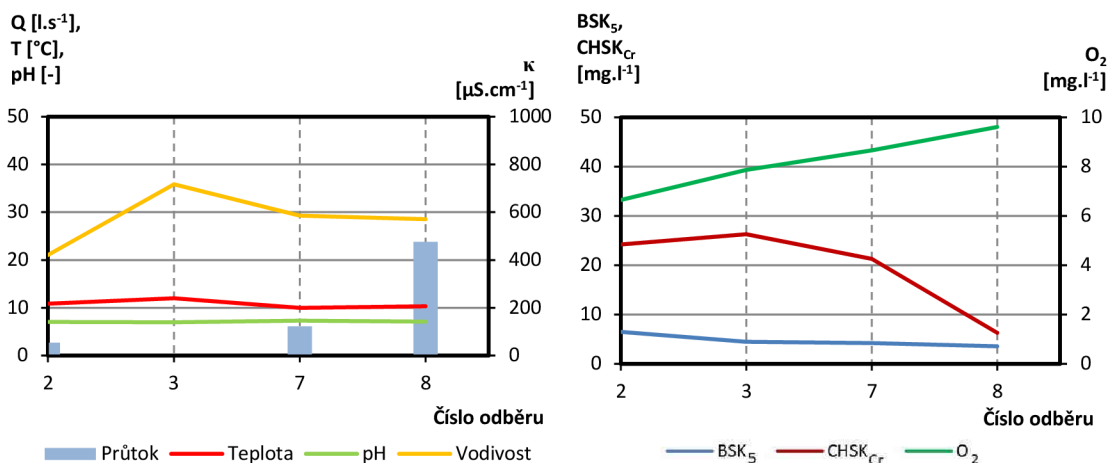
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,9	0,1	3,2	5,1	0,7	0,9
3	1,2	0,1	7,8	0,3	2,2	2,2
7	0,8	0,1	7,7	0,3	2,5	2,5
8	0,2	0,04	7,3	-	1,3	1,8



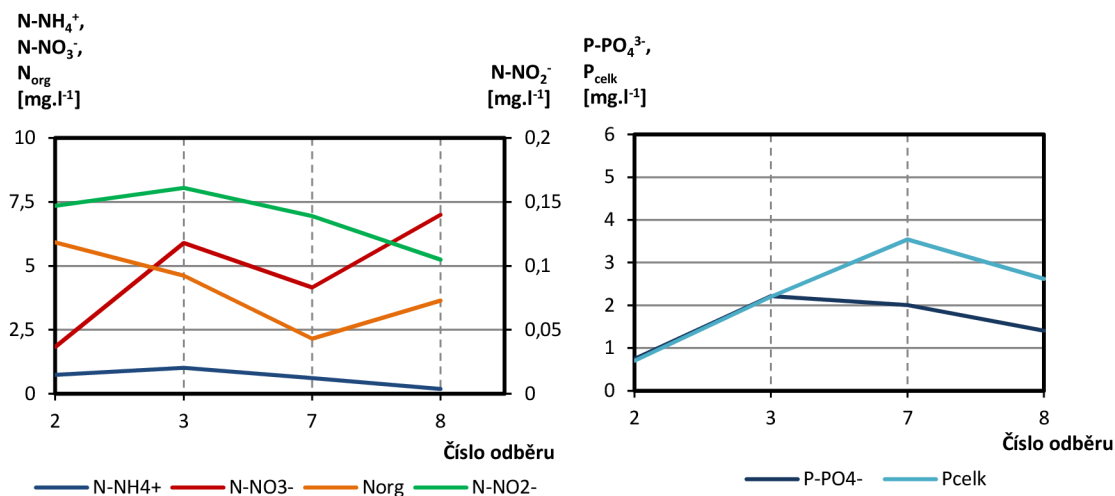
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 5).

Odběr 7. 5. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	2,7	421	10,9	7,02	6,5	24	6,64
3	-	717	12	7,00	4,5	26	7,87
7	6,1	585	10	7,32	4,2	21	8,66
8	23,8	571	10,3	7,09	3,6	6	9,60



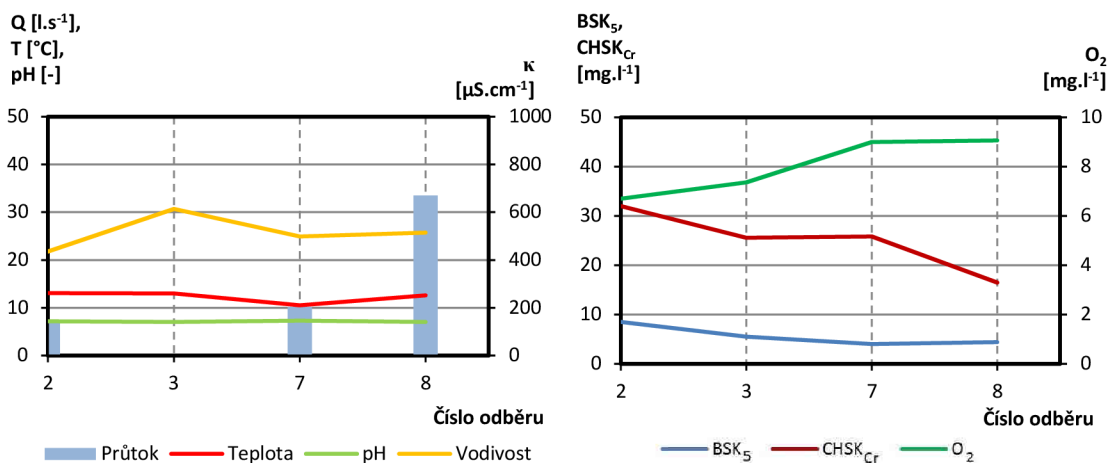
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,7	0,1	1,8	5,9	0,7	0,7
3	1,0	0,2	5,9	4,6	2,2	2,2
7	0,6	0,1	4,2	2,2	2,0	3,5
8	0,2	0,11	7,0	3,6	1,4	2,6



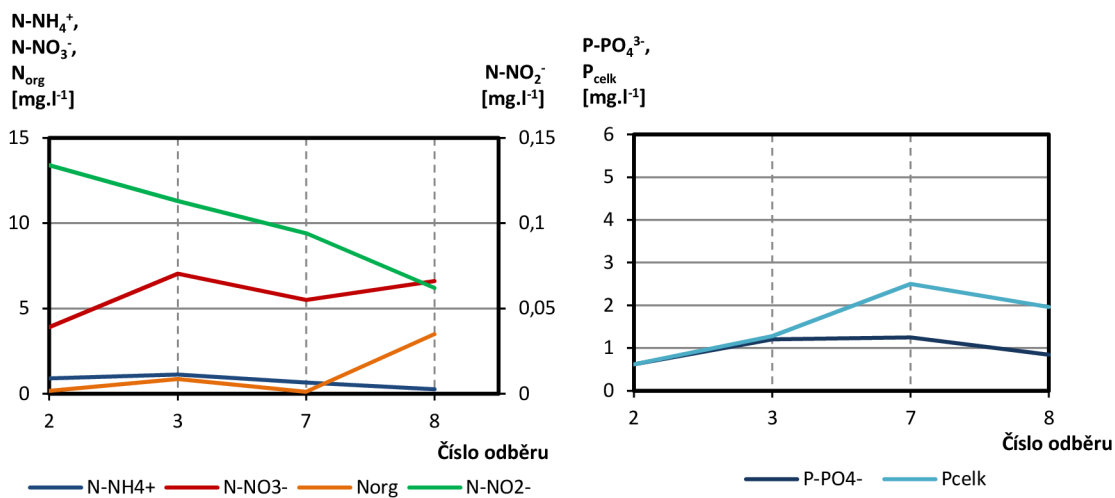
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 6).

Odběr 21. 5. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	7,3	436	13,1	7,17	8,5	32	6,7
3	-	614	13	7,04	6	26	7,36
7	10,2	498	10,5	7,32	4,0	26	9
8	33,5	515	12,6	7,06	4,4	17	9,06



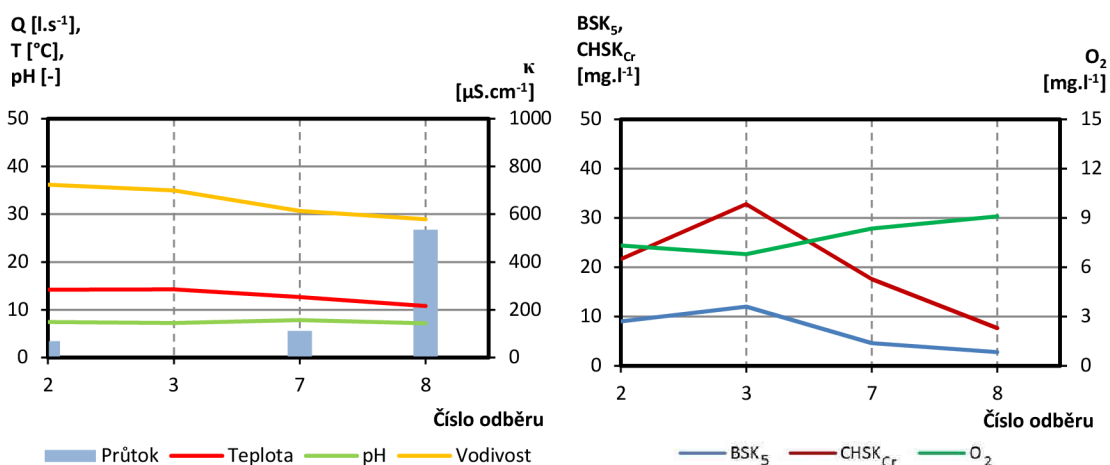
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,9	0,1	3,9	0,2	0,6	0,6
3	1,1	0,1	7,0	0,9	1,2	1,3
7	0,7	0,1	5,5	0,1	1,3	2,5
8	0,3	0,06	6,6	3,5	0,8	2,0



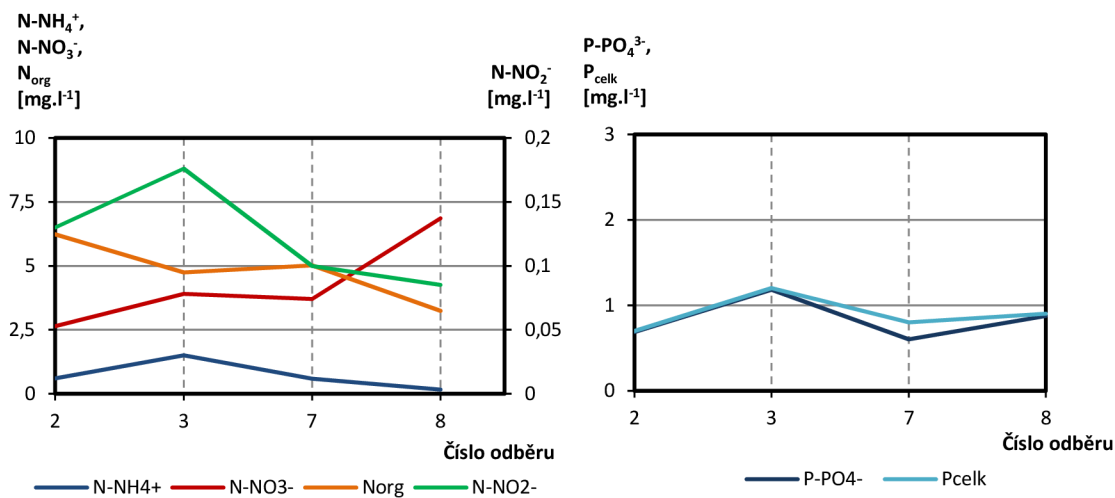
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 7).

Odběr 5. 6. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	3,4	724	14,2	7,46	9,0	22	7,32
3	-	699	14,3	7,27	12,0	33	6,80
7	5,6	614	12,7	7,88	4,6	18	8,36
8	26,8	579	10,8	7,16	2,8	8	9,10



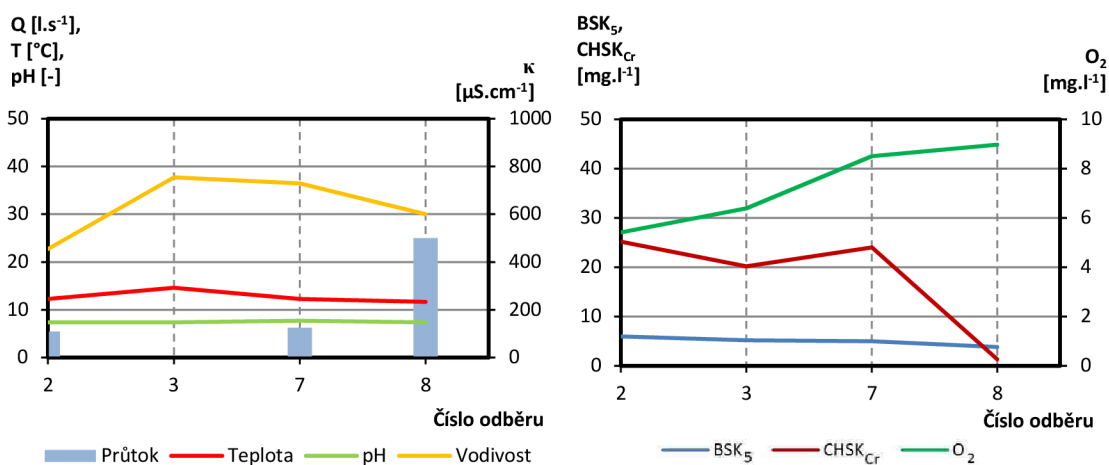
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,6	0,1	2,6	6,2	0,7	0,7
3	1,5	0,2	3,9	4,7	1,2	1,2
7	0,6	0,1	3,7	5,0	0,6	0,8
8	0,2	0,1	6,9	3,2	0,9	0,9



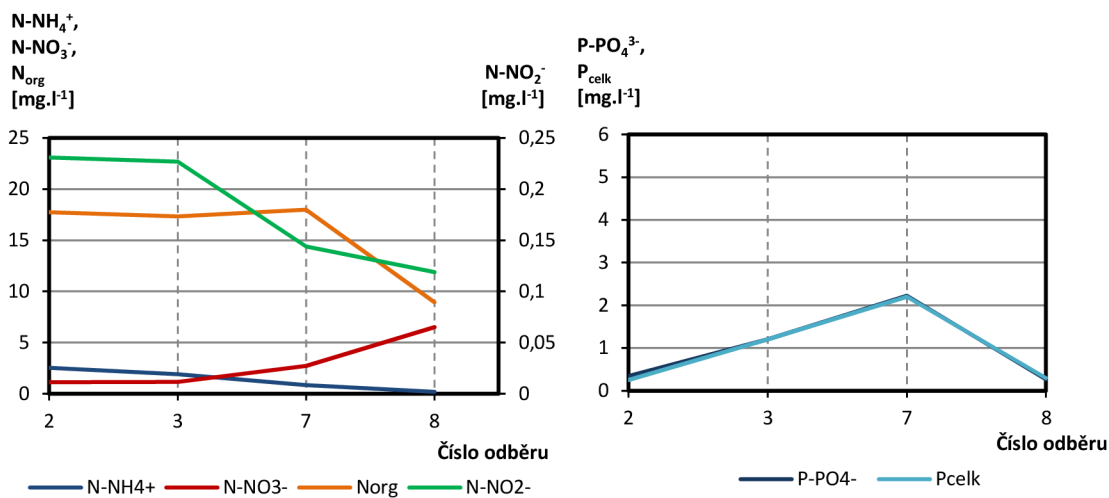
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 8).

Odběr 18. 6. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	5,5	454	12,3	7,40	6,0	25	5,41
3	-	754	14,6	7,36	5,2	20	6,38
7	6,3	729	12,3	7,69	5,0	24	8,50
8	25,0	600	11,7	7,37	3,8	1	8,97



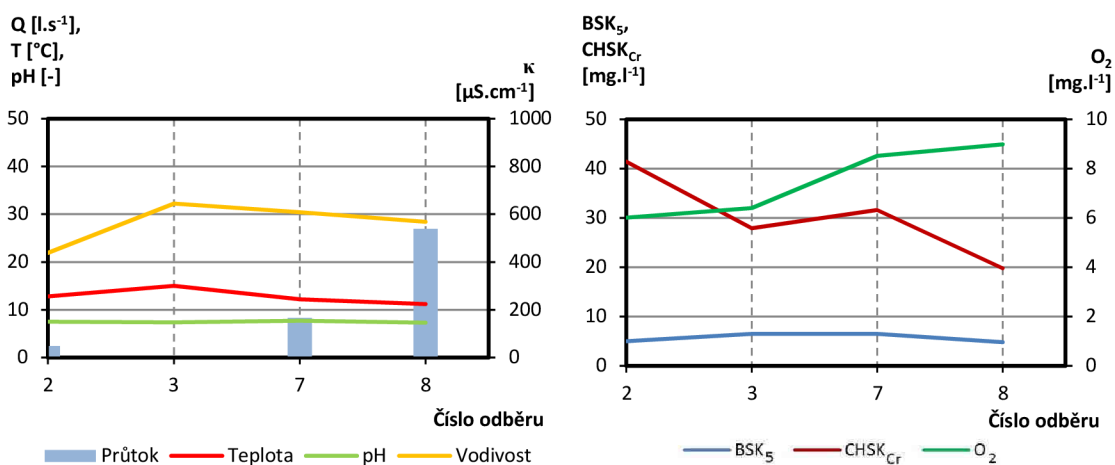
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	2,5	0,2	1,1	17,7	0,3	0,3
3	1,9	0,2	1,2	17,3	1,2	1,2
7	0,8	0,1	2,7	18,0	2,2	2,2
8	0,2	0,12	6,5	9,0	0,3	0,3



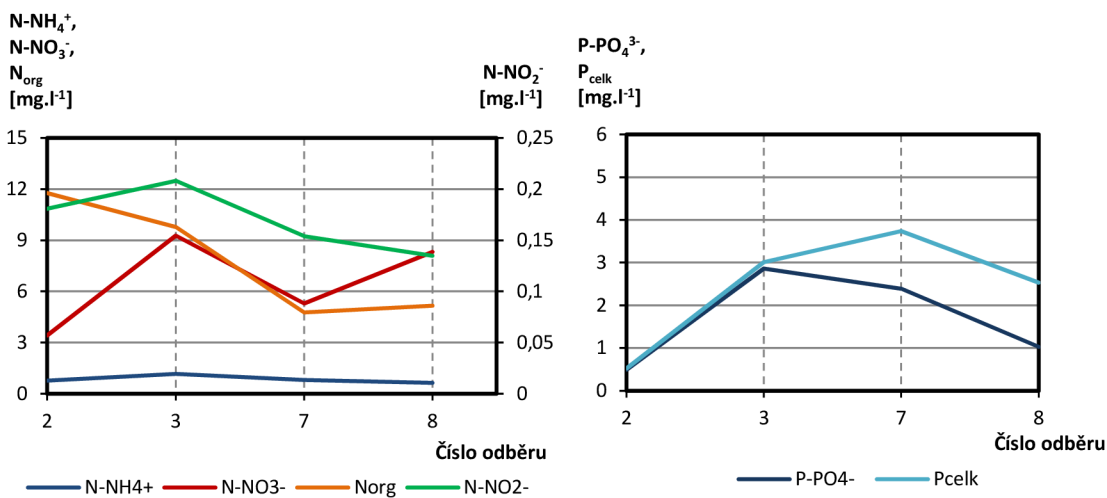
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 9).

Odběr 2. 7. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	2,4	439	12,8	7,49	5,0	41	6,01
3	-	644	15	7,37	6,5	28	6,40
7	8,4	609	12,2	7,72	6,5	32	8,52
8	27,0	568	11,2	7,32	4,8	20	8,98



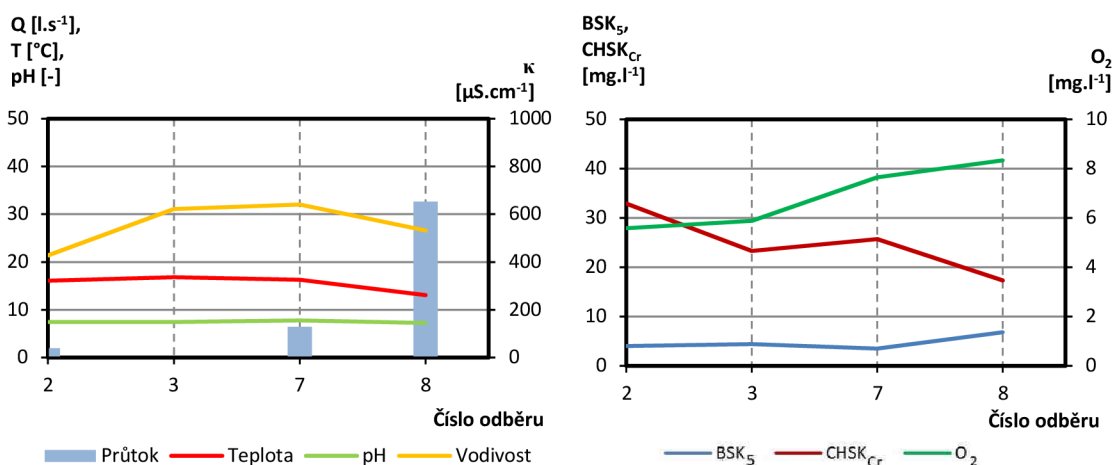
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,8	0,2	3,4	11,8	0,5	0,5
3	1,2	0,2	9,3	9,8	2,9	3,0
7	0,8	0,2	5,3	4,8	2,4	3,7
8	0,6	0,14	8,3	5,2	1,0	2,5



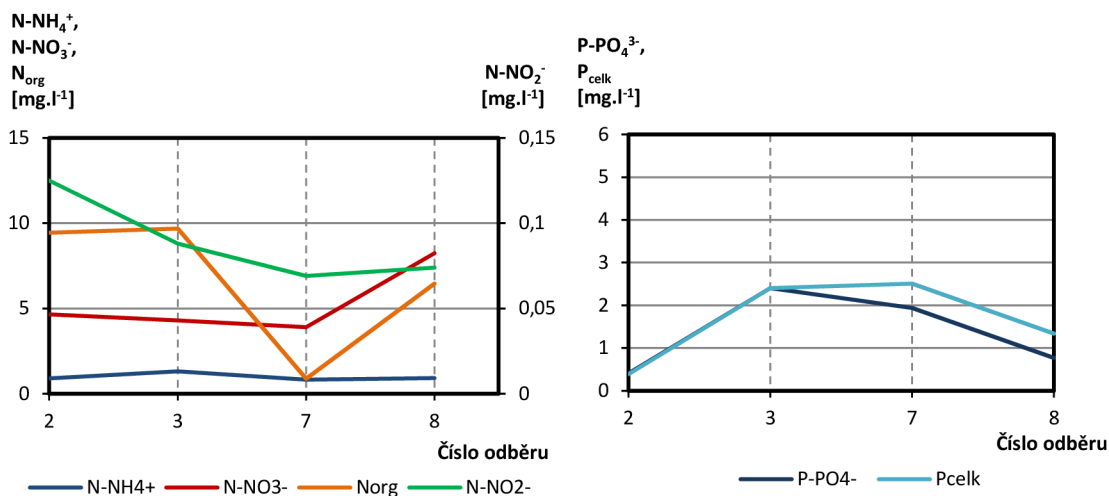
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 10).

Odběr 16. 7. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	1,9	428	16,1	7,48	4,0	33	5,58
3	-	622	16,8	7,44	4,4	23	5,88
7	6,5	640	16,3	7,80	3,5	26	7,64
8	32,6	532	13,1	7,27	6,8	17	8,33



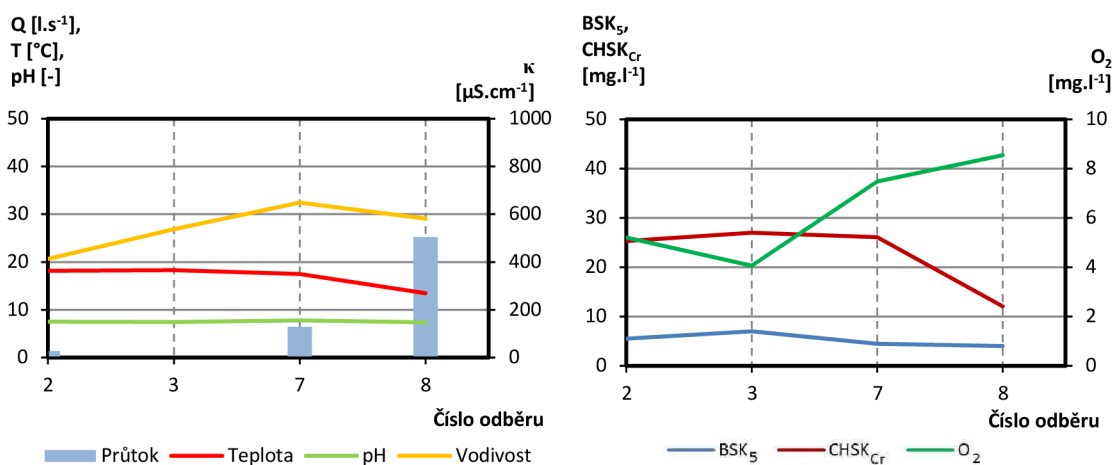
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,9	0,1	4,7	9,4	0,4	0,4
3	1,3	0,1	4,3	9,7	2,4	2,4
7	0,8	0,1	3,9	0,9	1,9	2,5
8	0,9	0,07	8,2	6,5	0,8	1,3



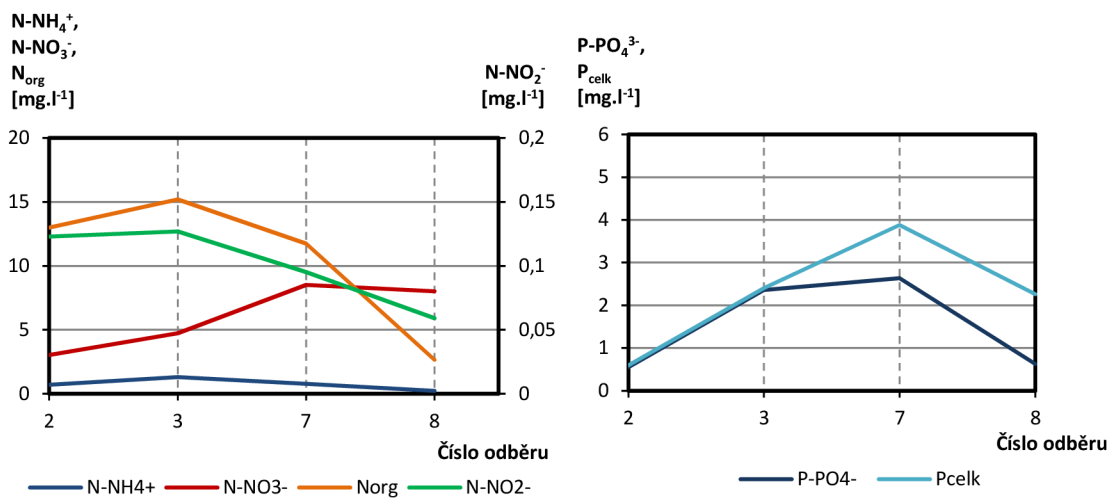
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 11).

Odběr 30. 7. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	1,4	413	18,2	7,53	5,5	25	5,21
3	-	537	18,3	7,43	7,0	27	4,06
7	6,5	648	17,5	7,78	4,5	26	7,47
8	25,2	582	13,5	7,37	4,0	12	8,54



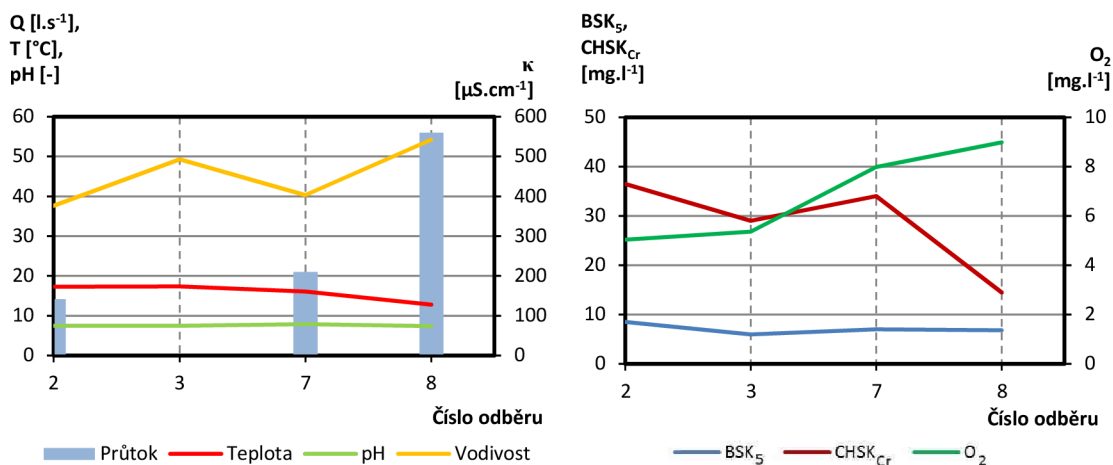
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,7	0,1	3,0	13,0	0,6	0,6
3	1,3	0,1	4,7	15,2	2,4	2,4
7	0,8	0,1	8,5	11,7	2,6	3,9
8	0,2	0,06	8,0	2,7	0,6	2,3



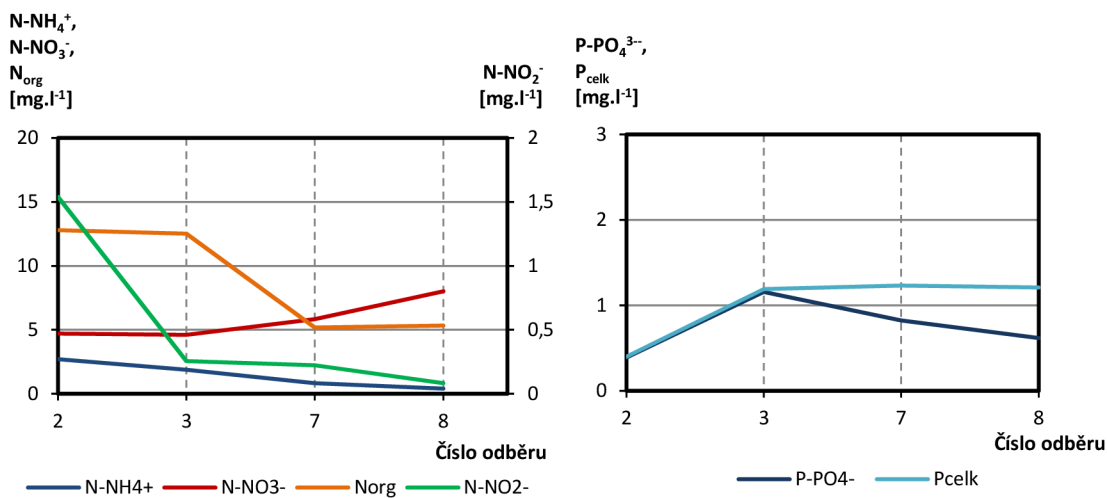
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 12).

Odběr 14. 8. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	14,1	376	17,3	7,53	8,5	37	5,04
3	-	493	17,4	7,47	6,0	29	5,36
7	21,0	403	16,1	7,87	7,0	34	7,98
8	56,0	542	12,8	7,41	6,8	15	8,98



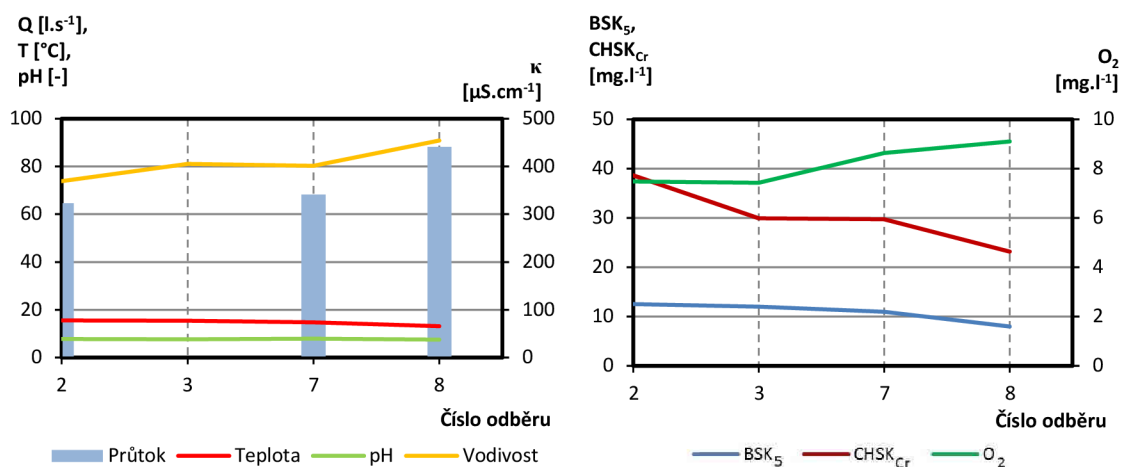
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	2,7	1,5	4,7	12,8	0,4	0,4
3	1,9	0,3	4,6	12,5	1,2	1,2
7	0,8	0,2	5,8	5,2	0,8	1,2
8	0,4	0,08	8,0	5,3	0,6	1,2



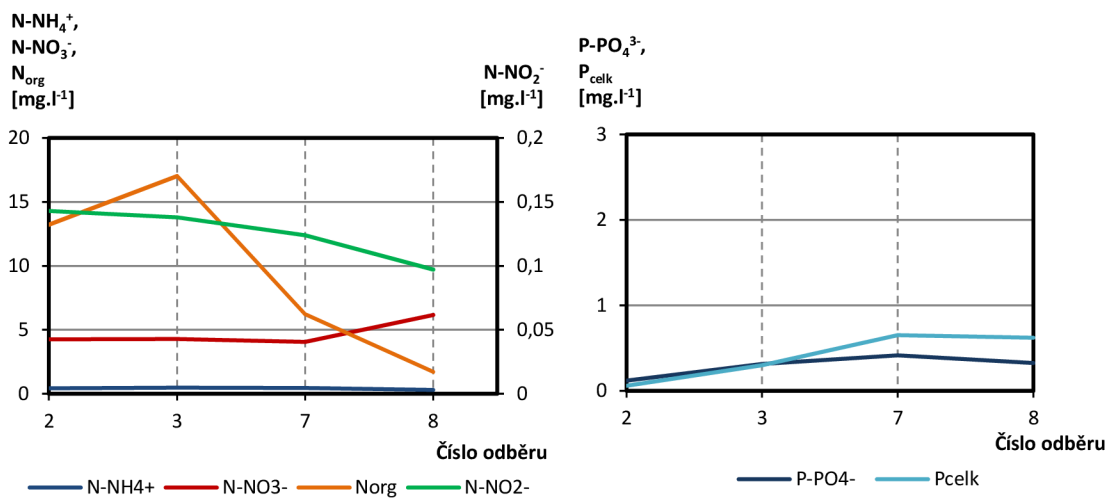
Příloha 2: Změny sledovaných parametrů při průtoku Jedovnickým potokem (část 13).

Odběr 26. 8. 2014.

Odběrné místo	Průtok [l.s ⁻¹]	κ [μS.cm ⁻¹]	Teplota [°C]	pH [-]	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	CHSK _{Cr} [mg.l ⁻¹]	O ₂ [mg.l ⁻¹]
2	64,7	369	15,6	7,75	12,5	39	7,47
3	-	405	15,4	7,63	12,0	30	7,42
7	68,2	401	14,8	7,88	11,0	30	8,63
8	88,2	454	13,2	7,60	8,0	23	9,10



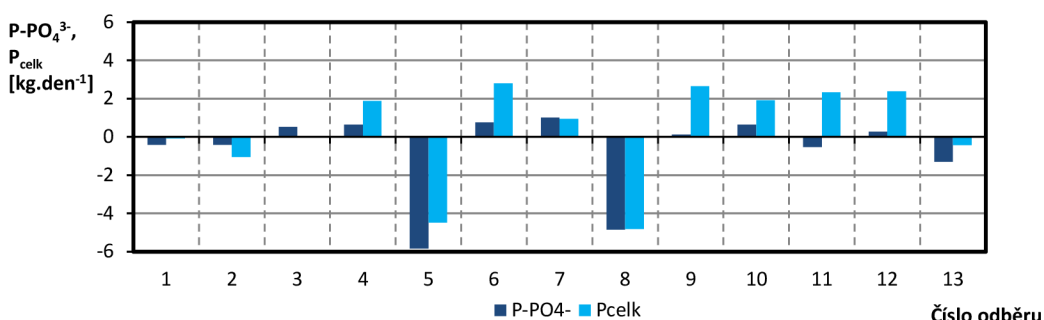
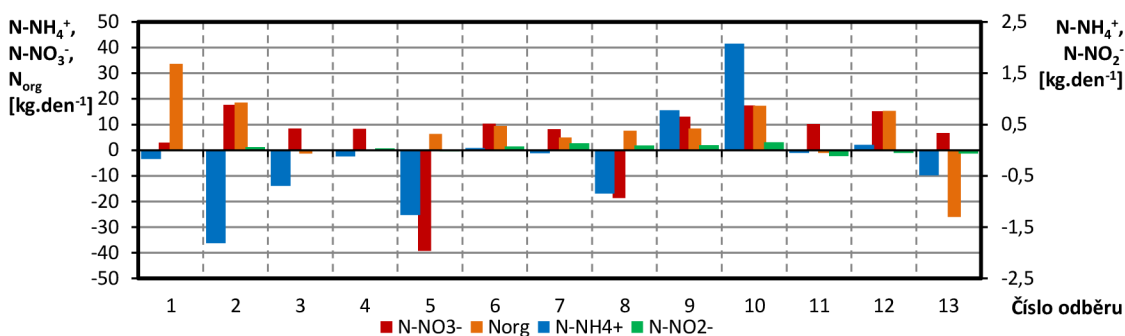
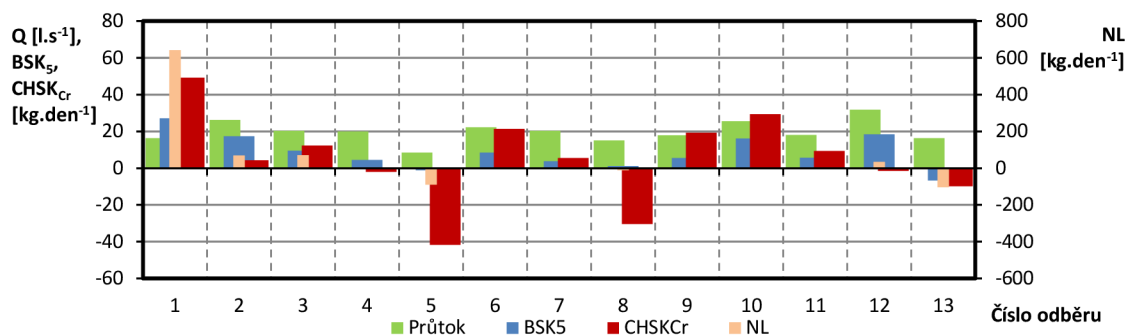
Odběrné místo	N-NH ₄ ⁺ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N-NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	N _{org} [mg.l ⁻¹]	P-PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	P _{celk} [mg.l ⁻¹]
2	0,4	0,1	4,3	13,2	0,1	0,1
3	0,5	0,1	4,3	17,0	0,3	0,3
7	0,4	0,1	4,1	6,2	0,4	0,7
8	0,3	0,10	6,2	1,7	0,3	0,6



Příloha 3: Bilance polutantů při průtoku jeskynním systémem Rudické propadání – Býčí skála.

Rozdíl vypočteného hmotnostního toku po soutoku Rudického a Jedovnického potoka (odběrná místa 6 a 7) a skutečně naměřeného ve vývěru Josefov (odběrné místo 8).

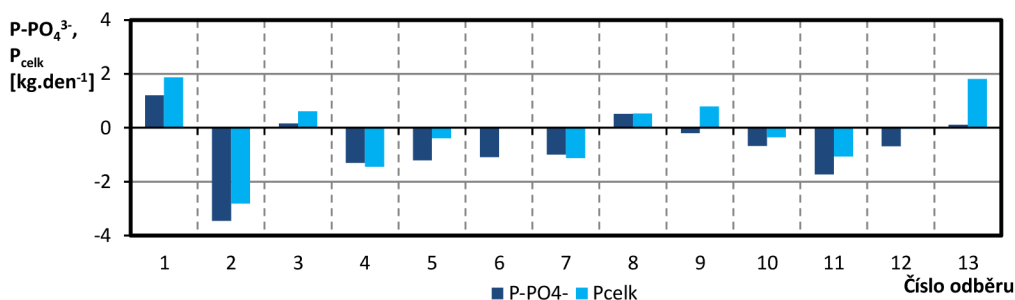
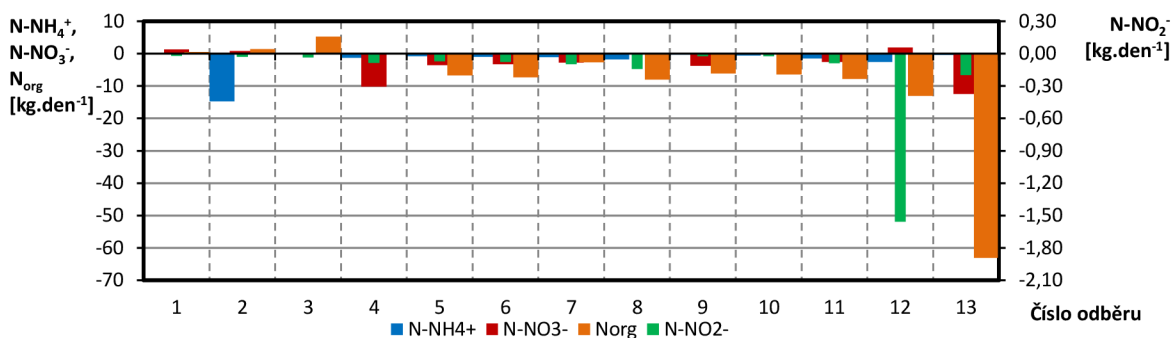
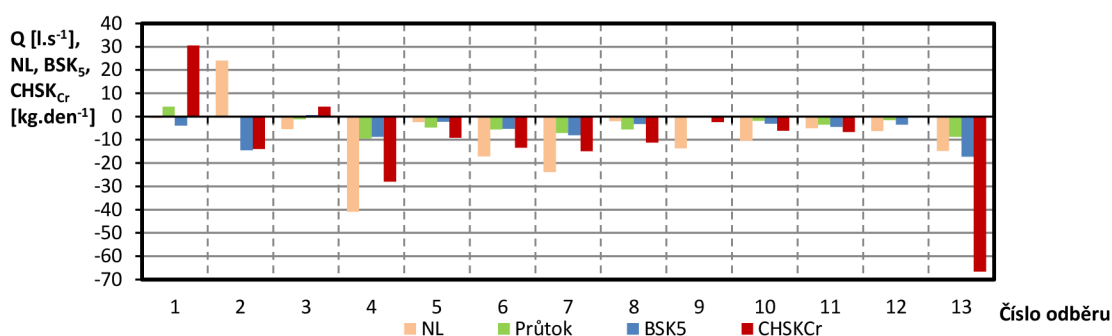
Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Průtok [l.s ⁻¹]	16,4	26,2	20,3	20,0	8,4	22,3	20,4	15,1	17,9	25,6	18,1	31,8	16,4
Polutant [kg.den ⁻¹]													
NL	641,81	69,64	71,18	2,21	-90,35	3,51	1,37	-10,44	2,69	0,19	1,35	33,68	-104,30
CHSK _{Cr}	49,29	4,30	12,25	-2,00	-41,70	21,27	5,55	-30,35	19,29	29,31	9,32	-1,49	-9,83
BSK ₅	27,16	17,31	9,44	4,45	-1,19	8,43	3,76	1,14	5,52	16,13	5,66	18,43	-6,67
N-NH ₄ ⁺	-0,17	-1,81	-0,70	-0,12	-1,26	0,04	-0,06	-0,85	0,78	2,08	-0,05	0,10	-0,49
N-NO ₂ ⁻	0,01	0,06	0,01	0,03	-0,02	0,07	0,14	0,09	0,10	0,16	-0,11	-0,05	-0,06
N-NO ₃ ⁻	2,98	17,67	8,45	8,33	-39,18	10,28	8,20	-18,57	13,05	17,48	10,20	15,14	6,73
N _{org}	33,59	18,61	-1,24	-	6,35	9,46	4,95	7,52	8,47	17,28	-1,08	15,29	-26,00
P-PO ₄ ³⁻	-0,41	-0,41	0,52	0,63	-5,84	0,75	1,01	-4,86	0,11	0,64	-0,53	0,27	-1,30
P _{celk}	-0,08	-1,06	0,03	1,87	-4,48	2,80	0,94	-4,82	2,64	1,91	2,32	2,37	-0,43



Příloha 4: Bilance polutantů při průtoku Jedovnickým potokem od ČOV Jedovnice po soutok s Rudickým potokem.

Rozdíl vypočteného hmotnostního toku za vyústěním odtoku z ČOV do Jedovnického potoka (odběrná místa 1 a 2) a skutečně naměřeného před propadáním (odběrné místo 7).

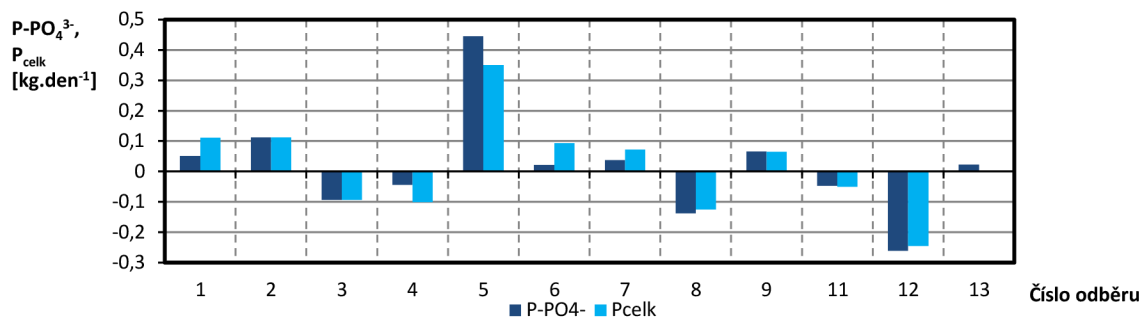
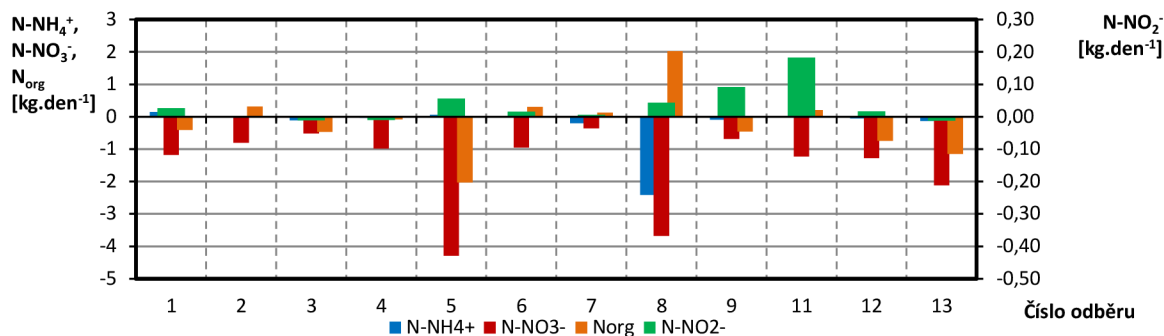
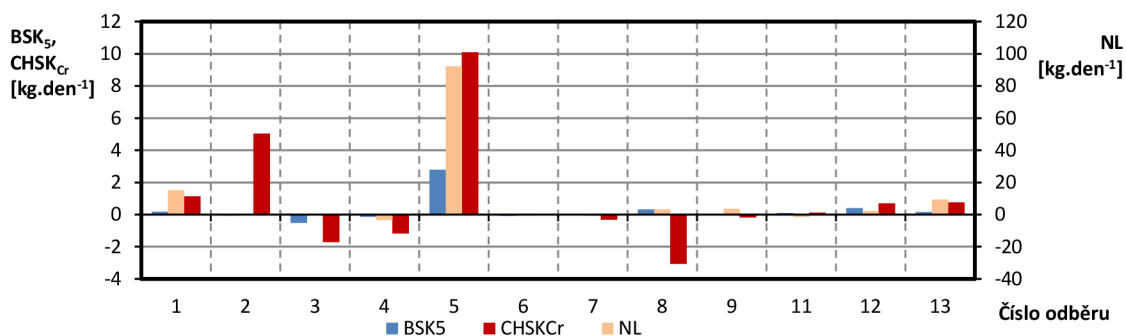
Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Průtok [l.s ⁻¹]	4,2	0,2	-1,1	-9,4	-4,7	-5,6	-7,1	-5,5	0,1	-1,8	-3,4	-1,5	-8,7
Polutant [kg.den ⁻¹]													
NL	-0,52	24,10	-5,41	-40,89	-2,34	-17,13	-23,85	-1,89	-13,60	-10,32	-5,00	-6,21	-14,77
CHSK _{Cr}	30,54	-13,95	4,29	-27,99	-9,18	-13,32	-14,90	-11,24	-2,35	-6,03	-6,64	0,19	-66,56
BSK ₅	-3,92	-14,53	0,69	-8,73	-2,24	-5,20	-8,02	-3,17	-0,37	-3,06	-4,38	-3,49	-17,17
N-NH ₄ ⁺	-0,15	-14,70	-0,20	-1,25	-0,72	-0,94	-1,10	-1,73	-0,24	-0,61	-1,45	-2,55	-0,34
N-NO ₂ ⁻	-0,02	-0,03	-0,03	-0,08	-0,07	-0,08	-0,10	-0,14	-0,02	-0,02	-0,09	-1,56	-0,20
N-NO ₃ ⁻	1,31	0,84	-0,08	-10,18	-3,55	-3,22	-2,73	0,28	-3,73	0,11	-2,54	1,93	-12,46
N _{org}	0,51	1,45	5,25	-	-6,70	-7,29	-2,61	-7,97	-6,08	-6,41	-7,77	-13,01	-63,10
P-PO ₄ ³⁻	1,21	-3,45	0,16	-1,30	-1,21	-1,09	-1,00	0,51	-0,20	-0,67	-1,72	-0,69	0,11
P _{celk}	1,87	-2,81	0,61	-1,44	-0,39	0,02	-1,12	0,53	0,79	-0,35	-1,06	-0,04	1,81



Příloha 5: Bilance polutantů při průtoku Rudickým potokem.

Rozdíl hmotnostního toku na výtoku z ČOV Rudice (odběrné místo 4 – 24h slévaný vzorek) a hmotnostního toku za první přehrážkou (odběrné místo 6).

Číslo odběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum odběru	12.3.2014	26.3.2014	9.4.2014	23.4.2014	7.5.2014	21.5.2014	5.6.2014	18.6.2014	2.7.2014	16.7.2014	30.7.2014	14.8.2014	26.8.2014
Průtok [l.s ⁻¹]	4,2	0,2	-1,1	-9,4	-4,7	-5,6	-7,1	-5,5	0,1	-1,8	-3,4	-1,5	-8,7
Polutant [kg.den ⁻¹]													
NL	15,21	0,00	-0,32	-3,30	92,21	-0,51	-0,86	3,12	3,63	-	-1,39	2,18	9,46
CHSK _{Cr}	1,14	5,03	-1,72	-1,18	10,09	0,01	-0,31	-3,06	-0,18	-	0,11	0,71	0,76
BSK ₅	0,19	-0,07	-0,52	-0,14	2,78	-0,09	0,00	0,31	0,00	-	0,11	0,41	0,16
N-NH ₄ ⁺	0,14	0,01	-0,11	-0,03	0,06	-0,02	-0,20	-2,41	-0,09	-	0,01	-0,05	-0,13
N-NO ₂ ⁻	0,03	0,00	-0,01	-0,01	0,06	0,02	0,01	0,04	0,09	-	0,18	0,02	-0,01
N-NO ₃ ⁻	-1,18	-0,80	-0,51	-0,98	-4,29	-0,95	-0,36	-3,68	-0,69	-	-1,23	-1,28	-2,11
N _{org}	-0,41	0,31	-0,47	-0,08	-2,02	0,30	0,12	2,02	-0,46	-	0,21	-0,74	-1,15
P-PO ₄ ³⁻	0,05	0,11	-0,09	-0,04	0,45	0,02	0,04	-0,14	0,07	-	-0,05	-0,26	0,02
P _{celk}	0,11	0,11	-0,09	-0,10	0,35	0,09	0,07	-0,12	0,06	-	-0,05	-0,24	0,00



SUMMARY

On the basis of this study, it was proven that the outlets from WWTPs have a negative impact on observed streams. That is mostly because of the increased concentration of total nitrogen, particularly N-NH_4^+ and N-NO_3^- , and phosphorus. Moreover, conductivity and the concentration of suspended solids are increased. It can be concluded that the WWTP Jedovnice is more effective than WWTP Rudice. Nevertheless WWTP Jedovnice let out multiple higher volume of water and therefore its impact is increasing. It was also observed, that the water quality in the stream, before it reaches WWTP Jedovnice, is exceeding the environmental quality limits in several parameters. This can be caused by processes that take place in the ponds upstream and due to illegal discharge of sewage waters.

It was found that in the cavity system Rudické propadání – Býčí skála the water flow increased and the temperature change. The water quality here is improved. According to the average values, the concentration of oxygen is increased and the COD_{Cr} and phosphorus are decreased here. However, it could be observed that N-NO_3^- is increased, exceeding the environmental quality limits. Apparently, the underground stream has quite good self-cleaning ability. Increased values of N-NO_3^- can be the products of nitrification but the results could be influenced by underground tributaries and by the flow delay in the caves.

Measured values from the WWTPs outflow were not exceeding the maximum limits of suspended soils compare to the government regulation number 23/2011 Sb. The sludge sedimentation was observed in the streams, especially after the WWTP Rudice. This indicates a leakage of high amount of suspended soils, probably during higher flows at waste water treatment plant. From the observed parameters, suspended soils have the most significant impact to the cave system. They can silt up the cavities resulting in decomposition of organic matter which affect the air and water quality in the caves. Due to this the Environmental law, which prohibits destruction and damage of the caves, is violated. Therefore it must be dealt with this situation as soon as possible, especially because it is a nature protected area and a natural heritage.

To improve the water quality in observed streams new WWTP needs to be built in Rudice or the wastewater can be pumped to WWT Jedovnice. It is recommended to separate the sewer in wastewater and drain water collection. It is also important to deal with the situation in the stream before it reaches the karst area. In this case it is mostly a reduction of eutrophication in the ponds through which the water flows.