

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Chemie životního prostředí



Bc. Kateřina Petříková

Sledování jakosti vody v povodí Stropnice

Monitoring of water quality in the river Strpnice

Diplomová práce

Školitel: prof. RNDr. Eva Tesařová CSc.

Praha, 2014

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 20. 4. 2014

Kateřina Petříková

Ráda bych poděkovala paní prof. RNDr. Evě Tesařové CSc. za vedení, pomoc, čas a podporu v průběhu mé diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Janu Langhansovi za umožnění vypracování diplomové práce v laboratořích Povodí Vltavy v Českých Budějovicích, za čas, který mi věnoval a odborné konzultace. Ještě bych chtěla poděkovat členům laboratoře Povodí Vltavy v Českých Budějovicích za pomoc při praktické části vypracování diplomové práce.

Klíčová slova

Stropnice, jakost vody, analýza vod, biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech, chemická spotřeba kyslíku, dusičnanový dusík, amoniakální dusík, celkový fosfor

Key words

river Stropnice, water quality, analysis of water, biochemical oxygen consumption in five days, chemical oxygen consumption, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, total phosphorus

Abstrakt

Pro sledování jakosti vody v povodí řeky Stropnice bylo vybráno pět ukazatelů, konkrétně biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech, chemická spotřeba kyslíku stanovovaná dichromanovou metodou, dusičnanový dusík, amoniakální dusík a celkový fosfor. Na čtyřech zvolených místech po toku Stropnice (Údolí, Štíptoň, Radostice a Pašínovice) byly prováděny odběry jednou měsíčně po dobu celého roku 2013. Dvakrát do roka se také odebíraly vzorky na odtocích čistíren odpadních vod. Výsledky ukazují, že přestože v průběhu roku dochází k určitým změnám hodnot jednotlivých parametrů, především byl pozorován nárůst hodnot spotřeb kyslíku a celkového fosforu v letních měsících, nedošlo na žádném odběrovém profilu ani u jednoho ukazatele k výraznějším fluktuacím. Jednotlivé ukazatele řadí vodu do II. – IV. jakostní třídy.

V rámci dlouhodobějšího sledování od roku 2008 byly vyhodnoceny průměrné roční hodnoty a charakteristické hodnoty, tj. hodnoty parametru s pravděpodobností nepřekročení 90%, v jednotlivých letech. Ukázalo se, že ani v tomto případě nedochází k výrazným změnám v jakosti vody vzhledem k měřeným ukazatelům.

Abstract

Five indicators of water quality, namely biochemical oxygen consumption in five days, chemical oxygen consumption by dichromate method, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and total phosphorus, were determined in the river Stropnice. The samples were monitored at four offtake places along the river monthly during the year 2013. Twice a year water samples were analyzed also from the discharge of the wastewater treatment plants. The results show that some changes of the individual parameters can be traced during the year, such as increase of oxygen consumption and total phosphorus in the summer months. However, no significant fluctuation was indicated for the measured parameters at any of the offtake places. Based on the values of the individual parameters water in Stropnice can be ranked to quality classes II. – IV.

In the long-term frame of water quality examination from the year 2008 average indicators' values and characteristic values were determined. The results revealed that neither in this case substantial changes of water quality regarding the measured indicators can be observed.

Obsah

Abstrakt.....	4
Abstract.....	4
Seznam zkratek	7
1. ÚVOD	8
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1. Státní podnik Povodí Vltavy	9
2.1.1. Laboratoře povodí Vltavy	9
2.2. Stropnice	10
2.3. Obecné složení vod	12
2.3.1. Anorganické látky	12
2.3.2. Organické látky	13
2.4. Druhy vod	14
2.4.1. Odpadní vody	14
2.5. Sledované prvky	15
2.5.1. Dusík	15
2.5.2. Fosfor	17
2.6. Analýza vod	19
2.6.1. Historie analýzy vod	19
2.6.2. Biochemická spotřeba kyslíku	19
2.6.3. Chemická spotřeba kyslíku	21
2.6.4. Dusičnanový dusík.....	22
2.6.5. Amoniakální dusík.....	23
2.6.6. Celkový fosfor	23
2.7. Legislativa.....	25
2.8. Jakost vody	27
2.8.1. Pět tříd jakosti vody	27
2.8.2. Charakteristická hodnota – c90.....	28

2.9. Čistírny odpadních vod.....	30
2.9.1. Biologické procesy.....	30
2.9.2. ČOV na Stropnici.....	32
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	35
3.1. Stanovení biochemické spotřeby kyslíku po pěti dnech	35
3.2. Stanovení chemické spotřeby kyslíku.....	38
3.3. Stanovení dusičnanového dusíku.....	39
3.4. Stanovení amoniakálního dusíku	40
3.5. Stanovení celkového fosforu.....	41
4. VÝSLEDKY A DISKUZE	42
4.1. Sledování jakosti vody ve Stropnici v roce 2013.....	42
4.1.1. Biochemická spotřeba kyslíku	42
4.1.2. Chemická spotřeba kyslíku	44
4.1.3. Dusičnanový dusík.....	45
4.1.4. Amoniakální dusík.....	46
4.1.5. Celkový fosfor	47
4.1.6. Celkový přehled na celém toku za rok 2013.....	48
4.1.7. Odpadní vody za rok 2013.....	49
4.1.8. Zhodnocení výsledků v roce 2013	50
4.2. Sledování jakosti vody ve Stropnici v letech 2008 – 2013	52
4.2.1. Odběrový profil Údolí.....	52
4.2.2. Odběrový profil Štiptoň	57
4.2.3. Odběrový profil Radostice	62
4.2.4. Odběrový profil Pašínovice	66
4.2.5. Zhodnocení výsledků ve sledovaném období 2008 – 2013	71
5. ZÁVĚR	73
Literatura.....	74

Seznam zkratek

ČOV – čistírna odpadních vod

BSK₅ – biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech

CHSK_{Cr} – chemická spotřeba kyslíku dichromanovou metodou

CHSK_{Mn} – chemická spotřeba kyslíku manganistanovou metodou

N-NO₃⁻ - dusičnanový dusík

N_{amon} – amoniakální dusík

P_c – celkový fosfor

ČSN – česká státní norma

c90 – charakteristická hodnota

NEK-RP – norma environmentální kvality vody roční průměr

TOC – celkový organický uhlík

DOC – rozpuštěný organický uhlík

ČIA – český institut pro akreditaci

FRA – flexibilní rozsah akreditace

EO – ekvivalentní obyvatel

ISE – iontově selektivní elektroda

1. ÚVOD

Řeka Stropnice se nachází na jihu Čech, její vodu sleduje laboratoř Povodí Vltavy již řadu let. Je sledována ve čtyřech profilech – Údolí, Štíptůň, Radsotice a Pašínovice. Odběry s následnou analýzou jsou prováděny každý měsíc po celý rok. Dále se dvakrát do roka odebírají vzorky na odtoku z čistíren odpadních vod Horní Stropnice, Nové Hrady a Borovany.

Prvním cílem této práce bylo sledování jakosti vody ve Stropnici v průběhu roku 2013. Druhým cílem bylo ze získaných dat z Povodí Vltavy zjistit změny jakosti vody v toku od roku 2008, tedy za posledních šest let.

Ukazatelé, které byly hodnoceny, jsou biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech, chemická spotřeba kyslíku dichromanem, dusičnanový dusík, amoniakální dusík a celkový fosfor. Podle zjištěných hodnot byly jednotlivým odběrovým profilům přiřazeny jakostní třídy.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Státní podnik Povodí Vltavy

Na území o celkové rozloze 28 708 km² spravuje Povodí Vltavy, státní podnik, více než 23 000 km vodních toků v hydrologickém povodí řeky Vltavy a v dalších vymezených hydrologických povodích, z toho je 5 470 km významných vodních toků, téměř 12 000 km určených drobných vodních toků a dalších téměř 6 500 km neurčených drobných vodních toků.¹ Dále má právo hospodařit se 116 vodními nádržemi, z toho je 31 významných vodních nádrží, 20 plavebními komorami na Vltavské vodní cestě, 47 pohyblivými a 292 pevnými jezy a 19 malými vodními elektrárnami.

2.1.1. Laboratoře povodí Vltavy

Vodohospodářské laboratoře Povodí Vltavy, státní podnik, získávají aktuální informace o stavu vodního prostředí a systematickým způsobem monitorují jeho změny. Laboratoře mají sídlo v Praze, v Plzni a v Českých Budějovicích.¹ Hlavní část kapacity laboratoří je věnována pravidelnému monitorování jakosti tekoucích a stojatých povrchových vod (řeky, potoky, nádrže), kontrole vypouštěných odpadních vod, monitorování obsahu škodlivin v sedimentech a plaveninách. Pro účely stanovení ekologického stavu laboratoře provádějí monitorování jednotlivých biologických složek a zjišťují stav jejich kontaminace. Útvar vodohospodářských laboratoří také provádí základní radiochemická stanovení ve vodě. Část kapacity laboratoří je k dispozici pro zakázky externích zákazníků.

Laboratoře mají zavedený a propracovaný systém kontroly kvality dle ČSN EN ISO/IEC 17025.¹ Každá z laboratoří je akreditována u Českého institutu pro akreditaci (ČIA), na velkou část svých metod mají laboratoře přiznán flexibilní rozsah akreditace (FRA). Pro měření obsahu přírodních radionuklidů ve vodě mají laboratoře povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

Laboratoře disponují moderní laboratorní a vzorkovací technikou.¹ Používají osvědčené a progresivní analytické postupy, mají zavedený systém interní specializace. V rámci tohoto systému jsou vzorky pro některá stanovení předávány mezi jednotlivými laboratořemi.

2.2. Stropnice

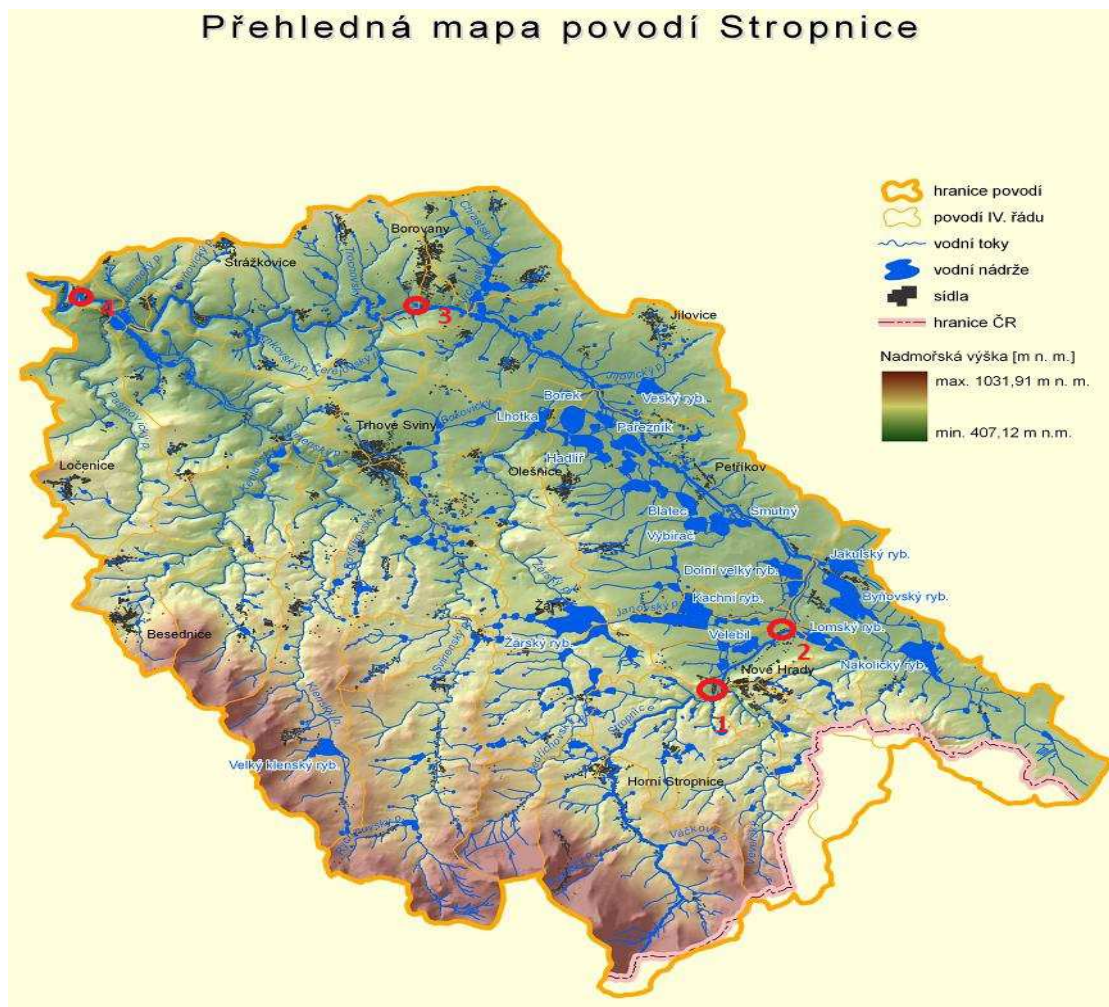
Řeka Stropnice se nachází v Jižních Čechách na Českobudějovicku a je největším a nejvýznamnějším pravostranným přítokem řeky Malše, do které se vlévá u obce Doudleby na říčním kilometru 16,65 v nadmořské výšce 412,45 m. Pramení na hranicích České republiky a Rakouska v Novohradských horách v nadmořské výšce 812,89 m. Od pramene teče severním směrem až k Novým Hradům, za kterými se její tok stáčí na severozápad. Zde vede její tok přírodním parkem Terčino údolí. Za Novými Hradý napájí řadu rybníků. Před soutokem s Malší mezi Římovem a Doudleby se do ní vlévá zleva Svinenský potok.^{2,3}

Svinecký potok je jejím největším přítokem, je dlouhý 34,07 km. V povodí Stropnice se nachází 929 vodních ploch s celkovou rozlohou 1064,11 ha. Největší jsou Žárský rybník a Byňovský rybník. Správcem povodí je Povodí Vltavy, státní podnik. Největším vodním dílem na toku je přehradní nádrž Humenice ležící na říčním kilometru 47,042.² Celý tok Stropnice je dlouhý od pramene až k soutoku 54 km, odvádí vodu z území o výměře 397 km².²

Řeka Stropnice je sledována pravidelnými měsíčními odběry ve čtyřech profilech, které jsou znázorněny na obrázku 1:

1. Údolí - říční kilometr 42,8
2. Štiptoň - říční kilometr 39,32
3. Radostice (Borovany pod) – říční kilometr 15,7
4. Pašínovice – říční kilometr 3,55

Přehledná mapa povodí Stropnice



Obrázek 1: Vyznačené odběrové profily na řece Stropnici. 1 - Údolí, 2 – Štipton, 3 – Radostice, 4 - Pašínovice

Další odběry jsou prováděny na odtoku z čistíren odpadních vod dvakrát do roka.

2.3. Obecné složení vod

Voda vyskytující se v přírodě není chemicky čistá.⁴ Vždy obsahuje rozpuštěné plyny a rozpuštěné a nerozpuštěné anorganické a organické látky. Některé látky přijímá již v atmosféře, ale k jejímu hlavnímu obohacování rozpuštěnými látkami dochází při infiltraci půdou a horninami.

Látky obsažené ve vodách se z chemického hlediska dělí na anorganické a organické.⁴ Z fyzikálního hlediska mohou být přítomné buď v pravých roztocích jako iontové rozpuštěné látky (elektrolyty), nebo jako neiontové rozpuštěné látky (neelektrolyty), popřípadě jako látky nerozpuštěné (neusaditelné, usaditelné a vzplývavé).

2.3.1. Anorganické látky

Mezi rozpuštěné kationty patří zejména vápník, hořčík, sodík a draslík, z aniontů hydrogenuhličitanů, sírany, chloridy a dusičnany.⁴ Všechny tyto látky patří do základního složení přírodních vod a musí se s nimi počítat při všech hmotnostních a látkových bilancích.

Mezi neiontové rozpuštěné látky patří zejména sloučeniny křemíku a u minerálních vod i sloučeniny boru a dále rozpuštěné plyny, z nichž nejvýznamnější je kyslík a oxid uhličitý.⁴

Přírodní vody obsahují jen malé množství organických látek (s výjimkou vod z rašelinišť), které mohou být přítomny jak v iontové, tak v neiontové formě.⁴

Z dalších složek, které se v přírodních vodách obvykle stanovují, ale jsou přítomné v tak malých koncentracích, že se do základních hmotnostních a látkových bilancí již nezahrnují, přicházejí v úvahu z kationtů kation amonný a některé kovy (Fe, Mn, Al) a z aniontů dusičnany, dusitany, fosforečnany, fluoridy a případně iontové formy sulfanu.⁴

Anorganické látky se vyskytují ve vodách v rozličných formách, které mají rozdílné fyzikální, chemické i biologické vlastnosti.⁴ Proto vlastnosti vod nezávisí jen na celkové koncentraci jednotlivých prvků, ale také na formách výskytu prvků. Hovoří se o speciaci jednotlivých prvků.

Základní metody chemického rozboru vod stanovují vždy celkovou koncentraci dané složky, do které jsou zahrnuty všechny přítomné formy výskytu.⁴ Různé formy výskytu

prvků mívají rozdílnou toxicitu, bioakumulační a sorpční schopnost, migrují v prostředí různou rychlostí, jejich využitelnost různými mikroorganismy je odlišná, liší se jejich odstranitelnost z vody chemickými a fyzikálně-chemickými postupy (srážením, oxidací, redukcí, sorpcí) atd. Tyto různé formy výskytu prvků a jejich distribuce ve vodě jsou výsledkem protolytických, komplexotvorných, oxidačně-redukčních a polymeračních reakcí probíhajících ve vodě.

2.3.2. Organické látky

Organické látky ve vodách mohou být původu buď přírodního, nebo antropogenního.⁴ Mezi přírodní organické znečištění lze zařadit výluhy z půdy a sedimentů a produkty životní činnosti rostlinných a živočišných organismů a bakterií. Jde o látky většinou biogenního původu, především o huminové látky.

Organické látky antropogenního původu pocházejí ze splaškových a průmyslových odpadních vod, z odpadů ze zemědělství, ze skládek a mohou vznikat i při úpravě vody chlorací.⁴ V této souvislosti je nutné dodat, že některé organické látky mohou být jak přírodního, tak antropogenního původu, a proto v těchto případech nelze považovat jejich přítomnost za jednoznačný průkaz znečištění přírodních vod odpady z průmyslu, měst nebo zemědělství.

Z hygienického i vodohospodářského hlediska je nutné rozlišovat látky podléhající biologickému rozkladu ve vodách a při čištění odpadních vod a látky biochemicky rezistentní, které se mohou hromadit v hydrosféře a v půdě (např. polyhalogenované organické uhlovodíky).⁴ Znečištění vod biologicky těžko rozložitelnými látkami je nežádoucí, protože mohou přecházet až do pitné vody.

Organické látky mohou významně ovlivňovat chemické a biologické vlastnosti vod.⁴ Některé mohou mít účinky karcinogenní, mutagenní, alergenní nebo teratogenní, některé mohou ovlivňovat barvu vody, pach i chuť, pěnivost, některé tvoří povrchový film na hladině a tím zhoršují přístup kyslíku do vody.

Pro stanovení veškerých organických látek ve vodě se používá:⁴

- stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK) dichromanem nebo manganistanem draselným
- stanovení biochemické spotřeby kyslíku (BSK)
- stanovení organického uhlíku (TOC, DOC)

2.4. Druhy vod

Existují různé typy vod, které rozlišujeme podle několika kritérií:⁴

- podle původu - přírodní a odpadní
- přírodní vody se dále dělí podle výskytu - atmosférické, povrchové a podzemní, v některých případech pak ještě zvláštní (např. minerální vody)
- podle použití - pitná, užitková, provozní a odpadní, existují i další speciální typy – např. kojenecká, stolní balená voda

2.4.1. Odpadní vody

Odpadní vody jsou vody, které mají po použití změněnou jakost (složení, teplotu).⁴ Jsou to vody odtékající z různých objektů či zařízení, které mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody se dělí na tři hlavní skupiny, odpadní vody splaškové, městské a průmyslové.

Dále se rozlišuje dešťová odpadní voda jako voda z atmosférických srážek vtékající do stoky nebo recipientu.⁴ Surovou odpadní vodou se rozumí odpadní voda přitékající do čistírny odpadních vod. V obecném smyslu jde o nečištěnou odpadní vodu.

2.5. Sledované prvky

2.5.1. Dusík

Spolu s fosforem patří dusík mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky.⁴ Patří do skupiny tzv. nutrietů, které jsou nezbytné pro rozvoj mikroorganismů. Uplatňuje se při všech biologických procesech probíhajících v povrchových, podzemních a odpadních vodách a při biologických procesech čištění a úpravy vod.

Sloučeniny dusíku mohou být buď anorganického, nebo organického původu.⁴ Organický dusík vzniká rozkladem organických dusíkatých látek živočišného nebo rostlinného původu. Jedním z významných zdrojů anorganických a organických sloučenin dusíku jsou splaškové odpadní vody. Dalším významným zdrojem jsou odpady ze zemědělství (z živočišné výroby a splachy z půdy hnojené dusíkatými hnojivy), z potravinářského průmyslu a některé průmyslové odpadní vody např. z tepelného zpracování uhlí. Je nutné brát v úvahu i obsah dusíku v atmosférických vodách.

Dusík se vyskytuje ve vodách v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě. Podle klesajícího oxidačního stupně lze seřadit dusíkaté sloučeniny obsažené ve vodách následovně:⁵

- dusičnany NO_3^- (dusičnanový dusík), dusitany NO_2^- (dusitanový dusík), amoniakální dusík a sloučeniny obsahující organicky vázaný dusík – bílkoviny, peptidy, aminokyseliny

Stanovuje se celkový dusík, který se rozlišuje na organicky a anorganicky vázaný.⁴

Organický dusík se ve vodách vyskytuje ve formě bílkovin a jejich rozkladných produktů, močoviny, alifatických a aromatických aminů, heterocyklických dusíkatých sloučenin apod., včetně dusíkatých látek vznikajících rozkladem biomasy mikroorganismů.

Sloučeniny dusíku jsou ve vodách málo stabilní a podléhají v závislosti na redoxním potenciálu a hodnotě pH zejména biochemickým přeměnám, z nichž nejdůležitější je biologická oxidace a redukce – nitrifikace a denitrifikace.⁴

Specifická produkce dusíku připadajícího na 1 obyvatele za 1 den se nejčastěji uvádí jako 12 g.⁴

2.5.1.1. Dusičnany

Dusičnany patří mezi čtyři hlavní anionty vod. Vyskytují se ve všech druzích vod, ovšem v různé koncentraci, od desetin až jednotek mg/l NO_3^- ve srážkových vodách, přes jednotky až desítky mg/l v podzemních a povrchových vodách, až po stovky mg/l v některých odpadních průmyslových vodách.⁵ Mají velmi slabé komplexační vlastnosti, a proto se vyskytují ve vodách převážně v jednoduché iontové formě NO_3^- .⁴ Dusičnany vznikají hlavně sekundárně při nitrifikaci amoniakálního dusíku. Jsou konečným stupněm rozkladu organických dusíkatých látek. Dalším zdrojem je hnojení půd dusíkatými hnojivy.⁴

Dusičnany jsou primárně pro člověka málo závadné, avšak sekundárně (po bakteriální redukci v gastrointestinálním traktu), jako dusitany, mohou být příčinou dusičnanové alimentární methemoglobinemie.⁵

V povrchových vodách souvisí obsah dusičnanů se stupněm eutrofizace. Dusičnany jsou proto významným základním ukazatelem rozboru vod, a to jak při kontrole jakosti, tak i při klasifikaci jakosti vod. Při analytické kontrole biologických čistíren odpadních vod je stanovení dusičnanů součástí dusíkových bilancí.⁵ Koncentrace dusičnanů je výhodné vyjadřovat jako dusičnanový dusík N-NO_3^- . Pro přepočítání platí, že $1 \text{ mg NO}_3^- = 0,226 \text{ mg N}$.⁴

2.5.1.2. Amoniakální dusík

Amoniakální dusík se vyskytuje ve vodách jako protonizovaný ion NH_4^+ a neprotonizovaný NH_3 , ve skutečnosti jako hydrát $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (přímo disociuje na ionty NH_4^+ a OH^-). Podíl těchto dvou forem výskytu závisí na hodnotě pH a na teplotě vody.⁵ Stanovení koncentrace amoniakálního dusíku ve vodě se vyjadřuje v hmotnostní koncentraci v mg/l a to jako $\text{N-(NH}_3 + \text{NH}_4^+)$ nebo N_{amon} .⁵ Vyjádření v těchto symbolech je jedině správné, protože používanými chemickými metodami pro stanovení amoniakálního dusíku ve vodě se nerozliší obsah disociovaného NH_4^+ a nedisociovaného amoniaku NH_3 , stanoví se vždy součet obou forem.

Amoniakální dusík se vyskytuje téměř ve všech druzích vod. V přírodních vodách (srážkových, podzemních i povrchových) bývá koncentrace malá, v desetinách mg/l.⁵ Splaškové vody obsahují desítky mg/l amoniakálního dusíku a v některých odpadních

průmyslových vodách a v některých odpadních vodách ze zemědělství lze zjistit stovky mg/l až jednotky g/l amoniakálního dusíku.

Amoniakální dusík je nezbytný pro tvorbu nové biomasy.⁴ Činností organotrofních a litotrofních mikrobů je přeměňován na dusík organicky vázaný. Z hygienického hlediska je velmi významný, protože je jedním z primárních produktů rozkladu organických dusíkatých látek. Je proto důležitým indikátorem znečištění podzemních vod živočišnými odpady.

2.5.2. Fosfor

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých minerálů a zvětralých hornin.⁴ Primárním minerálem je apatit $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Do geochemického oběhu je fosfor začleňován zvětráváním vyvěřelých i metamorfovaných hornin.

Celkový fosfor ve vodách se dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný a vyskytuje se ve formě anorganických sloučenin (P_{anorg}) nebo organických sloučenin (P_{org}). Rozpuštěný anorganický fosfor tvoří fosforečnany a polyfosforečnany. Nejčastější formou výskytu jsou fosforečnany (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4). Distribuci jednotlivých forem ovlivňuje zejména pH vody. Hmotnostní koncentraci sloučenin fosforu ve vodách se doporučuje udávat ne v iontových formách, ale ve formě prvku. Koncentrace celkového fosforu se obvykle pohybují v jednotkách mg/l.^{4,5}

Antropogenním zdrojem anorganického fosforu je především aplikace fosforečných hnojiv a odpadní vody z prádelen, do kterých se dostávají fosforečnany z pracích prostředků.⁴ Dalším zdrojem jsou polyfosforečnany používané v čistících a odmašťovacích prostředcích a jako protikorozní nebo protiinkrustační přísady.

Zdrojem organického fosforu je fosfor obsažený v živočišných odpadech.⁴ Člověk vylučuje denně asi 1,5 g fosforu, který přichází do splaškových odpadních vod. Společně s dalšími zdroji se specifická produkce fosforu počítá na 2 až 3 g fosforu na obyvatele za 1 den. Dalším zdrojem organického fosforu je rozkládající se biomasa fytoplanktonu, usazující se na dně jezer, nádrží a toků. Sloučeniny fosforu se dostávají do povrchových vod i z atmosférické depozice.

V důsledku chemických, biochemických a sorpčních procesů dochází ve stojatých vodách ke stratifikaci fosforu s periodickými změnami během roku. Fosforečnany se

významně sorbují na dnové sedimenty, avšak za určitých podmínek může naopak dojít k jeho uvolnění zpět do kapalné fáze.

Sloučeniny fosforu hrají významnou úlohu v přírodním koloběhu látek.⁴ Jsou nezbytné pro nižší i vyšší organismy, které je přeměňují na organicky vázaný fosfor. Fosfor má klíčový význam pro eutrofizaci povrchových vod. Hygienický význam fosforu je malý. V požadavcích na jakost pitné vody nejsou sloučeniny fosforu uvedeny, stejně tak ani v požadavcích na jakost užitkových vod. Vzhledem k eutrofizaci je celkový fosfor uveden jako ukazatel přípustného znečištění povrchových vod. Stejně tak patří mezi ukazatele přípustného znečištění městských odpadních vod vypouštěných do povrchových vod.

2.6. Analýza vod

2.6.1. Historie analýzy vod

Voda poutala pozornost filosofů a badatelů v oboru přírodních věd již od nejstarších dob.⁴ Thales považoval vodu za jedinou pralátku a Empedokles a Aristoteles ji zařadili mezi základní elementy. Teprve Cavendish a Macquer v roce 1783 zjistili vznik vody při hoření vodíku a dokázali, že je složena z vodíku a kyslíku. Cavendish určil i objemový poměr vodíku a kyslíku.

Rozvoj hydrochemie a technologie vody probíhal souběžně s rozvojem čisté a aplikované chemie.⁴ Lavoisier, který byl tvůrcem základu moderní kvantitativní chemie, položil i základy chemické analýzy vod. Na pokrocích v oboru hydrochemie se podílel v 19. století balneologický výzkum. V první polovině 19. století se analýze minerálních vod v Čechách věnoval švédský chemik Berzelius.

Rozvoj hydrochemie a technologie vody byl koncem 18. a 19. století podpořen jednak rozvojem průmyslu, jednak stoupajícími požadavky na kvalitu pitné vody v souvislosti s růstem počtu obyvatelstva ve městech.⁴ Začal se sledovat vliv složení vody na výrobní procesy a kvalitu výrobků. Zvětšující se znečišťování povrchových vod splaškovými a průmyslovými vodami si vynutilo vypracování speciálních metod analýzy vod např. určení „tvrdosti“ vody mýdlovým roztokem, stanovení veškerých organických látek ve vodě jejich oxidací manganistanem draselným.

Ve druhé polovině 19. století byla již vydána řada knih o analýze vod.⁴ V tomto období se formoval samostatný obor chemie a technologie vody, což bylo dovršeno počátkem 20. století. Pojem hydrochemie byl jako první zaveden v Rusku, kde se velice rozvíjela chemie povrchových a podzemních vod.

2.6.2. Biochemická spotřeba kyslíku

Biochemická spotřeba kyslíku je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného za stanovených podmínek biochemickou oxidací organických látek ve vodě. BSK se používá jako míra koncentrace biologicky rozložitelných látek (na rozdíl od CHSK, která postihuje organické látky biologicky rozložitelné i nerozložitelné).^{4,5}

Hodnota BSK se stanovuje u vod povrchových, u odpadních vod splaškových i městských a u mnoha odpadních vod průmyslových a patří mezi nejdůležitější hodnoty rozboru těchto vod.⁵ Při kontrole jakosti povrchových vod patří BSK mezi 15 základních chemických ukazatelů a při klasifikaci jakosti těchto vod mezi 16 obecných, fyzikálních a chemických ukazatelů. Při vypouštění odpadních vod do vod povrchových je hodnota BSK uváděna mezi závaznými stanovenými ukazateli. Rovněž při kontrole jakosti odpadních vod a při kontrole a hodnocení účinnosti biologických čistíren odpadních vod je jedním ze základních ukazatelů právě hodnota BSK.

Hodnota BSK se vyjadřuje v mg/l a závisí na době inkubace.⁵ BSK za n dní se označuje BSK_n. Dále je BSK závislé na mnoha dalších faktorech, jako např. teplota při inkubaci, druh mikroorganismů provádějících rozklad, pH. Aby bylo možné získat srovnatelné výsledky stanovení BSK, používají se standardní testy – uzanční metody stanovení.

Princip metody - stanovení BSK_n se stanovením rozpuštěného kyslíku elektrochemicky⁶

Podle ČSN EN 1899-1,2 (75 7517).

Metoda slouží k nepřímému stanovení množství organických látek, které podléhají biochemickému rozkladu při aerobních podmínkách. Jedná se o kombinaci biologické a chemické metody.

Biochemická spotřeba kyslíku se stanovuje jako rozdíl koncentrací rozpuštěného kyslíku ve vzorku vody před a po proběhnutí biochemické oxidace organických látek při uzančně standardizovaných podmínkách inkubace vzorku.

- doba 5 dnů (5 x 24 h) ± 4 h - pětidenní BSK (BSK₅), u některých vzorků se požaduje inkubační doba delší např. BSK₂₁
- teplota (20 ± 1)°C
- vyloučení přístupu světla
- aerobní podmínky

Koncentrace rozpuštěného kyslíku se stanoví elektrochemicky.

Během celé inkubace je nezbytné dostatečné množství rozpuštěného kyslíku ve vzorku pro průběh aerobních biochemických pochodů.

Metoda se používá pro stanovení BSK₅ eventuálně BSK_n (inkubace po dobu n dnů) v povrchových a odpadních vodách. Bez ředění lze stanovit BSK₅ 0,5 - 6 mg/l. Vyšší hodnoty BSK₅ je nutno ředit.

2.6.3. Chemická spotřeba kyslíku

Při stanovení chemické spotřeby kyslíku se koncentrace „oxidovatelných“ látek ve vodě měří podle množství oxidačního činidla, které se za určitých podmínek spotřebuje na jejich oxidaci.⁴

CHSK patří mezi nespecifické ukazatele vody a jeho hodnota slouží k odhadu organického znečištění vody.⁵ Udává se v mg/l, u odpadních vod s velkým znečištěním v g/l, rozumí se mg nebo g kyslíku odpovídajícího podle stechiometrie spotřebě oxidačního činidla na 1 litr vody.

Hodnota CHSK je nedílnou součástí každého rozboru všech druhů vod. Patří mezi nejdůležitější stanovené hodnoty:⁵

- při rozboru pitné vody
- při kontrole jakosti a při klasifikaci jakosti povrchových vod
- při kontrole odpadních a zvláštních vod
- při vypouštění splaškové a městské odpadní vody a při vypouštění průmyslové odpadní vody obsahující organické látky

Metody pro stanovení CHSK⁵

Metod navržených pro stanovení CHSK je mnoho. Liší se nejen použitým oxidačním činidlem, ale i reakčními podmínkami při oxidaci.

Jako oxidační činidlo se v současné době používá zásadně dichroman draselný a méně také manganistan draselný. Druh použitého oxidačního činidla se udává obvykle symbolem u zkratky CHSK (CHSK_{Cr}, CHSK_{Mn}). Hodnota CHSK_{Mn} se stanovuje pouze v pitné a v přírodní vodě.

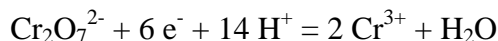
Dichromanová metoda byla navržena již v roce 1949. Její výhodou je vysoký stupeň oxidace většiny organických látek. Proto bylo toto stanovení velice rychle zaváděno do praxe jako standardizovaná metoda pro stanovení CHSK, a to pro všechny druhy vod. Nevýhodou klasické titrační dichromanové metody je zejména velká spotřeba činidel. To bylo hlavním důvodem pro vytvoření semimikrometod stanovení CHSK_{Cr}. Vysoká účinnost oxidace organických látek zůstala zachována a snížila se podstatně jak spotřeba všech činidel, tak spotřeba tepelné energie a nároky na pracovní prostor.

Princip metody - stanovení CHSK_{Cr} spektrofotometricky - analytická komerční souprava MERC (semimikrometoda)⁷

Podle normy ČSN ISO 15705 (75 7521).

Metoda je založená na oxidaci organických látek ve vzorku po dobu 2 h ± 10 min při teplotě 150 ± 5°C známým objemem dichromanu draselného v koncentrované kyselině sírové za přítomnosti síranu rtuťnatého, který omezuje rušivý vliv chloridů, a síranu stříbrného jako katalyzátoru.

Reakce probíhá podle rovnice:



Vzorky se spektrofotometricky proměří při vlnových délkách 340 nm pro rozsah 4 – 40 mg/l, 445 nm pro rozsah 10 – 150 mg/l a 605 nm pro rozsah 100 – 1500 mg/l. Metoda je vhodná pro stanovení CHSK_{Cr} v rozmezí 4 – 1500 mg/l, vyšší koncentrace ředěním.

2.6.4. Dusičnanový dusík

Největší skupinou v praxi používaných metod na stanovení dusičnanů ve vodách tvoří absorpční spektrofotometrické metody.⁵ Tyto spektrofotometrické metody lze rozdělit na dvě velké podskupiny, a to na metody přímého a nepřímého stanovení dusičnanů.

V případě přímého absorpčního spektrofotometrického stanovení dusičnanů je využito schopnosti kyseliny dusičné (uvolněné v kyselém prostředí koncentrované kyseliny sírové) nitrovat některé aromatické látky za vzniku barevných nitroderivátů.⁵ Při nepřímém stanovení se dusičnany redukují na dusitany nebo až na amoniakální dusík. Dusičnany jsou pak stanovovány spektrofotometricky a to jako dusitany nebo jako amoniakální dusík.

Pro čisté vody se používá i potenciometrická metoda s použitím iontově selektivní elektrody (ISE).⁵

Další možnou metodou, která je využívána v laboratořích Povodí Vltavy, a tedy i v této práci, je stanovení dusičnanů iontovou chromatografií.

Princip metody – Stanovení dusičnanů metodou iontové chromatografie s dopočtem dusičnanového dusíku⁸

Podle normy ČSN EN ISO 10304-1 (75 7391)

Dělení iontů kapalinovou chromatografií probíhá na koloně, kterou tvoří nízkokapacitní měnič aniontů a jako mobilní fáze (eluent) se používají vodné roztoky solí slabých jednosytných a dvojsytných kyselin. K detekci se užívá vodivostní detektor.

Pro přepočet platí, že $1 \text{ mg NO}_3^- = 0,226 \text{ mg N}$.

2.6.5. Amoniakální dusík

Pro stanovení amoniakálního dusíku ve vodách se nejčastěji používají spektrofotometrické metody stanovení.⁵ Existují však i jiná stanovení jako neutralizační odměrné stanovení či potenciometrickou metodou.

Princip metody - stanovení amoniakálního dusíku spektrofotometricky, dopočet amonných iontů a volného amoniaku⁹

Podle normy ČSN ISO 7150 - 1 (75 7451).

Amonné ionty reagují v alkalickém prostředí v přítomnosti nitroso-pentakyanoželezitanu sodného (nitroprussidu sodného) s chlornanovými ionty a salicylanem za vzniku modré sloučeniny, která se fotometricky stanoví při 655 nm.

Metody lze použít pro stanovení amonných iontů v koncentraci od 0,02 do cca 1 mg/l (hodnoty pod 0,03 mg/l jsou orientační).

2.6.6. Celkový fosfor

Princip stanovení fosforu představuje převedení jednotlivých forem na fosforečnany vhodnou předpravou vzorku.⁵ Polyfosforečnany přecházejí na fosforečnany při hydrolýze v kyselém prostředí.

Organicky vázaný fosfor lze převést na fosforečnanovou formu několika způsoby. Oxidace peroxodisíranem je nejmírnější způsob.⁵ Není však vhodný pro vzorky s vyšším obsahem organických látek, protože použité množství peroxodisíranu se spotřebuje na oxidaci organických látek a nestačí na oxidaci sloučenin s organicky vázaným fosforem. Dalším způsobem je mineralizace kyselinou dusičnou a sírovou nebo kyselinou dusičnou a chloristou. Mineralizace kyselinou dusičnou a chloristou je časově i pracovně náročná a používá se proto zejména pro vzorky s vysokým obsahem organických látek.

Princip metody - stanovení celkového fosforu spektrofotometricky¹⁰

Podle normy ČSN EN ISO 6878 (75 7465).

Oxidací peroxodisíranem v prostředí kyseliny sírové se rozloží organické sloučeniny fosforu, a zároveň se kvantitativně hydrolyzují všechny polyfosforečnany. Rozpuštěné anorganické fosforečnany se stanoví absorpční spektrofotometrií při vlnové délce 880nm v 5cm kyvetě.

Metoda je vhodná pro vzorky vod s obsahem všech forem sloučenin fosforu, které poskytnou více než 0,01 mg /l iontů PO_4^{3-} .

2.7. Legislativa

Potřeba upravit vztah státní moci k vodám provází lidstvo odpradávná a kořeny lze najít už v římském právu.¹¹ V českých zemích se objevuje tento významný aspekt v roce 1937, ale teprve v zákonech po 2. světové válce je likvidace odpadních vod vypouštěním do vod povrchových považována za zvláštní užívání vody, které vyžaduje povolení vodohospodářského orgánu. Nejzávažnějším legislativním předpisem ČR je vodní zákon č.254/2001 Sb., kterým se zavádějí zcela nové pojmy, nové principy ochrany a hodnocení toků ve snaze přiblížit se legislativě a požadavkům Evropského společenství.

Je jasné, že požadavky např. na pitnou vodu a vodu provozní budou v mnoha směrech odlišné.¹¹ Z hlediska odměrných stanovení jsou tu např. odlišné nároky na celkovou tvrdost vody. Při analýze všech typů vod se řídíme příslušnými normami. Pro vodu pitnou je to v současné době vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č. 252/2004 Sb., pro vodu povrchovou se jedná především o nařízení vlády ČR č. 61/2003 Sb. stanovující ukazatele přípustného znečištění povrchových vod a vypouštění vod odpadních do vod povrchových a ČSN 75 7221 „Klasifikace jakosti povrchových vod“. Normy environmentální kvality vody, které udává nařízení vlády 61/3003 Sb. jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 : Normy environmentální kvality vody podle nařízení vlády 61/2003 Sb.

NEK-RP mg/l				
BSK₅	CHSK_{Cr}	N-NO₃⁻	N-NH₄	P_c
3,8	26	5,4	0,23	0,15

NEK-RP: norma environmentální kvality vyjádřená jako celoroční průměrná hodnota. Pro každý daný útvar povrchových vod se použitím NEK-RP rozumí, že aritmetický průměr koncentrací naměřených v různých časech průběhu roku v žádném

reprezentativním monitorovacím místě ve vodním útvaru nepřekračuje dotyčnou normu.¹²

Nařízení vlády také udává limity pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 : Limity pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových podle nařízení vlády 61/2003 Sb. v mg/l

Kategorie ČOV podle EO	BSK ₅		CHSK _{Cr}		N _{amon}		P _c	
	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m
<500	40	80	150	220	-	-	-	-
500 - 2000	30	60	125	180	20	40	-	-
2001 - 10 000	25	50	120	170	15	30	3	8

EO - ekvivalentní obyvatel je definovaný produkcí znečištění 60 g BSK₅ za den¹²

Pro příslušnou kategorii ČOV je kvalita vypouštěných odpadních vod stanovena jako emisní limity „p“ (přípustné) a „m“ (maximální) koncentrace ve sledovaných ukazatelích.¹³ Limit „p“ by neměl být překročen v průměrném slévaném 2 hodinovém vzorku s intervalem odběru 15 minut nebo v průměrném slévaném 24 hodinovém vzorku s intervalem 2 hodiny. Maximální přípustný limit „m“ by neměl být překročen v okamžitém (bodovém) vzorku.

Průměr u N_{amon} a P_c je aritmetický průměr za kalendářní rok.

2.8. Jakost vody

Metody, které jsou používány v České Republice, různých státech Evropy, ale i světa pro posuzování kvality vody a pro stanovení obecně platných principů na ochranu vod před znečištěním, jsou různé.¹⁴ Vyplývají z obecně rozdílného pojetí problematiky kvality a ochrany vod v jednotlivých zemích i z historického vývoje.

Klasifikací jakosti vody můžeme interpretovat jako zařazení kvalitativních hodnot vybraných ukazatelů kvality vody do pevně daného systému kritérií tak, aby bylo možno nezávisle na velikosti vodního toku, charakteru povodí či časovém období určit stupeň jeho znečištění.¹⁴ Klasifikace jakosti vody v ČR, stejně jako ve světě, je založena na principu pravděpodobnostního hodnocení, s jehož výsledky jsou porovnávány limitní hodnoty pro jednotlivé ukazatele.

Základním nástrojem pro hodnocení kvality povrchových vod v České republice je norma ČSN 75 7221 z 10. 1998 „Jakost vod – klasifikace jakosti povrchových vod“, ta slouží ke klasifikaci jakosti vod do jedné z pěti tříd.¹⁴

2.8.1. Pět tříd jakosti vody¹⁵

Třída I. - neznečištěná voda – stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností, při kterém ukazatelé jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí v tocích.

Třída II. - mírně znečištěná voda - stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatelé jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

Třída III. – znečištěná voda – stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatelé jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

Třída IV. – silně znečištěná voda – stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatelé jakosti vody dosahují takových hodnot, které vytvářejí takové podmínky, umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému.

Třída V. – velmi silně znečištěná voda – stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatelé jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému.

Výsledná třída jakosti je určena podle nejnepriznivějšího zařazení zjištěného u jednotlivých vybraných ukazatelů. Jednotlivé ukazatele, které dosáhly úrovně IV. a V. jsou vypisovány jmenovitě.

Základní klasifikace jakosti vody, podle Povodí Vltavy, je založena na klasifikaci vybraných ukazatelů jakosti vod:¹⁵

- BSK₅ – biochemická spotřeba kyslíku po 5 dnech
- CHSK_{Cr} - chemická spotřeba kyslíku dichromanem
- N – NO₃⁻ – dusičnanový dusík
- N_{amon} – amoniakální dusík
- P_c – celkový fosfor
- saprobní index makrozoobentosu

Hodnocení podle skupin ukazatelů:¹⁵

- obecné, fyzikální a chemické ukazatelé
- specifické organické látky
- kovy a metaloidy
- mikrobiologické a biologické ukazatelé
- radiologické ukazatelé

2.8.2. Charakteristická hodnota – c90

Pro rozdělování do tříd se používá charakteristická hodnota, což je hodnota parametru s pravděpodobností nepřekročení 90 %. U rozpuštěného kyslíku je to hodnota s pravděpodobností překročení 90 %.¹⁶

Jakost vody se klasifikuje na základě výsledků kontroly v průběhu delšího uceleného období, kdy nejkratší hodnocené období je jeden rok.¹⁶ Nejdelší hodnocené období je dáno změnami v nakládání s vodami v povodí, zpravidla se nevolí delší období než 5

let. Při četnosti sledování 12 odběrů za rok se doporučuje výsledky kontroly jakosti vod klasifikovat po dvouletí, aby pro výpočet charakteristické hodnoty bylo k dispozici alespoň 24 hodnot. Pokud je potřeba klasifikovat jakost vody při četnosti 11 až 23 hodnot za období, vybere se za charakteristickou hodnotu hodnota ležící na tom místě vzestupné nebo pro rozpuštěný kyslík sestupné řady hodnot, která odpovídá hodnotě 90 % z počtu hodnot zaokrouhlených na celé číslo. Pro 12 hodnot je to hodnota předposlední, tedy 11. v pořadí.

V tabulce 3 jsou uvedeny limitní hodnoty pro stanovení jakosti vody a zařazení do jednotlivých tříd.

Tabulka 3 : Limitní hodnoty pro stanovení jakosti vody povrchových vod podle ČSN 75 7221

ukazatel	jednotky	třída				
		I.	II.	III.	IV.	V.
BSK₅	mg/l	<2	<5	<10	<15	>15
CHSK_{Cr}	mg/l	<15	<25	<35	<55	>55
N-NO₃⁻	mg/l	<1,0	<3,4	<7,0	<11	>11
N_{amon}	mg/l	<0,3	<0,5	<1,5	<5,0	>5,0
P_c	mg/l	<0,03	<0,15	<0,4	<1,0	>1,0

2.9. Čistírny odpadních vod

Při úpravě vody a čištění odpadních vod používáme různé procesy. Počet, druh a seřazení procesů do technologické linky závisí na jakosti vstupní vody a na požadované jakosti upravené nebo vyčištěné vody.¹⁷

Technologické procesy úpravy vody a čištění odpadních vod můžeme rozdělit do tří skupin: fyzikální a fyzikálněchemické, chemické a biologické.

2.9.1. Biologické procesy

Biologické metody jsou spolu s usazováním nejstarší a nejdéle používané způsoby čištění odpadních vod.¹⁷ Ve svém principu nejsou ničím jiným než napodobením a urychlením mikrobiálních procesů, které probíhají v přírodě. Většinou jsou jednoduché, relativně laciné a při jejich aplikaci se do vody nezavádí žádné další zbytkové látky. Na druhé straně, vzhledem k jejich biologické podstatě, jsou hůře ovladatelné než metody mechanické či chemické a jejich průběh je citlivý na změnu podmínek práce nebo na případné toxické látky, které mohou mikroorganismy zahubit, nebo alespoň retardovat jejich činnost.

Při čištění odpadních vod se nejčastěji využívají aerobní biologické procesy.¹⁷ Jsou založeny na odstraňování organických látek pomocí směsné kultury mikroorganismů (aktivační kal) za přítomnosti kyslíku.

2.9.1.1. Odstraňování dusíku z odpadních vod

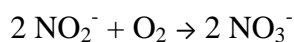
Nitrifikace¹⁷

Biologickou nitrifikací nazýváme děj, při kterém je amoniakální dusík v oxidačním prostředí oxidován hlavně litotrofními nitrifikačními bakteriemi v prvním stupni na dusitany a v druhém na dusičnany. Touto oxidací získávají bakterie energii pro své životní pochody a pro syntézu buněčné hmoty využívají CO₂, část přítomného amoniakálního dusíku a další anorganické živiny, zejména fosfor. Biologické nitrifikaci

je přístupný pouze amoniakální dusík. Dusík obsažený v organických látkách musí být nejprve amonifikován (deaminován) činností jiných druhů bakterií.

Pro nitrifikaci je vhodné pH v rozmezí 7 – 9, optimální teplota je kolem 28 °C.

Průběh nitrifikace lze zachytit rovnicemi:



sumárně platí



Denitrifikace¹⁷

Biologická denitrifikace je pochod, při kterém jsou činností organotrofních bakterií v anoxických podmínkách redukovány dusitany a dusičnany až na elementární dusík (někdy na NO či N₂O), který je tímto postupem z vody odstraňován a vrácen do původní formy. Organotrofní organismy potřebují ovšem organický substrát, zčásti jako zdroj energie – tj. oxidují ho – a zčásti jako zdroj prvků pro výstavbu nové buněčné hmoty.

Denitrifikační schopnost bakterií je různá. Některé jsou schopny jen redukovat dusičnany na dusitany, jiné dusitany na elementární dusík a další přímo denitrifikují dusičnany na dusík. Jelikož růst těchto mikroorganismů nezávisí na redukcí dusičnanů (mohou využívat i molekulární kyslík z vody), přítomnost těchto specifických kmenů ještě neznamená, že jsou splněny všechny podmínky pro denitrifikaci. Jako zdroj uhlíku může sloužit jakýkoli biodegradabilní organický materiál – již zmíněný methanol, ethanol, aceton nebo primární odpadní voda atd. Rychlost denitrifikace je pochopitelně silně ovlivněna charakterem tohoto zdroje, a proto musí být zahrnut do úvah týkajících se konkrétního návrhu denitrifikačního zařízení.

Biologická denitrifikace je vedle zdroje uhlíku citlivá i na řadu dalších parametrů. Jedním z nejdůležitějších je teplota. Ta ovlivňuje růst denitrifikačních mikroorganismů i rychlost eliminace dusíku. S růstem teploty roste i rychlost denitrifikace. Pro denitrifikaci je vhodné pH blízké neutrálnímu (6 – 9).

Obvykle je žádoucí, aby odpadní vody přicházející k čištění obsahovaly dusík pouze v oxidované formě. Ten ale bývá ve vodách přítomen i v redukované formě, jako amoniakální nebo organický dusík. Denitrifikace je tudíž proveditelná pouze ve spojení s nitrifikací.

2.9.1.2. Odstraňování fosforu z odpadních vod¹⁷

Množství fosforu v odpadní komunální vodě se uvádí přibližně 3 g na osobu a den. Většina z tohoto množství pochází z lidských exkrementů, asi 1/3 z detergentů. Do vodotečí se fosfor dostává převážně ze zemědělství.

Fosfor z detergentů se v odpadní vodě vyskytuje ve formě polyfosfátů. Ty jsou zde poměrně rychle hydrolyzovány na fosforečnany. Většina fosforu v exkrementech je též ve formě fosforečnanů. Pouze asi 10 – 15 % P je vázáno v organických sloučeninách.

Biologické odstraňování fosforu spočívá ve schopnosti akumulace (zvýšení obsahu) P (ve formě polyfosfátů) v některých mikroorganismech. Toho se dosáhne zavedením „přepínání“ prostředí mikroorganismů mezi aerobním a anaerobním režimem, tedy zvláštní kultivací.

2.9.2. ČOV na Stropnici

Na Stropnici se nachází tři čistírny odpadních vod (ČOV). První se nachází u obce Horní Stropnice, druhá u Nových Hradů a třetí čistírna u obce Borovany.

2.9.2.1. ČOV Horní Stropnice

Tato čistírna je určena pro úplné čištění odpadních vod z jednotného gravitačního kanalizačního systému obce Horní Stropnice. Řadí se do skupiny čistíren pro 500 – 2000 EO.¹³ Při posledním sčítání lidu v roce 2011 se k trvalému bydlišti v Horní Stropnici přihlásilo 1 510 občanů.¹⁸

Čistírnu lze provozovat v režimu zatížení 30-150%, aniž dojde k průkaznému snížení účinku čištění.¹⁷ ČOV je vybavena technologií, která umožňuje i odstraňování nutrietů z odpadních vod. Čistírna se sestává ze souboru hrubého předčištění (lapák šterku a kamenů, strojně stírané česle, lapák písku), čerpací stanice, z kompaktního biologického

stupně (denitrifikace, nitrifikace, stabilizace kalu), dvou dosazovacích nádrží a kalové stabilizační nádrže a uskladňovací nádrže aerobně stabilizovaného kalu.

Pokud je přítok na čistírnu vlivem přiváděných dešťových vod větší než je kapacita čistírny, jsou tyto vody odlehčovány v objektu odlehčovací komory na kanalizačním sběrači.¹⁷ Poté v areálu čistírny v rozdělovací–odlehčovací šachtě přes vyústní objekt do Stropnice.

2.9.2.2. ČOV Nové Hrady

Tato čistírna spadá do kategorie 2001 – 10 000 EO. Při posledním sčítání lidu v roce 2011 se k trvalému bydlišti v Nových Hradech přihlásilo 2 513.¹⁸

Vody přiváděné do ČOV mají převážně charakter splaškových vod.¹⁹ S ohledem na jednotnou kanalizační síť města jsou odpadní vody za deště ředěny vodou dešťovou a do ČOV jsou vody přiváděny po odlehčení v odlehčovacích komorách na stokové síti.

Maximální okamžitý výkon čistírny je 20 l/s.¹⁹

ČOV se skládá z mechanického předčištění, což je odlehčovací komora, lapák šterku se strojním těžením sedimentu, strojně stíraná česle s kontinuálním pásem, lis na shrabky, lapák písku a separátor písku.¹⁹ Dále z čerpací stanice odpadních vod na biologické čištění. Monoblok, který se skládá z dvojice denitrifikačních nádrží o objemu 2×50 m³, dvojice nitrifikačních nádrží o objemu 2×150 m³, dosazovací nádrže o rozměrech 6×6 m a ze zahušťovací jímky kalu. Měření na odtoku, uskladňovací nádrž a odvodnění kalu.

Na ČOV jsou přivedeny vody z areálu firmy Poděbradka a.s., které přinášejí spoustu organického materiálu.¹⁹ Proto byl v areálu ČOV vybudován biologický filtr, který biologicky rozkládá a pohlcuje organické látky, které jsou obsaženy v odpadní vodě.

2.9.2.3. ČOV Borovany

ČOV Borovany dominantně slouží k čištění odpadních vod přiváděných z města Borovany a ze závodu Lasselsberger Borovany. Dále jsou sem periodicky přiváženy prosáklé vody ze skládky komunálního odpadu Růžov.²⁰

Při posledním sčítání lidu v roce 2011 se k trvalému bydlišti v Borovanech přihlásilo 3 936.¹⁸ Tato čistírna spadá do kategorie čistíren pro 2001 – 10 000 EO.

Přiváděné odpadní vody mají převážně charakter splaškových vod.²⁰ Za deště jsou na ČOV přiváděny dešťové průtoky až do hodnoty 720m³/h. Městské a komunální odpadní vody jsou na čistírnu přiváděny gravitačně samostatným jednotným kanalizačním sběračem. Tyto vody jsou přiváděny na hrubé předčištění a poté odtékají na biologický stupeň ČOV.

Biologická část čistírny je tvořena dvěma paralelně uspořádanými podélnými aktivačními a dosazovacími nádržemi.²⁰ Biologický stupeň pracuje na principu nízkozátěžové aktivace s předřazenou mechanicky míchanou denitrifikační sekci a následnou nitrifikační sekci provzdušňovanou aeračním systémem.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Veškerá měření bylo prováděno v laboratořích Povodí Vltavy v Českých Budějovicích podle jejich používaných metodik. Ke každé analýze se měří také slepý pokus a standard.

U všech odběrových míst se odběr provádí z mostku nad řekou pomocí vědra na laně, které se hází do proudnice. Vzorky se odebírají do polyethylenových lahví, pouze u celkového fosforu se voda ihned po odběru přefiltruje.

Odpadní voda z čistírny odpadních vod v Horní Stropnici a Borovanech se odebírá jako směsný 2 hodinový vzorek s odběry po 15 minutách. Z čistírny odpadních vod Nové Hradky se odběr provádí jako směsný 24 hodinový vzorek s odběry po 2 hodinách.

Laboratoře Povodí Vltavy závod Horní Vltava odebírají chemikálie od výrobce Penta ČR nebo Lachner ČR.

3.1. Stanovení biochemické spotřeby kyslíku po pěti dnech

Chemikálie

- destilovaná voda nasycená kyslíkem o laboratorní teplotě
- fosforečnanový pufr pH 7,2
- roztok síranu hořečnatého
- roztok chloridu železitého
- roztok chloridu vápenatého
- zředřovací voda

Do destilované vody nasycené vzdušným kyslíkem při teplotě 20°C se přidává fosforečnanový pufr pH 7,2, roztok síranu hořečnatého, roztok chloridu železitého a roztok chloridu vápenatého v množství 1 ml každého roztoku na 1000 ml vody.

- očkovací voda – inokulum říční vody nebo odsazené odpadní vody

- allylthiomocovina, $c = 1 \text{ g/l}$
- očkovaná zřed'ovací voda

20 ml říční vody nebo 2 ml odpadní vody do 1000 ml zřed'ovací vody

Přístroje a pomůcky

- inkubační láhve
- kyslíkové láhve o objemu 250 - 300 ml nebo reagenční láhve 100-125 ml se zabroušenou zátkou a rovným kloboučkem
- termostat s nastavitelnou teplotou (20 ± 1)°C
- provzdušňovací zařízení zakončené skleněnou fritou
- elektromagnetická míchačka s míchadlem
- přístroj na měření rozpuštěného kyslíku

Standardní postup inkubace vzorku

Při měření BSK musí být bezpodmínečně dodrženy stanovené standardní postupy inkubace vzorků:

- doba 5 dnů ($5 \times 24 \text{ h}$) $\pm 4 \text{ h}$ - pětidenní BSK, u některých vzorků se požaduje inkubační doba delší např. BSK₂₁.
- teplota 20 ± 1 °C
- vyloučení přístupu světla
- aerobní podmínky

Během celé inkubace je nezbytné zajistit dostatečné množství rozpuštěného kyslíku ve vzorku pro průběh aerobních biochemických pochodů. Vzorky s BSK₅ větší než 6 mg/l je nutné dostatečně ředit, jinak by došlo k vyčerpání rozpuštěného kyslíku a nebyly by dodrženy aerobní podmínky po celou dobu inkubace.

Očekávané BSK₅ se zjistí z CHSK_{Mn} a srovnáním s předchozími rozbory, nebo s rozbory vzorků obdobného původu, nebo složení.

Pracovní postup

Původní, nebo příslušně naředěný vzorek se řádně zhomogenizuje a rozlije do 2 kyslíkových lahviček. Lahvičky se předem vypláchnou malým množstvím vzorku. Změří se koncentrace kyslíku na počátku pokusu (nultý den) v jedné z nich, poté se dolije příslušným vzorkem a obě kyslíkové lahvičky se inkubují za definovaných podmínek. Pátý den se lahvičky vyjmou z termostatu, změří se koncentrace kyslíku (pátý den). Z výsledků dvou paralelních stanovení se vypočítá průměr. V každé sérii stanovení se zároveň nasazuje slepé stanovení. K němu se používá očkovaná zředovací voda s přídavkem 2 ml allylthiomocoviny na 1000 ml. Rozdíl mezi počátkem pokusu (nultý den) a pátým dnem nesmí překročit 1,5 mg/l.

Výpočet

$$\text{neředěný vzorek} \quad x = a - b$$

$$\text{ředěný vzorek} \quad x = \frac{a - b - c (1 - R)}{R}$$

x - BSK₅ v mg/l

a - koncentrace rozpuštěného kyslíku nultý den v mg/l

b - koncentrace rozpuštěného kyslíku po pěti dnech v mg/l

c - hodnota slepého stanovení v mg/l

R - ředění, poměr objemu vzorku k objemu připravené směsi vzorku s očkovanou zředovací vodou

3.2. Stanovení chemické spotřeby kyslíku

Chemikálie

- koncentrovaná kyselina sírová p.a., 1,84 g/l
- komerční roztoky A a B pro CHSK_{Cr} firmy Merck
- destilovaná voda

Pomůcky a přístroje

- spektrofotometr NOVA 60
- mineralizační blok
- zkumavky z borosilikátového skla s uzávěrem
- pístové pipety

Pracovní postup

V laboratoři se vzorek protřepe a 500 ml homogenizuje homogenizátorem na velikost částic 40 μm. Z homogenizovaného vzorku se 100 ml konzervuje přidavkem 1 ml kyseliny sírové a uchovává při teplotě 2°C – 5°C.

Do zkumavky se odměří 0,3 ml roztoku A a daný objem roztoku B, který je pro rozsah 4,0-40,0 mg/l a 10,0-150,0 mg/l 2,85 ml. Pro rozsah 100,0-1500 mg/l se přidá 2,30 ml roztoku B. Vše se protřepe, aby se rozvířila případná usazenina. Zkumavky se vloží do předem vyhřátého termostatu a zahřívají 2 hodiny při teplotě 148°C. Poté se zkumavky vyjmou a nechají ochladit na teplotu místnosti (10 minut po vyjmutí z termostatu se protřepají).

Po ochlazení se vzorky proměří na spektrofotometru, při vlnové délce 340 nm pro rozsah 4 – 40 mg/l, 445 nm pro rozsah 10 – 150 mg/l a 605 nm pro rozsah 100 – 1500 mg/l.

3.3. Stanovení dusičnanového dusíku

Chemikálie

- hydrogenuhličitan sodný p.a.
- uhličitan sodný p.a.

Přístroje a pomůcky

- kapalinový chromatograf Dionex ICS-1000 s iontovým chromatografickým systémem, který se skládá z izokratické pumpy, kolony IonPac AS14A 4-mm, předkolony IonPac AG14A, autosampleru AS50, termostatu kolon, suppressoru ASRS-ULTRA-4 mm, vodivostního detektoru a je řízen pomocí softwaru Dionex Chromeleon
- zařízení pro membránovou filtraci s filtry velikosti pórů 0,45 um
- dávkovací pipeta Handystep s mikrolitrovými nastavci
- sušárna, exikátor

Pracovní postup

Přefiltrované vzorky, popřípadě naředěné deionizovanou vodou, rozlijeme do vialek s uzavíratelnými víčky a septy a umístíme do autosampleru.

Pracovní podmínky pro iontovou chromatografii jsou:

- mobilní fáze - 8 mmol/l uhličitan sodný/ a 1 mmol/l hydrogenuhličitan sodný
- detekce - vodivostní s potlačením vodivosti pozadí
- teplota kolony 30°C
- teplota cely 35°C
- průtok mobilní fáze 1 ml/min.

Pro přepočet mg NO₃⁻ na mg N platí, že 1 mg NO₃⁻ = 0,226 mg N.

3.4. Stanovení amoniakálního dusíku

Chemikálie

- vybarvovací činidlo
($97,5 \pm 0,75$) g salicylanu sodného p.a. + ($97,5 \pm 0,75$) g citronanu sodného dihydrátu p.a. ($C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$) se rozpustí v potřebném množství vody a doplní na cca 700 ml. Do roztoku se přidá ($0,713 \pm 0,004$) g nitroprussidu sodného dihydrátu p.a. ($[Fe(CN)_5NO]Na_2 \cdot 2H_2O$), po rozpuštění se objem doplní na 750 ml a přelije do tmavé dávkovací láhve.
- dichlorisokyanuratan sodný, 0,2% roztok
Ve 400 ml vody se rozpustí ($32 \pm 0,1$) g hydroxidu sodného p.a.. Roztok se ochladí na teplotu místnosti a přidá se ($2,0 \pm 0,02$) g dichlorisokyanuratanu sodného dihydrátu p.a. ($C_3N_3O_3Cl_2 \cdot 2H_2O$). Po rozpuštění se roztok doplní na 1000 ml a přelege do tmavé dávkovací láhve.
- čistící roztok hydroxidu sodného
Ve (100 ± 2) ml vody se rozpustí (100 ± 2) g hydroxidu sodného p.a. a po ochlazení se přidá (900 ± 50) ml 95% ethanolu p.a..

Přístroje a pomůcky

- spektrofotometr Shimadzu UV-1650PC
- kyvety 5 cm a 1 cm

Pracovní postup

Do 50 ml odměrné baňky se odpipetuje 40 ml vzorku. Je-li nutno vzorek ředit, odpipetuje se potřebný objem a doplní se vodou na 40 ml.

Ke vzorku se přidají 4 ml vybarvovacího činidla a po promíchání 4 ml roztoku dichlorisokyanuratanu sodného. Po opětovém promíchání se baňka doplní vodou po rysku, pH by mělo být v mezích $12,6 \pm 0,1$. Při vybočení z těchto mezí se pH před stanovením upraví.

Baňky se nechají stát minimálně 60 min při pokojové teplotě a pak se proměří absorbance vzorku proti slepému stanovení při maximu absorbance 655 nm.

3.5. Stanovení celkového fosforu

Chemikálie

- koncentrovaná kyselina sírová p.a.
- 4 % roztok peroxodisíranu draselného
- fenolftalein 0,5 % roztok
- hydroxid sodný, $c = 10 \text{ mol/l}$
- kyselina sírová, $c = 0,5 \text{ mol/l}$

Přístroje a pomůcky

- membránové filtry ($\varnothing 0,45 \mu\text{m}$) a filtrační zařízení pro práci v terénu
- spektrofotometr Shimadzu UV-1650PC
- sušárna

Pracovní postup

Do 250 ml Erlenmayerovy baňky se odměří 100 ml dobře promíchaného, nefiltrovaného vzorku a přidá se 0,3 ml koncentrované kyseliny sírové a 10 ml 4 % roztoku peroxodisíranu draselného. Směs se promíchá a vloží na 2 hodiny do sušárny, nastavené na teplotu 160° . Po ochlazení se přidá 1 kapka roztoku fenolftaleinu a titruje se roztokem hydroxidu sodného o koncentraci 10 mol/l až do slabě růžového zabarvení. Zpět se titruje kyselinou sírovou o koncentraci $0,5 \text{ mol/l}$ do odbarvení. Závěrem se vzorek převede do 100 ml odměrky, doplní destilovanou vodou a spektrofotometricky, při vlnové délce 800 nm, v 5 cm kyvetě stanoví rozpuštěné anorganické fosforečnany.

Celkový fosfor se vypočte podle vzorce: $\text{PO}_4^{3-} \text{ mg/l} \cdot 0,326 = \text{P mg/l}$

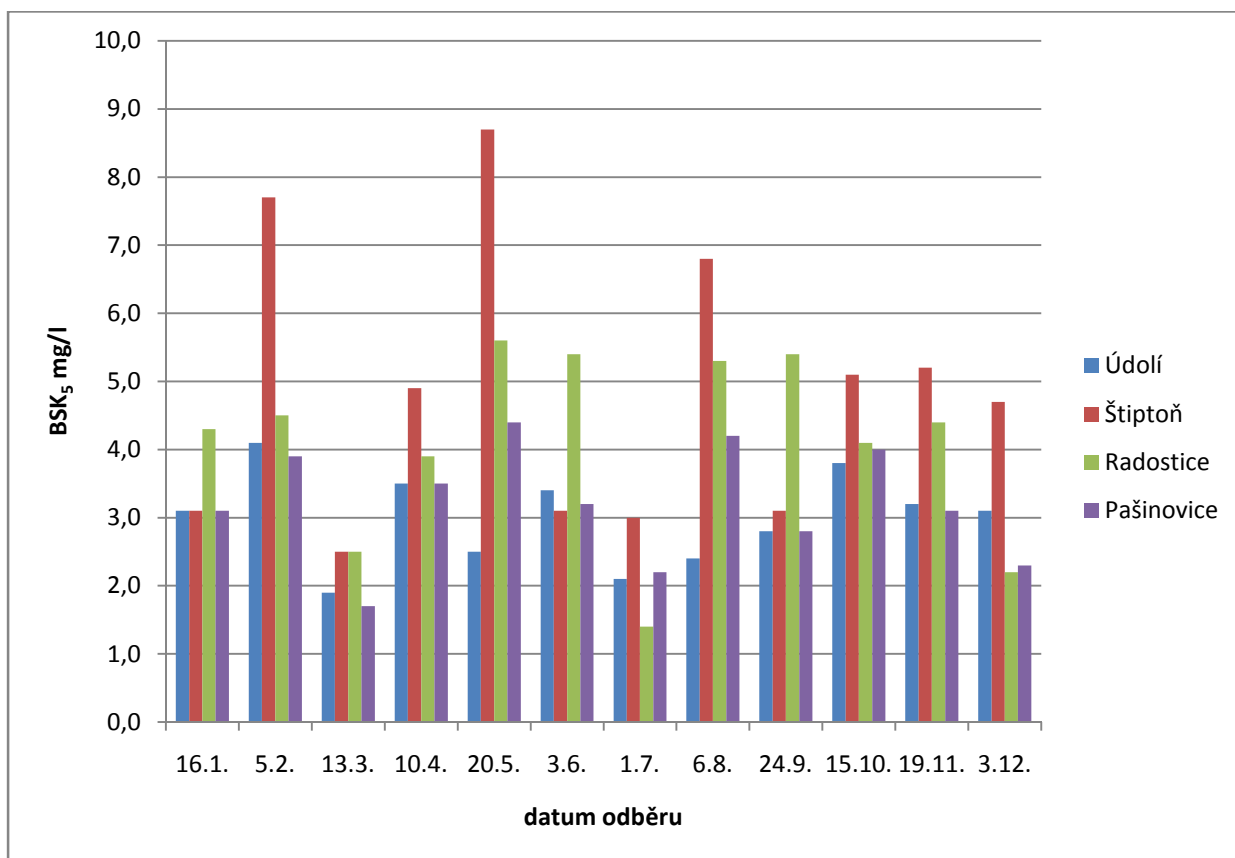
4. VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1. Sledování jakosti vody ve Stropnici v roce 2013

Byla sledována jakost vody v řece Stropnici po dobu roku 2013 na čtyřech odběrových profilech. Jako ukazatele byly vybrány biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech, chemická spotřeba kyslíku dichromanovou metodou, dusičnanový dusík, amoniakální dusík a celkový fosfor. Jednotlivé odběry byly prováděny jedenkrát měsíčně.

4.1.1. Biochemická spotřeba kyslíku

Na následujícím obrázku jsou znázorněny hodnoty BSK₅ v průběhu roku 2013 na všech odběrových profilech.



Obrázek 2: Závislost BSK₅ na datu odběru v roce 2013

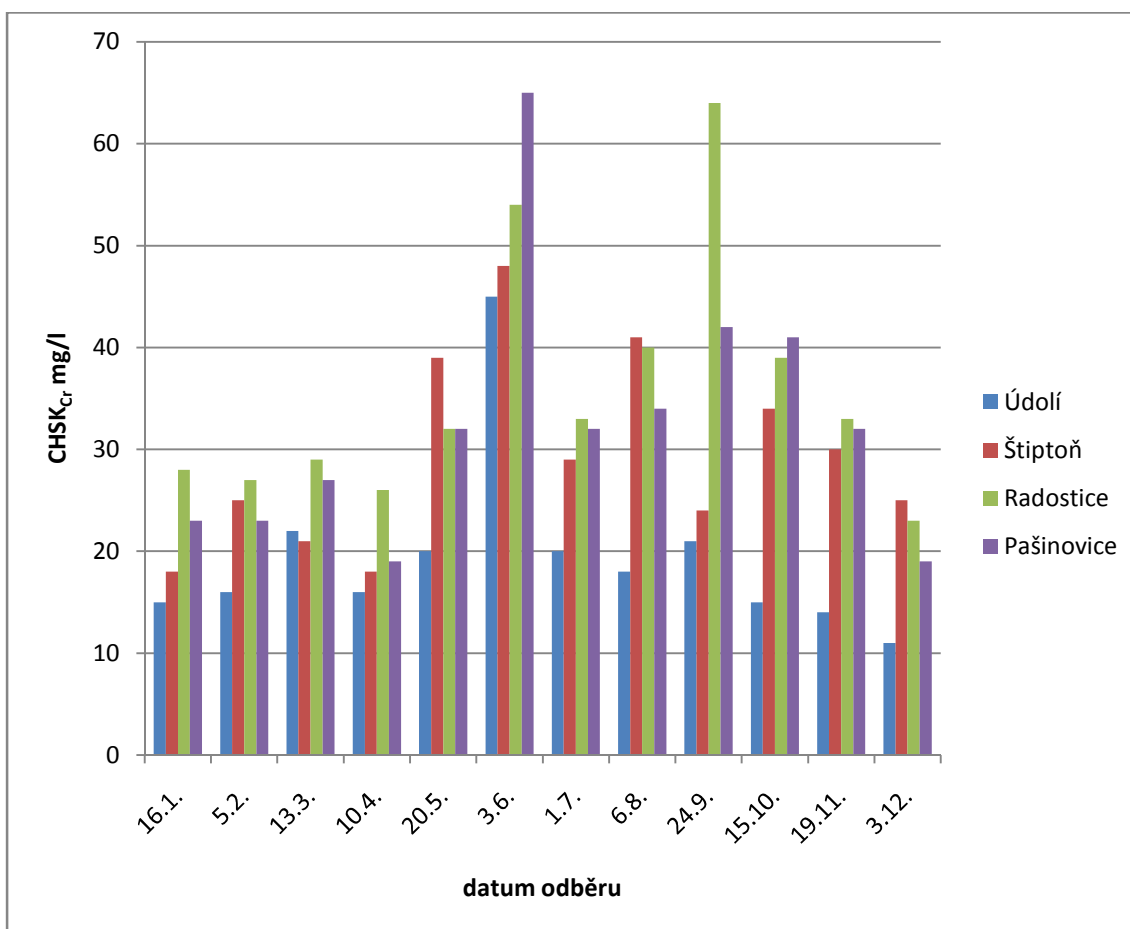
Na grafu na obrázku 2 jsou vidět výkyvy v průběhu roku, které však nejsou nijak zásadní, je to přirozená fluktuace. Jsou zde vidět tři výraznější nárůsty a to v únoru, květnu a srpnu vždy na profilu Štiptůň. Nejvyšší hodnota se dostala až na hodnotu 8,7 mg/l v květnu. Naopak nejnižší hodnota za celý rok je 1,4 mg/l v červenci na profilu Radostice.

Pokles při odběru v červenci může být způsoben tím, že po červnových povodních jsou všechny mikroorganismy spláchnuty velkou vodou.

Mezi odběrovým profilem Štiptůň a Radostice se nachází velké množství rybníků, vyšší hodnoty BSK₅ mohou být způsobeny přítoky z rybníku.

4.1.2. Chemická spotřeba kyslíku

Na obrázku 3 je možné vidět hodnoty $CHSK_{Cr}$ ze všech odběrových profilů.



Obrázek 3: Závislost $CHSK_{Cr}$ na datu odběru v roce 2013

Nárůst $CHSK_{Cr}$, který je zřetelný především u odběru z 3.6, je způsoben velkým zvětšením průtoku v období začínajících povodní. Při větším průtoku došlo ke splachu více organických látek do řeky. Jelikož řeka Stropnice pramení v Novohradských horách, kde se nachází rašeliniště, do toku se dostalo více huminových látek, které jsou špatně biologicky rozložitelné.

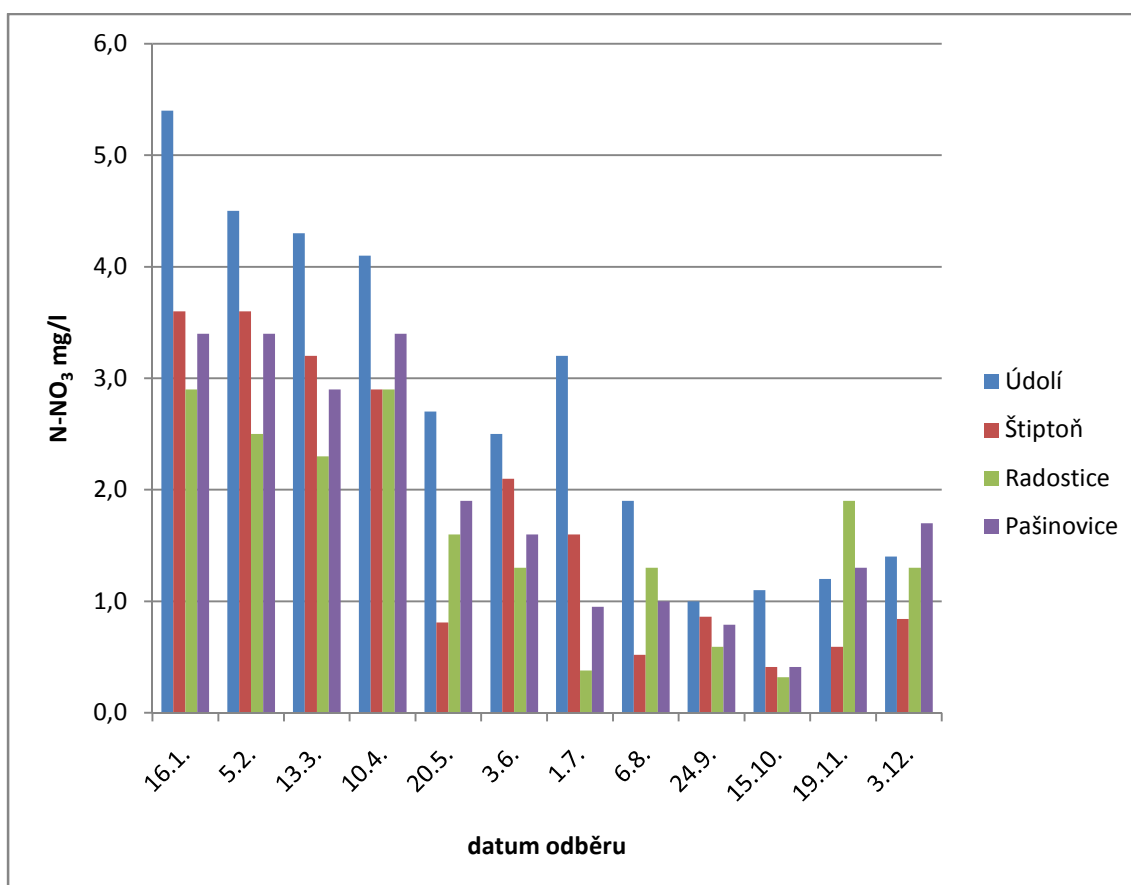
Všechny zvýšené hodnoty u $CHSK_{Cr}$ jsou zapříčiněny větším průtokem po dešti, kdy se do vod dostává více organického materiálu.

Nejvyšší hodnota $CHSK_{Cr}$, která byla v průběhu roku naměřena byla na odběrovém profilu Pašínovice 3.6. Téměř stejná hodnota byla zjištěna při odběru 24.9. na profilu Radostice.

Celkově je vidět, že hodnoty CHSK_{Cr} mírně stoupají v teplých měsících, a ke konci roku opět klesají. Stejně tak stoupají po toku řeky až ke třetímu odběrovému profilu Radostice, na posledním profilu opět klesají, s výjimkou odběru 3.6. Výjimečně odlišné jsou hodnoty z 3.6. pro odběrové místo Radostice a Pašínovice, v případě Radostic i pro zářijový odběr.

4.1.3. Dusičnanový dusík

Na následujícím obrázku 4 je možné vidět závislost hodnot N-NO_3^- na odběrech v průběhu roku 2013 ze všech profilových odběrů.



Obrázek 4: Závislost N-NO_3^- na datu odběru v roce 2013

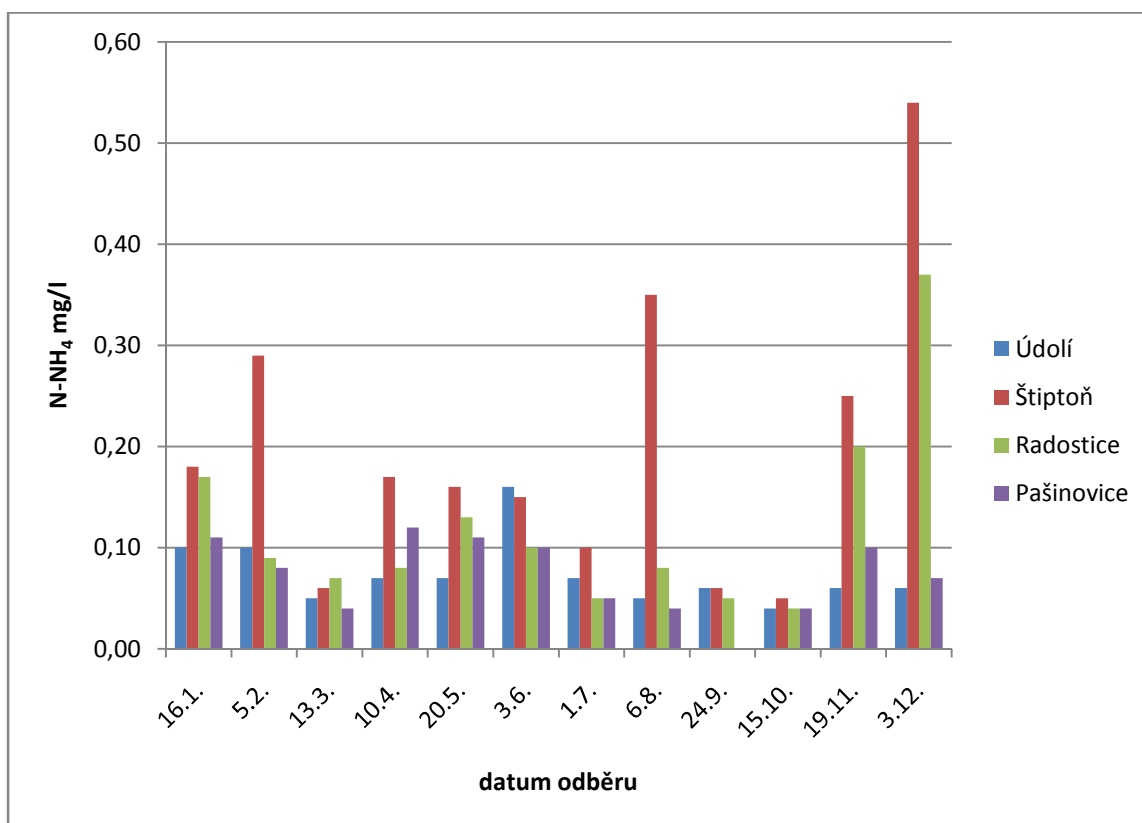
U N-NO_3^- je vidět pokles hodnot směrem k letním až podzimním měsícům. Je to zapříčiněno vzestupem teplot, tím vyšší aktivitou mikroorganismů a také nárůstem výskytu zelených rostlin, které zabudovávají dusík do své biomasy. V zimních měsících

je možné odůvodnit vyšší hodnoty také tím, že mohou být větší splachy z okolních polí a luk. Na loukách není nic vzrostlé a nic tedy nezadržuje vodu a všechna odtéká do řeky. Opětovný nárůst v podzimních měsících by také mohl být způsoben hnojením a následnými splachy hnojiv do řeky.

Velice zajímavé je, že nejvyšší hodnoty N-NO_3^- jsou zaznamenány téměř vždy na prvním odběrovém profilu, který je pod národní přírodní památkou Terčino údolí, není zde tedy žádná zemědělská ani jiná výraznější lidská činnost, a přesto jsou hodnoty nejvyšší. Směrem dále po toku tedy dochází k denitrifikaci.

4.1.4. Amoniakální dusík

Výsledky N_{amon} jsou uvedeny na následujícím obrázku 5.



Obrázek 5: Závislost N_{amon} na datu odběru v roce 2013

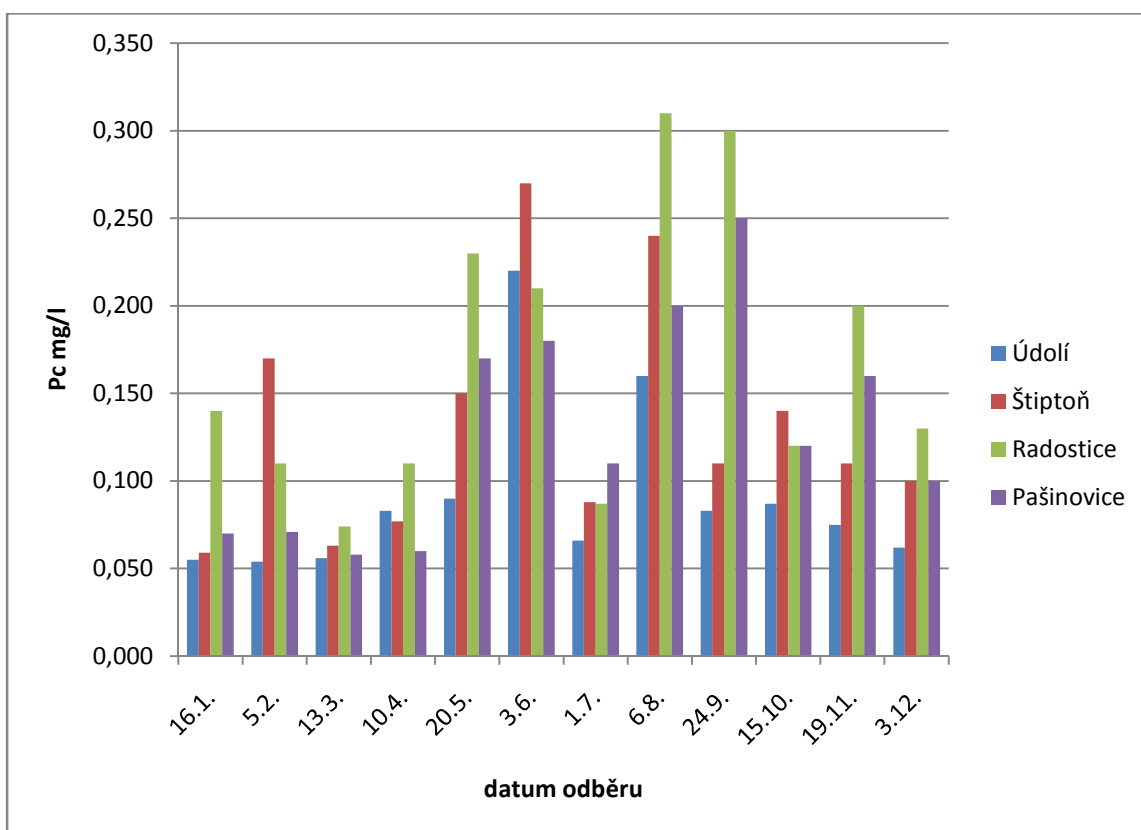
N_{amon} se pohybuje ve velice nízkých hodnotách téměř po celý rok. Oproti předchozím ukazatelům, které jsou v jednotkách mg/l, se N_{amon} pohybuje v desetinách mg/l.

Zvýšené jednorázové nárůsty mohou být zapříčiněny jednorázovým hnojením nebo pravděpodobněji vypouštěním kanalizace v menších osadách.

U odběru z 24.9 na profilu Pašínovce je hodnota menší než 0,03 mg/l, což je hodnota meze stanovitelnosti.

4.1.5. Celkový fosfor

Výsledky stanovení celkového fosforu v průběhu roku 2013 jsou uvedeny na následujícím obrázku 6.



Obrázek 6: Závislost P_c na datu odběru v roce 2013

Při diskuzi výsledků P_c je třeba si uvědomit, že stejně jako v případě amoniakálního dusíku se celkově jedná o velmi nízké hodnoty (řádově desetiny mg/l), takže většina výkyvů je zanedbatelných.

Nárůsty hodnot na druhém odběrovém profilu oproti prvnímu mohou být způsobeny čistírnou odpadních vod města Nové Hradky, která se nezabývá čistěním fosforu. Je tu tedy vliv městské kanalizace.

Hodnoty celkového fosforu se většinou lehce zvyšují k třetímu odběrovému profilu Radostice. Mezi druhým a třetím profilem se nachází hodně rybníků, zvýšení hodnot tedy může být způsobeno i přítoky z těchto okolních rybníků.

V průběhu roku je vidět narůstání hodnot směrem k letním měsícům, a poté opět pokles k měsícům zimním. Anomálně působí výrazný pokles u všech profilů při odběru v červenci. Stoupající hodnoty v létě jsou zapříčiněny vyšší teplotou a tedy vyšší aktivitou mikroorganismů.

4.1.6. Celkový přehled na celém toku za rok 2013

Výsledné průměrné a charakteristické hodnoty pěti ukazatelů sledovaných v roce 2013 na čtyřech odběrových profilech na Stropnici jsou shrnuty v tabulce 4 a 5 společně s odpovídajícím zařazením do třídy jakosti vody. Zařazení do jakostní třídy je podle tabulky 3 ze strany 29 v Teoretické části. V tabulce 1 v Teoretické části jsou uvedeny environmentální normy pro jednotlivé ukazatele.

Tabulka 4: Výsledné průměrné a charakteristické hodnoty ukazatelů BSK₅ a CHSK_{Cr} v roce 2013

	BSK ₅			CHSK _{Cr}		
	Ø	c90	třída jakosti	Ø	c90	třída jakosti
Údolí	3	2,1	II.	19,4	22	I.
Štipton	4,8	7,7	III.	29,3	41	III.
Borovany pod	4,3	5,4	III.	36,8	54	III.
Pašínovice	3,2	4,2	III.	32,4	42	III.

Tabulka 5: Výsledné průměrné a charakteristické hodnoty ukazatelů N-NO₃⁻, N_{amon} a P_c v roce 2013

	N-NO ₃			N-NH ₄			P _c		
	Ø	c90	třída jakosti	Ø	c90	třída jakosti	Ø	c90	třída jakosti
Údolí	2,8	4,5	II.	0,07	0,1	I.	0,09	0,16	III.
Štipton	1,8	3,6	II.	0,2	0,35	II.	0,13	0,24	III.
Borovany pod	1,6	2,5	I.	0,1	0,2	I.	0,17	0,3	III.
Pašínovice	1,9	3,4	II.	0,1	0,12	I.	0,1	0,2	III.

Červená čísla v tabulce znamenají překročení NEK – RP z nařízení vlády 61/2003 Sb.

Z ročního pozorování toku Stropnice se dá říci, že nejčastěji se její voda zařazuje do III. jakostní třídy. Jediným ukazatelem, který se řadí do třídy IV. je CHSK_{Cr}.

U celkového fosforu můžeme pozorovat stabilní stav po celý rok. Na tekoucí řece zvýšené znečištění fosforem příliš nevádí, problém však může kvůli vyšší hodnotě fosforu nastat dále po toku ve stojatých nádržích – eutrofizace.

Poměrně nízké hodnoty N-NO₃⁻ a N_{amon} mohou být zapříčiněny tím, že v okolí Stropnice není příliš rozšířená zemědělská činnost, do řeky se tedy nedostávají splachy z hnojených polí, které by mohly hodnoty výrazně zvyšovat.

Směrem po toku se okolí řeky více osidluje, zvyšuje se lidská činnost a přitékají vody z okolních rybníků a potoků.

4.1.7. Odpadní vody za rok 2013

Odpadní voda je měřena dvakrát do roka na odtoku ze tří čistíren odpadních vod na Stropnici. Výsledné hodnoty naměřené v roce 201 jsou zapsány v tabulce 6.

Limity pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových jsou v tabulce 2 ze strany 26 v Teoretické části.

Tabulka 6: Výsledné hodnoty na odtoku ČOV na Stropnici

Datum odběru	Místo odběru	BSK₅ mg/l	CHSK_{Cr} mg/l	N_{amon} mg/l	P_c mg/l
26.6.2013	Horní Stropnice ČOV odtok	6,3	44	0,12	3,3
9.9.2013	Horní Stropnice ČOV odtok	2,5	38	0,39	8,8
26.6.2013	Nové Hrady ČOV odtok	11	55	0,04	0,75
9.9.2013	Nové Hrady ČOV odtok	7,2	54	0,50	15
26.6.2013	Borovany ČOV odtok	2,5	32	0,03	0,97
9.9.2013	Borovany ČOV odtok	2,7	52	0,09	4,9

Všechny výsledné hodnoty jsou pod limitní hodnotou udávanou nařízením vlády 61/2003 Sb. Avšak hodnoty N_{amon} a P_c podle těchto naměřených hodnot není možné hodnotit na základně tabulky 2, jelikož nejsou naměřeny průměrné roční hodnoty, ale hodnoty ze slévaného směšného vzorku pouze ze dvou odběrů za rok. Limit, který udává nařízení vlády 61/2003 Sb. pro N_{amon} a P_c je limitní hodnota pro roční průměr z 12 odběrů.

Velký nárůst je zaznamenán při odběru vzorku ze dne 9.9.2013 na odtoku z ČOV Nové Hrady, kde naměřená hodnota celkového fosforu dosáhla hodnoty 15 mg/l. ČOV Nové Hrady nemá prostředky na odstraňování fosforu z odpadní vody, proto může docházet k velkým výkyvům ve výsledných hodnotách při jednotlivých měřeních.

4.1.8. Zhodnocení výsledků v roce 2013

V roce 2013 se ukazatel biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech řadí do III. jakostní třídy, tedy voda znečištěná. Chemická spotřeba kyslíku je v jakostní třídě IV. - voda

silně znečištěná. Další ukazatel dusičnanový dusík se nachází ve II. třídě, tedy voda mírně znečištěná, stejně jako amoniakální dusík. Celkový fosfor je ve třídě III.

Nejnižší průměrné hodnoty byly naměřeny u všech ukazatelů kromě N-NO_3^- a N_{amon} (tyto hodnoty jsou však velmi nízké) na prvním odběrovém profilu Údolí, poté hodnoty stoupají a na posledním odběrovém profilu Pašínovice opět klesají. Jedná se tedy o samočištění řeky přirozeným způsobem.

4.2. Sledování jakosti vody ve Stropnici v letech 2008 – 2013

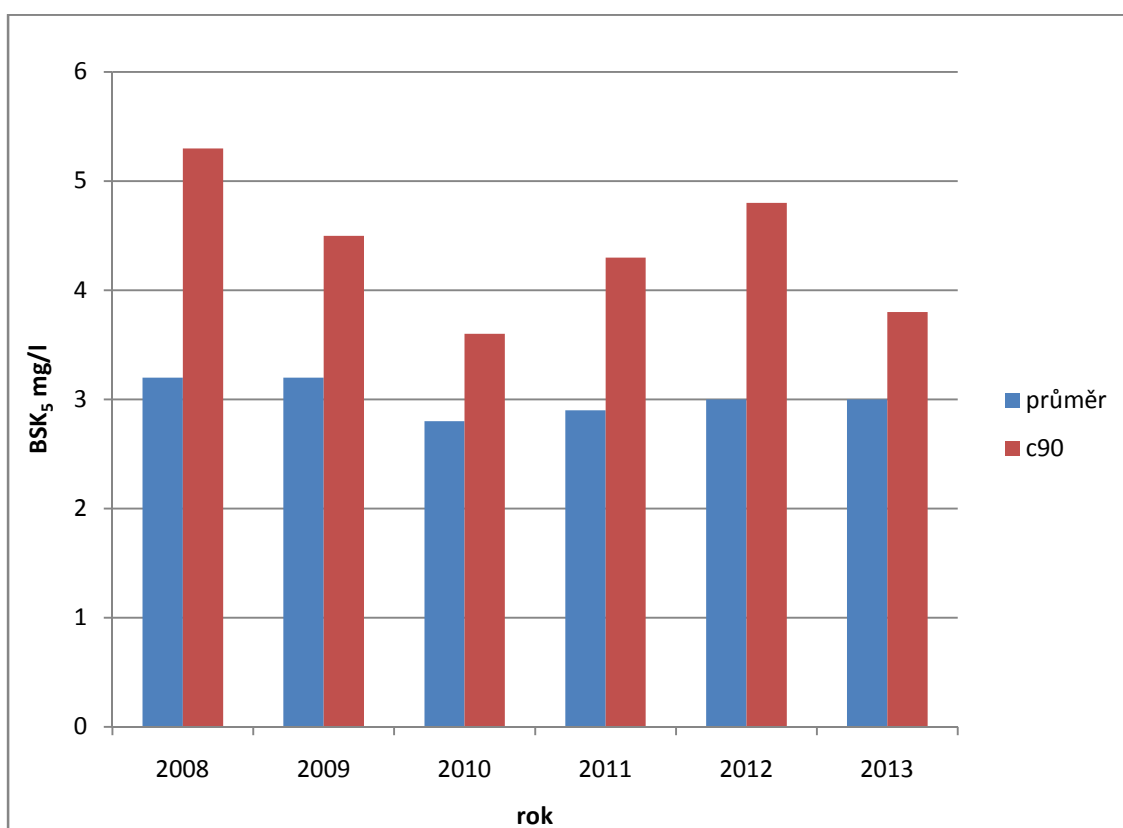
Odběry byly prováděny na čtyřech profilech po toku řeky Stropnice v měsíčních intervalech jako v roce 2013. Výsledné hodnoty v letech 2008 – 2012 byly získány z Povodí Vltavy.

Hodnoty normy environmentální kvality vody z nařízení vlády 61/2003 Sb. jsou uvedeny v tabulce 1 na straně 25 v Teoretické části.

Řazení do jednotlivých tříd jakosti vody je podle tabulky 3 ze strany 29 v Teoretické části.

4.2.1. Odběrový profil Údolí

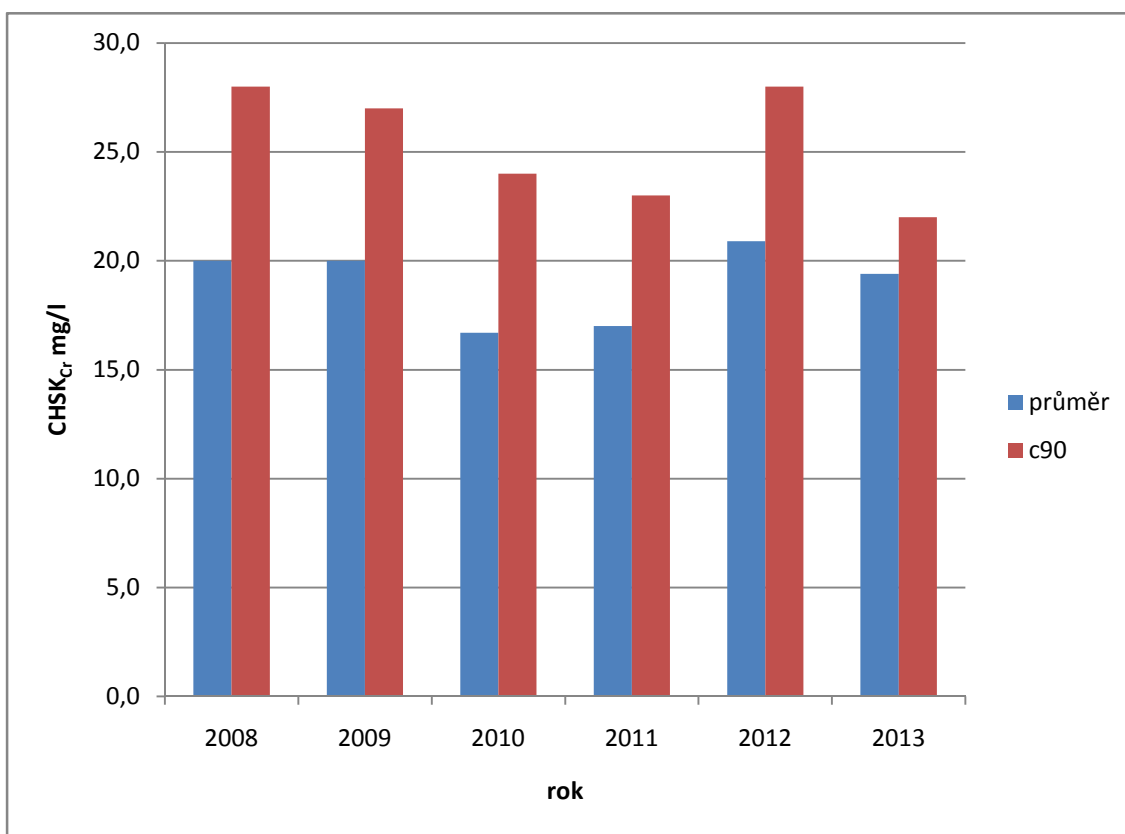
Následující obrázek 7 znázorňuje výsledné hodnoty BSK₅ v jednotlivých letech 2008 – 2013.



Obrázek 7: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro BSK₅ na profilu Údolí v letech 2008 - 2013

Jak je patrné z obrázku 7 průměrné roční hodnoty BSK₅ se od roku 2008 nedostaly nad hranici environmentální normy 3,8 mg/l, kterou udává nařízení vlády 61/2003 Sb. Příznivé je i zařazení do jakostních tříd podle charakteristické hodnoty. Pouze hodnoty BSK₅ z roku 2008 řadí Stropnici do III. jakostní třídy, hodnoty s dalších let ji pak řadí do třídy II.

Na následujícím obrázku 8 jsou výsledné hodnoty CHSK_{Cr} na odběrovém profilu Údolí za roky 2008 – 2013.

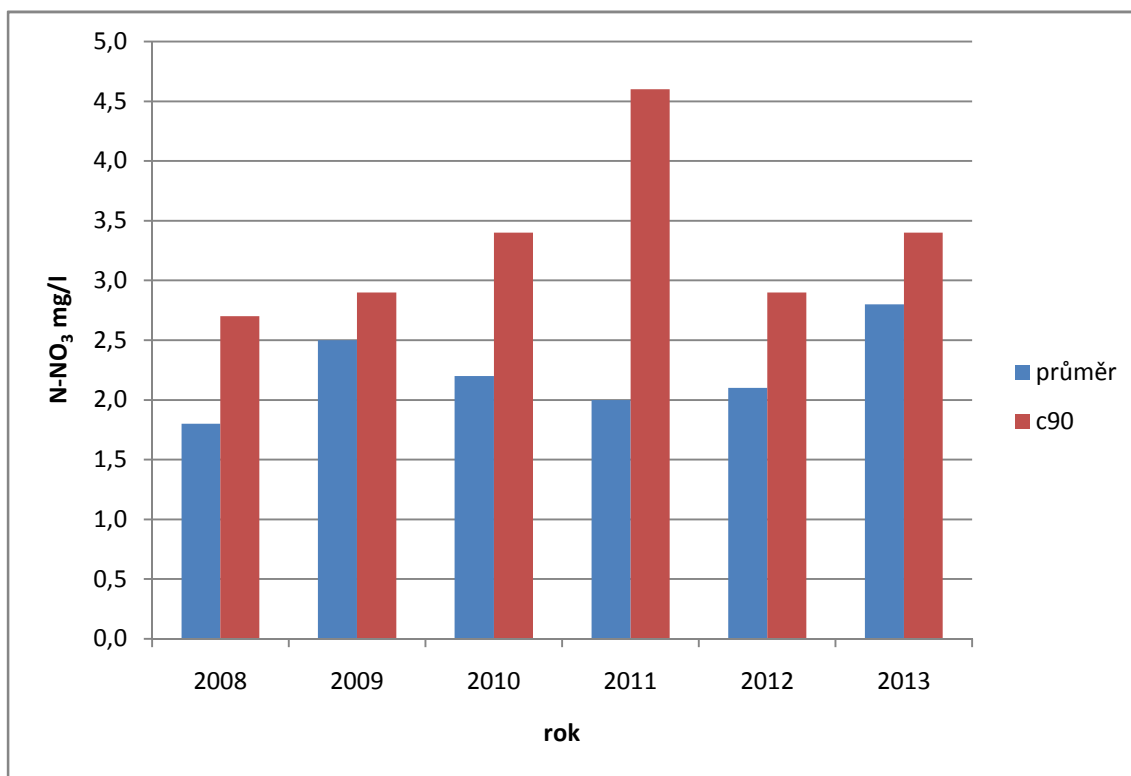


Obrázek 8: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro CHSK_{Cr} na profilu Údolí v letech 2008 - 2013

Z grafu na obrázku 8 je vidět, že všechny průměrné hodnoty CHSK_{Cr} jsou pod hodnotou 26 mg/l, což je norma daná nařízením vlády. Nejvyšší hodnota je z roku 2012, a to 20,9 mg/l. Podle charakteristických hodnot CHSK_{Cr} se voda ve Stropnici řadí v letech

2008, 2009 a 2012 do III. jakostní třídy, jelikož hodnoty jsou vyšší než 25 mg/l. Charakteristické hodnoty z let 2010, 2011 a 2013 jsou mezi 15 mg/l a 25 mg/l, což odpovídá zařazení do II. třídy.

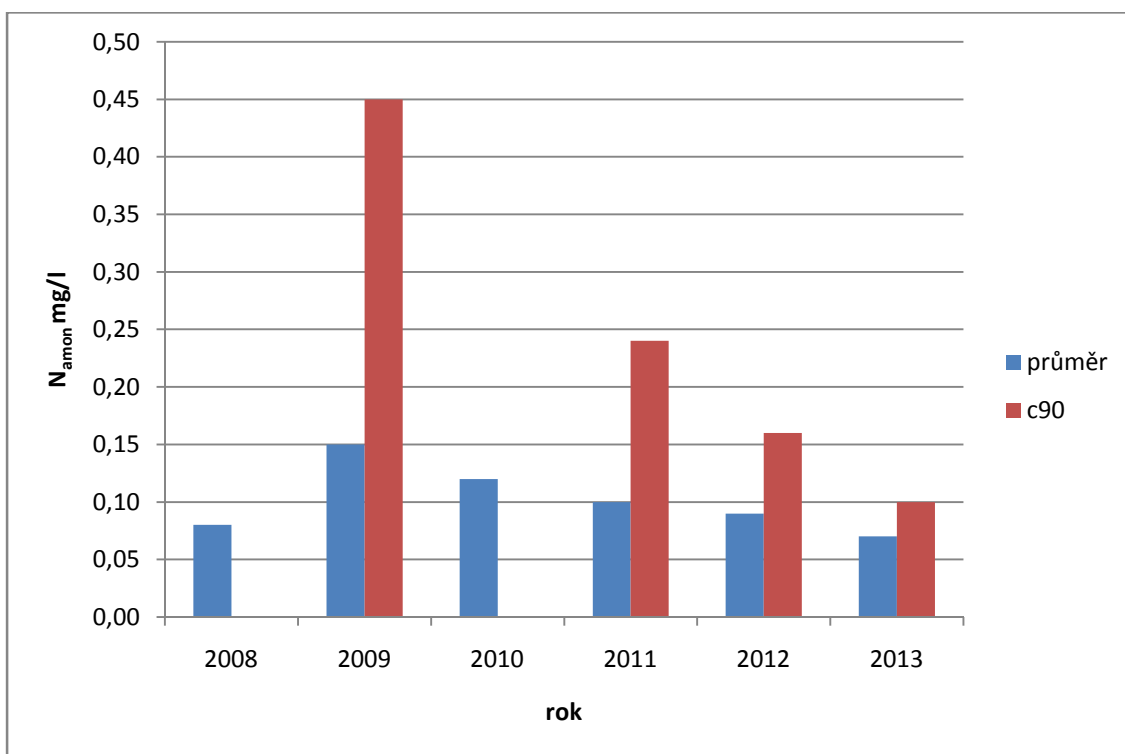
Obrázek 9 udává výsledné průměrné a charakteristické hodnoty N-NO₃⁻.



Obrázek 9: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N-NO₃⁻ na profilu Údolí v letech 2008 - 2013

Podle charakteristických hodnot N-NO₃⁻ se řadí kvalita vody ve Stropnici na odběrovém místě Údolí v letech 2008, 2009 a 2012 do II. jakostní třídy. Vzestup hodnot v roce 2011 zařazuje vodu ve Stropnici, v tomto roce, do třídy III. Stejně tak se do III. jakostní třídy řadí i hodnoty z let 2010 a 2013, jejichž charakteristická hodnota je 3,4 mg/l, což je přesně hranice II. a III. třídy.

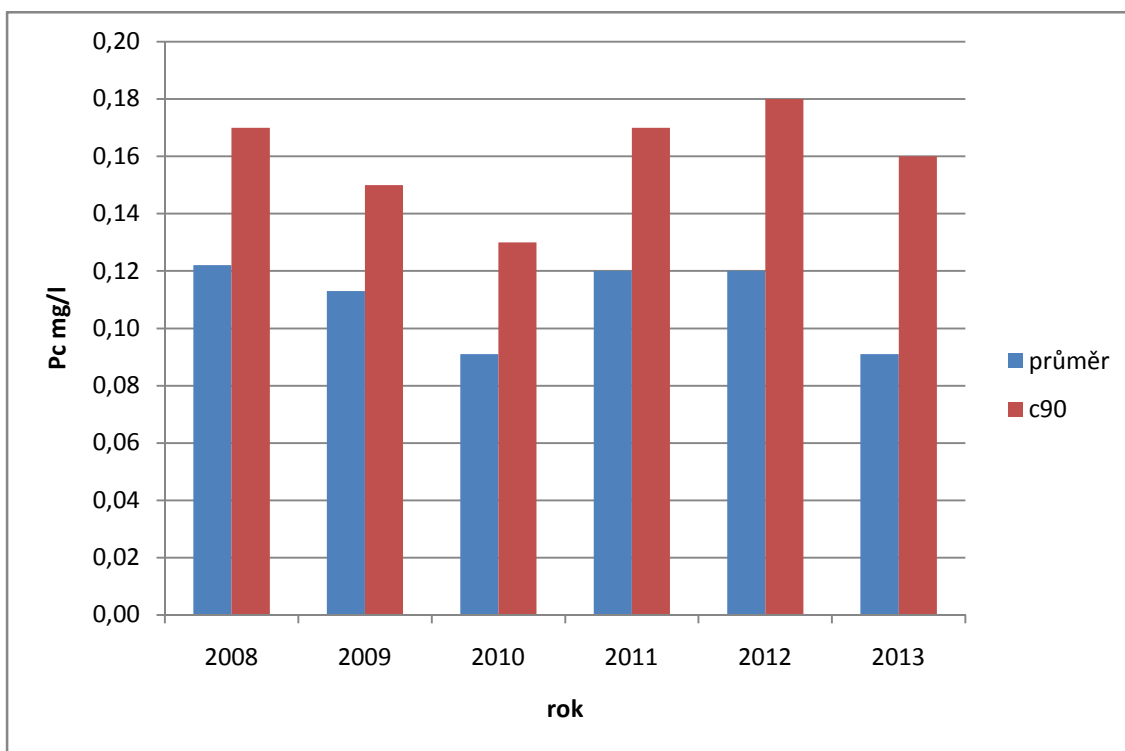
Následující obrázek 10 znázorňuje výsledné průměrné a charakteristické hodnoty N_{amon} od roku 2008 na odběrovém profilu Údolí.



Obrázek 10: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N_{amon} na profilu Údolí v letech 2008 - 2013

V grafu na obrázku 10 je vidět, že průměrné hodnoty N_{amon} se nijak výrazně nemění. Větší rozkolísanost je u charakteristických hodnot. Charakteristické hodnoty jsou v letech 2008 a 2010 $<0,03$ mg/l, což je mez detekce. Podle těchto hodnot se voda ve Stropnici řadí na profilu Údolí do I. jakostní třídy, stejně tak i v letech 2011, 2012 a 2013. Hodnota v roce 2009 narostla na 0,45 mg/l, což vede k zařazení do II. jakostní třídy.

Obrázek 11 znázorňuje hodnoty P_c z let 2008 – 2013 na odběrovém profilu Údolí.

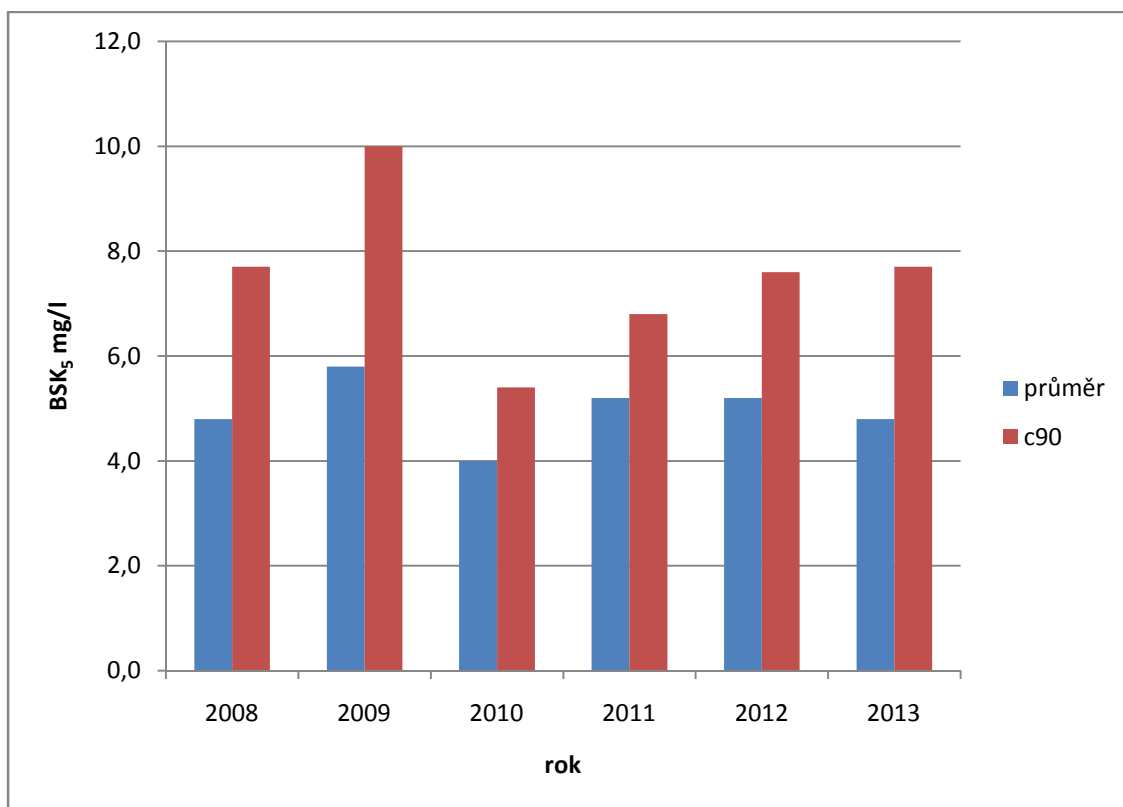


Obrázek 11: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro P_c na profilu Údolí v letech 2008 - 2013

Z grafu na obrázku 11 je vidět, že průměrné hodnoty P_c se po celou dobu pohybují v úzkém intervalu mezi 0,09 mg/l a 0,12 mg/l. Podle charakteristických hodnot se voda ve Stropnici řadí do III. jakostní třídy. Výjimkou je pouze hodnota z roku 2010, kdy došlo k poklesu na hodnotu 0,13 mg/l, která se zařazuje do II. jakostní třídy. Hranice mezi II. a III. jakostní třídou je 0,15 mg/l. Všechny charakteristické hodnoty P_c se pohybují velmi blízko rozmezí těchto dvou tříd.

4.2.2. Odběrový profil Štiptoň

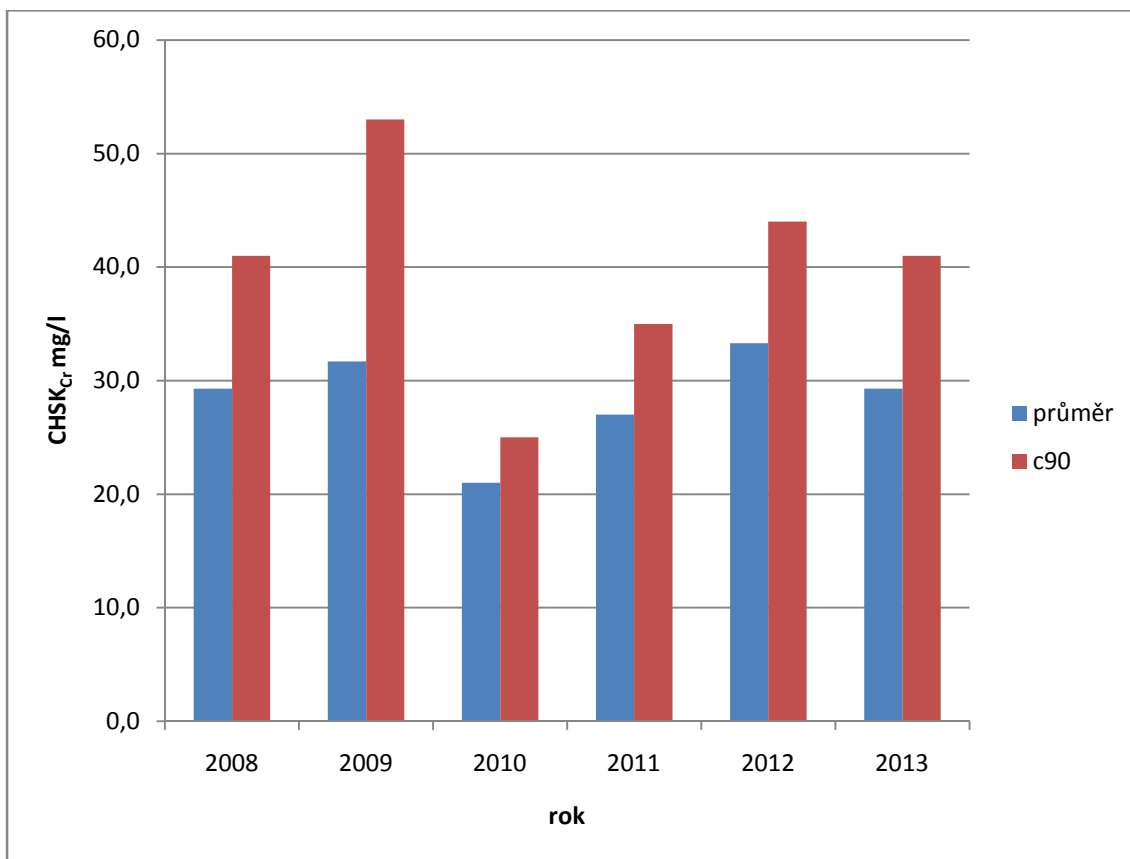
Následující obrázek 12 ukazuje průměrné a charakteristické hodnoty BSK₅ v letech 2008 – 2013.



Obrázek 12: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro BSK₅ na profilu Štiptoň v letech 2008 - 2013

Nařízení vlády 61/2003 Sb. udává jako environmentální normu hodnotu 3,8 mg/l. Z grafu na obrázku 12 vyplývá, že průměrné hodnoty ze všech let 2008 – 2013 tuto normu překročily. Kvalita vody se na tomto profilu podle zařazení do třídy jakosti vody téměř nemění. Od roku 2008 se hodnoty BSK₅ vychýlily z III. třídy jakosti vod pouze v roce 2009, kdy se charakteristická hodnota dostala na hranici III. a IV. třídy na hodnotu 10,0 mg/l.

Výsledky $CHSK_{Cr}$ pro odběrový profil Štiptoň ve sledovaném období jsou znázorněny na obrázku 13.

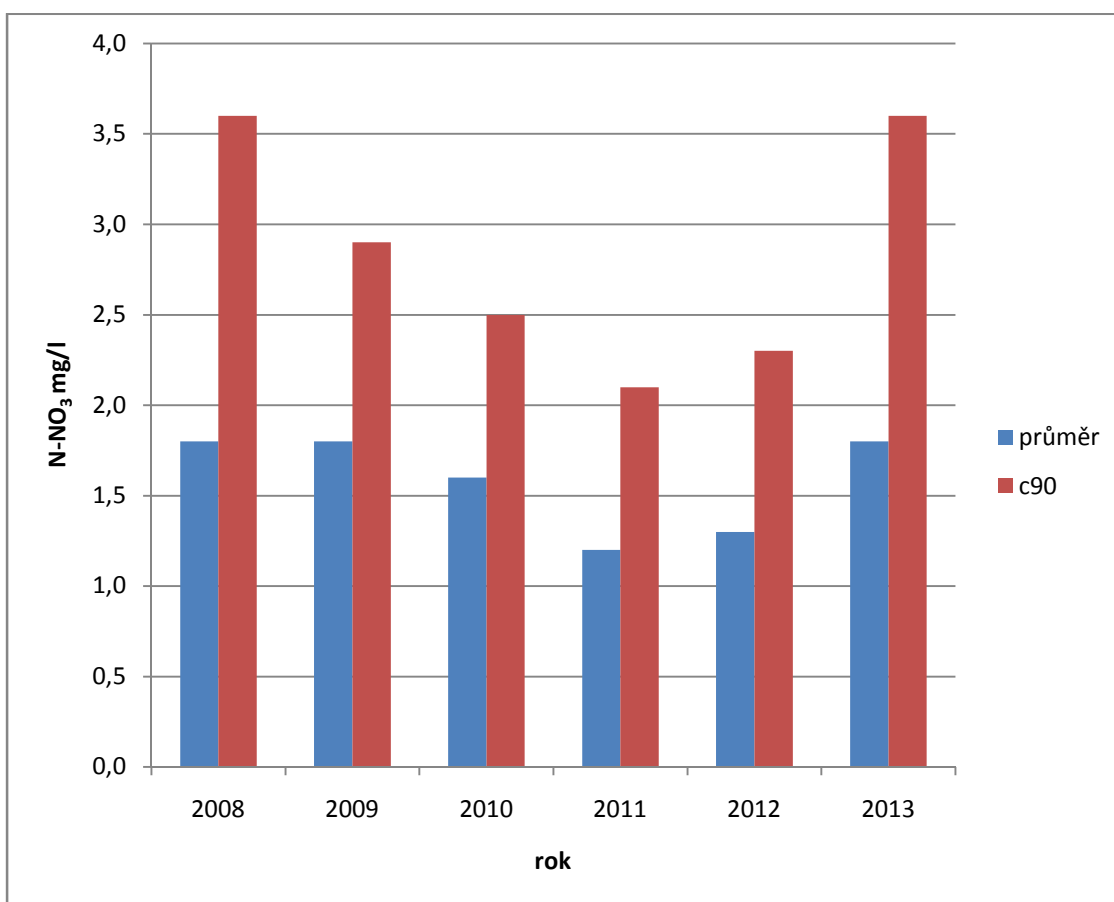


Obrázek 13: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro $CHSK_{Cr}$ na profilu Štiptoň v letech 2008 - 2013

Při porovnání obrázků 12 a 13 lze pozorovat velice podobné výkyvy hodnot $CHSK_{Cr}$ a BSK_5 ve sledovaném období. Z obrázku 13 dále vyplývá, že průměrné roční hodnoty $CHSK_{Cr}$ vyhovují nařízení vlády, které udává normu 26 mg/l, pouze v roce 2010. Podle charakteristických hodnot byly hodnoty z let 2008 a 2009 zařazeny do IV. jakostní třídy, ale v roce 2009 byla dosažena hodnota 53 mg/l, což je těsně pod zařazením do V. třídy. V roce 2010 došlo k výraznému poklesu na hodnotu 25 mg/l, což je přesně hranice mezi II. a III. třídou. Od roku 2010 do roku 2012 docházelo každým rokem k mírnému nárůstu hodnot $CHSK_{Cr}$, kdy hodnota z roku 2011 je přesně na hranici mezi III. a IV. třídou a hodnota z roku 2012 je již třída IV. I v roce 2013 se hodnota $CHSK_{Cr}$ řadí do třídy IV. Jelikož je tento odběrový profil situován pod výpustí ČOV Nové

Hrady, je tu možnost, že kvalita vody je tu ovlivněna právě čistírnou odpadních vod a městem Nové Hrady. U CHSK_{Cr} je tento vliv nejvýraznější, jelikož se jedná o biologickou čistírnu odpadních vod a velká část špatně biologicky rozložitelných látek projde čistírnou do řeky.

Na obrázku 14 jsou znázorněny výsledné hodnoty N-NO_3^- ze sledovaného období (2008 – 2013) na všech odběrových profilech.

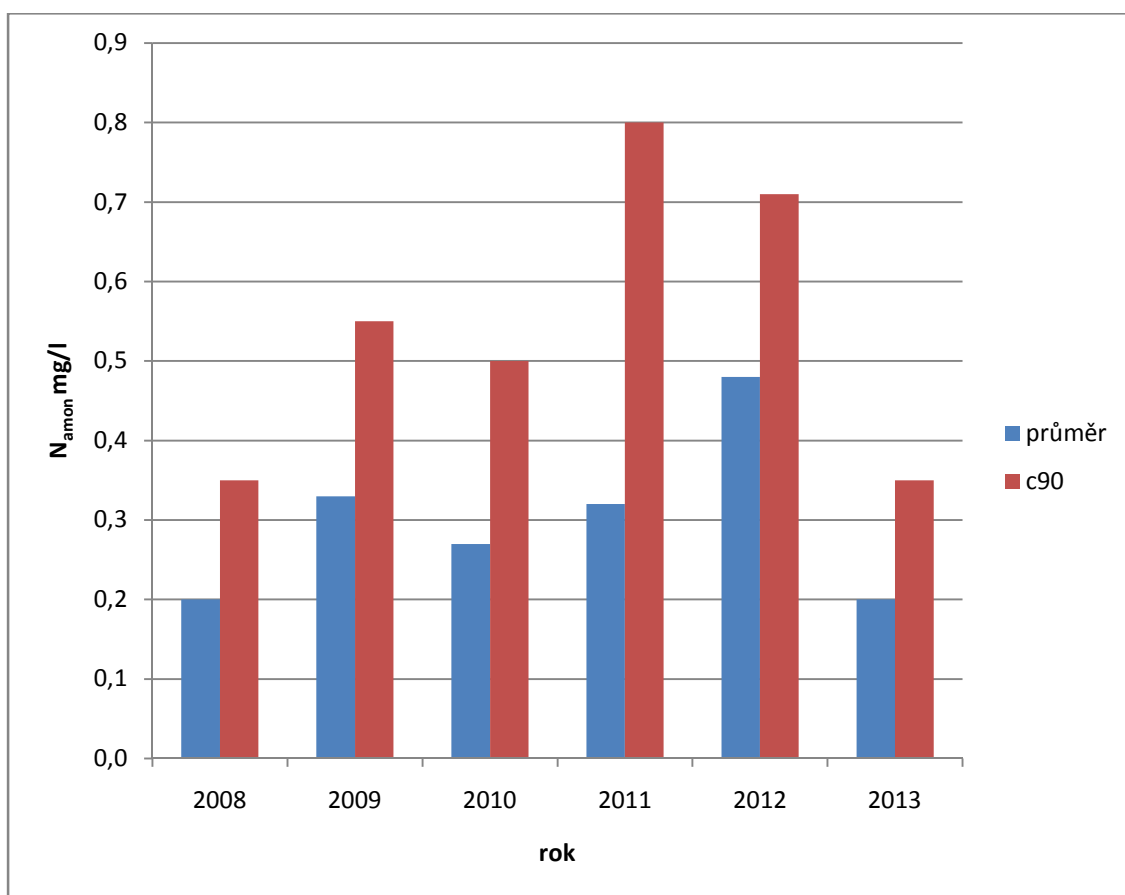


Obrázek 14: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N-NO_3^- na profilu Štíptoš v letech 2008 - 2013

Na grafu na obrázku 14 je zřetelné, že hodnota 5,4 mg/l, kterou udává nařízení vlády 61/2003 Sb., je vysoko nad průměrnými hodnotami z jednotlivých let. Charakteristické hodnoty se pohybují od 2,1 mg/l do 3,6 mg/l, což řadí vodu ve Stropnici po celé

sledované období do I. a do II. jakostní třídy. Celkově je situace s N-NO_3^- v profilu Štiptůň příznivá.

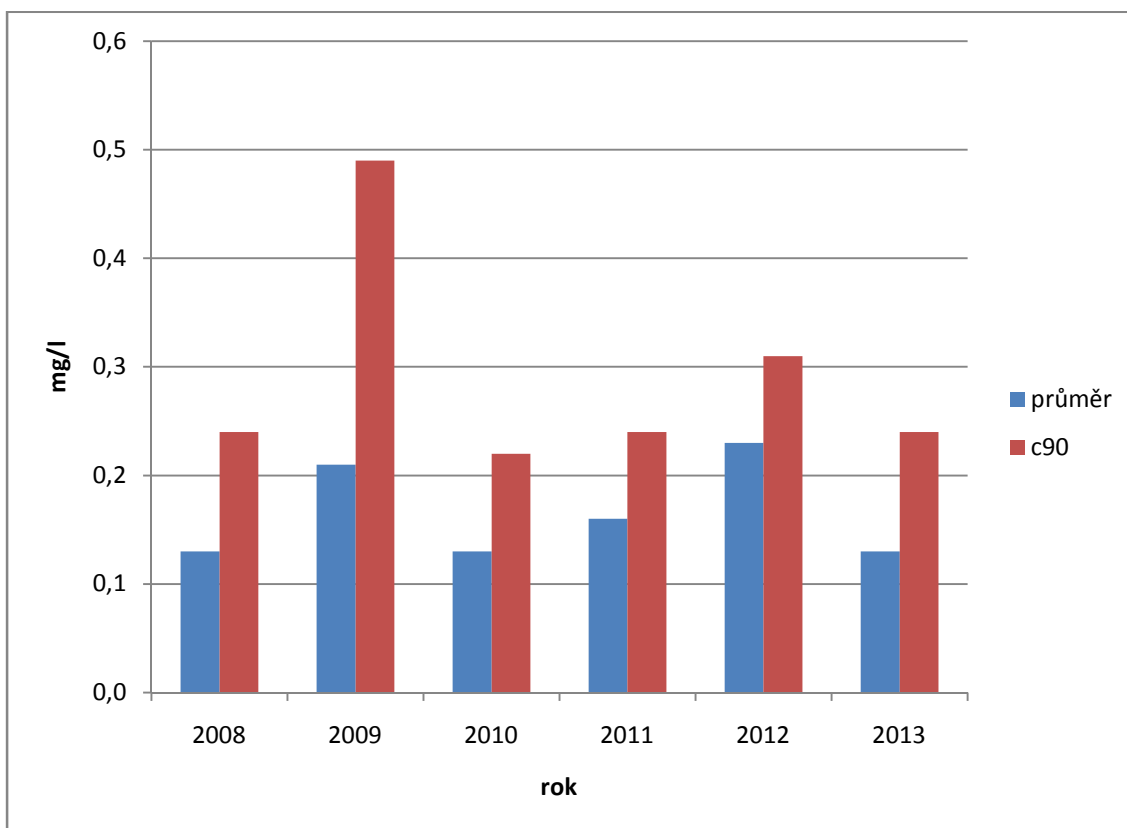
Výsledky ukazatele N_{amon} od roku 2008 na odběrovém profilu Štiptůň jsou znázorněny v grafu na obrázku 15.



Obrázek 15: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N_{amon} na profilu Štiptůň v letech 2008 - 2013

Na obrázku 15 je z průměrných ročních hodnot patrné, že hodnotě 0,23 mg/l, kterou udává nařízení vlády 61/2003 Sb. jako environmentální normu, vyhovují pouze hodnoty N_{amon} v letech 2008 a 2013. Podle charakteristických hodnot se za posledních šest let hodnoty N_{amon} stále pohybují ve škále II. nebo III. jakostní třídy, kdy do II. třídy se řadí hodnoty z let 2008 a 2013. Positivní je opětovný pokles jak průměrné, tak charakteristické hodnoty v roce 2013.

Na obrázku 16 jsou znázorněny výsledné průměrné a charakteristické hodnoty celkového fosforu od roku 2008 na odběrovém profilu Štiptoň.



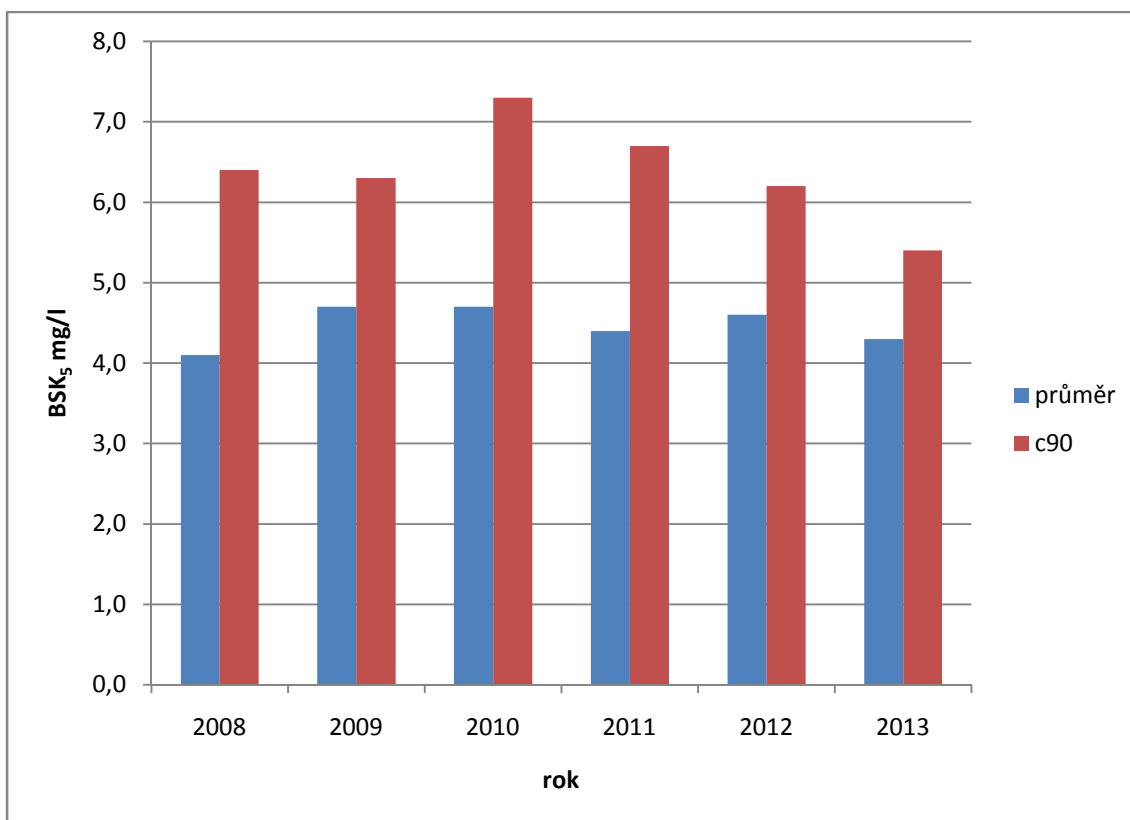
Obrázek 16: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro P_c na profilu Štiptoň v letech 2008 - 2013

Nařízení vlády 61/2003 Sb. udává jako environmentální normu hodnotu 0,15 mg/l. Z grafu na obrázku 16 je vidět, že pod hodnotou normy jsou průměrné roční hodnoty z let 2008, 2010 a 2013. Průměrné hodnoty z let 2009, 2011 a 2012 tuto normu překračují.

Charakteristické hodnoty celkového fosforu se na profilu Štiptoň pohybují ve III. jakostní třídě. Pouze v roce 2009 došlo k nárůstu na hodnotu 0,49 mg/l, a tedy k zařazení do třídy IV. Positivní je opět pokles obou hodnot, znázorněných v grafu, v posledním sledovaném roce 2013.

4.2.3. Odběrový profil Radostice

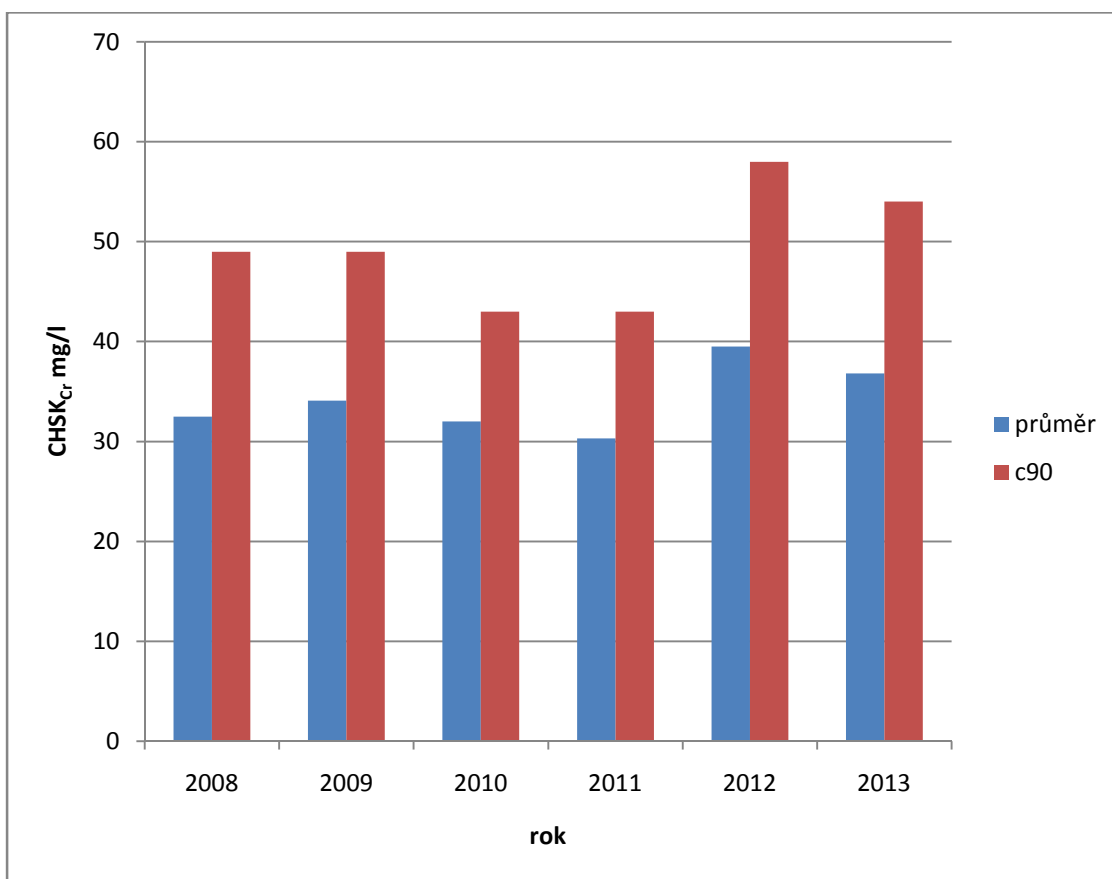
Na obrázku 17 jsou shrnuty všechny výsledné průměrné a charakteristické hodnoty BSK₅ ze třetího odběrového místa od roku 2008.



Obrázek 17: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro BSK₅ na profilu Radostice v letech 2008 - 2013

Z obrázku 17 je vidět minimální fluktuace naměřených průměrných ročních hodnot BSK₅. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší průměrnou hodnotou je 0,6 mg/l. Všechny však překračují normu danou nařízením vlády. U charakteristických hodnot BSK₅ také nedochází k velkým výkyvům. Tyto hodnoty se řadí do III. jakostní třídy vody ve všech sledovaných letech na tomto profilu.

Výsledné hodnoty CHSK_{Cr} na odběrovém profilu Radostice z let 2008 – 2013 jsou znázorněny na obrázku 18.

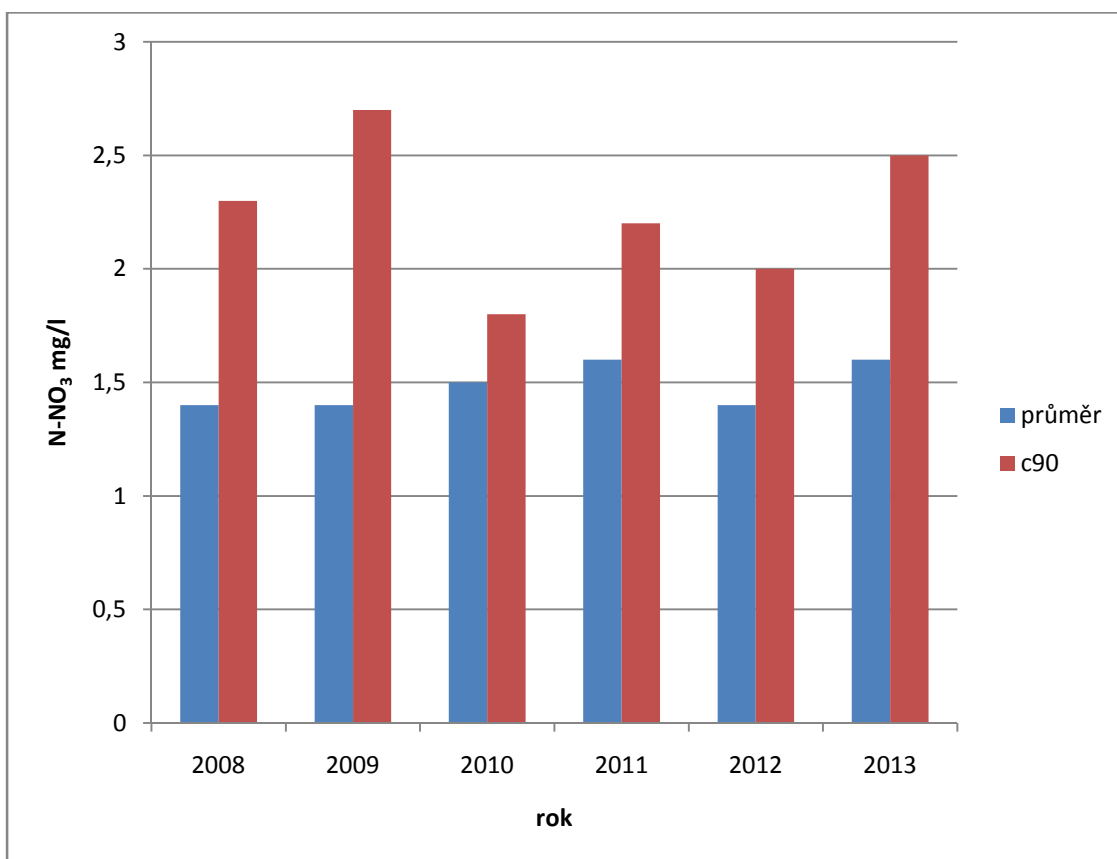


Obrázek 18: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro CHSK_{Cr} na profilu Radostice v letech 2008 - 2013

V porovnání s grafem CHSK_{Cr} na předchozím profilu Štiptůň (obrázek 13) je vidět, že hodnoty mírně stoupají jak v průměrných, tak v charakteristických hodnotách. Zařazení do jakostní třídy však zůstává velice podobné. Hodnoty určují zařazení kvality vody do IV. třídy a v roce 2012 dokonce do třídy V.

Jelikož toto odběrové místo je pod ústím ČOV Borovany do Stropnice, projevuje se zde opět vliv města Borovany a čistírny odpadních vod, podobně jako u profilu Štiptůň.

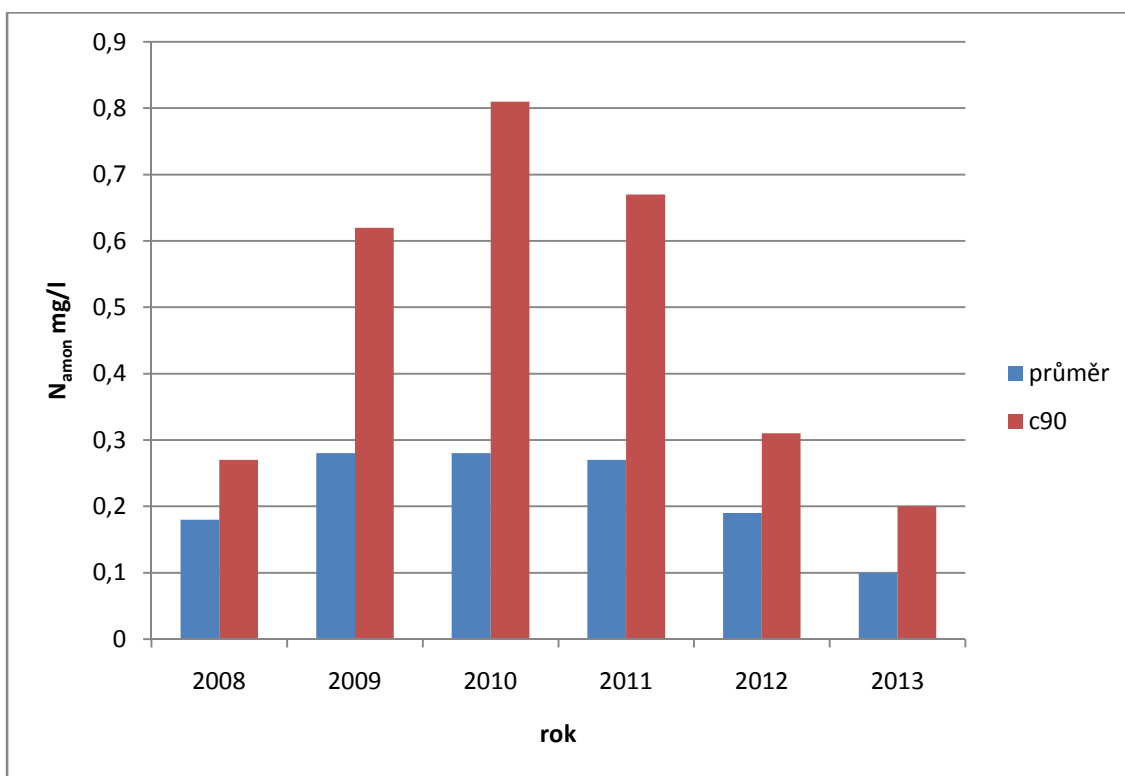
Na obrázku 19 jsou znázorněny výsledné průměrné a charakteristické hodnoty N-NO₃⁻ z let 2008 – 2013 na odběrovém profilu Radostice.



Obrázek 19: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N-NO_3^- na profilu Radostice v letech 2008 - 2013

Průměrné hodnoty N-NO_3^- jsou na tomto profilu od roku 2008 velmi vyrovnané. Jako u předchozího profilu i tady jsou hodnoty velmi hluboko pod 5,4 mg/l, což je hodnota daná nařízením vlády 61/2003 Sb. Po celé období sledovaných šesti let se řadí kvalita vody vzhledem k ukazateli N-NO_3^- na tomto profilu do II. jakostní třídy.

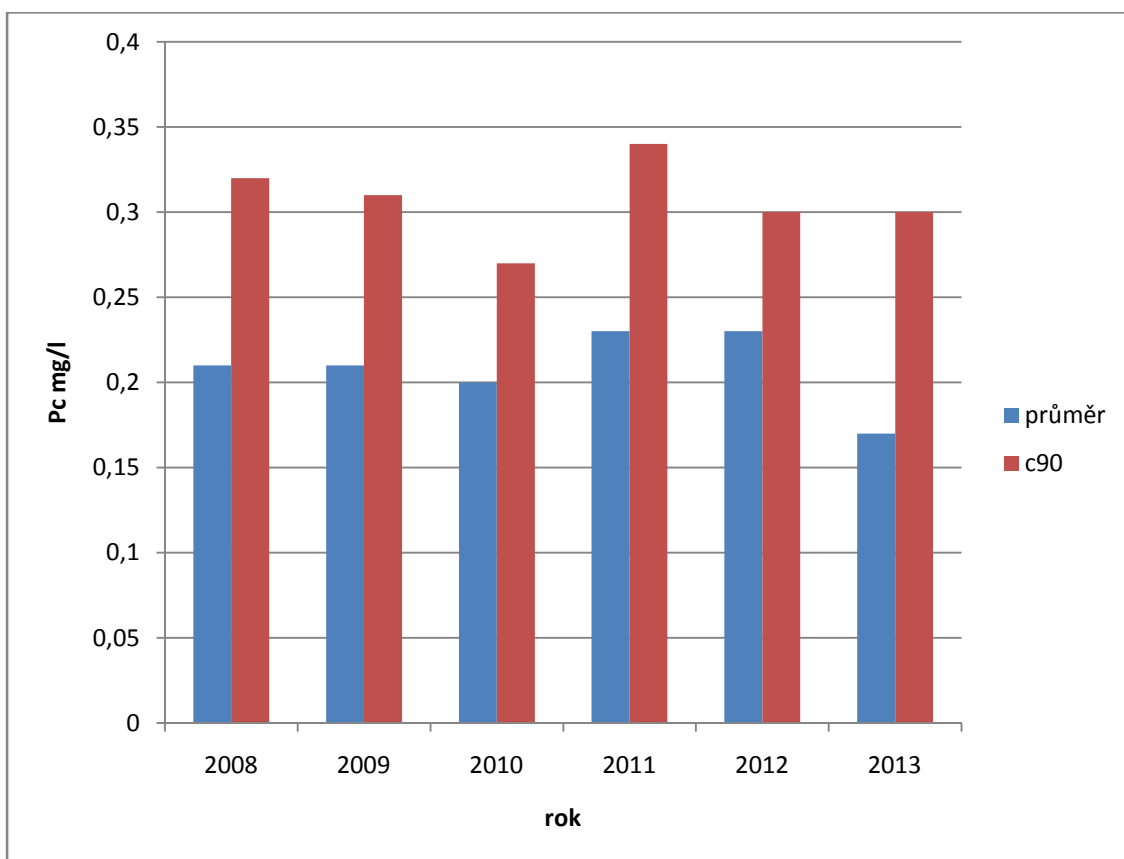
Obrázek 20 u odběrového profilu Radostice udává výsledné průměrné a charakteristické hodnoty N_{amon} z let 2008 – 2013.



Obrázek 20: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N_{amon} na profilu Radostice v letech 2008 - 2013

Z obrázku 20 je vidět, že průměrné hodnoty N_{amon} v letech 2009, 2010 a 2011 překračují environmentální normu 0,23 mg/l danou nařízením vlády. Dále je vidět rozkolísanost charakteristických hodnot a s tím související zařazení vody ve sledovaném období od I. po III. jakostní třídu. V letech 2008 a 2013 zařazení do I. třídy, v roce 2012 do třídy II. a hodnoty z let 2009, 2010 a 2011 se řadí do třídy III.

Výsledné průměrné a charakteristické hodnoty P_c z let 2008 – 2013 na odběrovém profilu Radostice jsou znázorněny na obrázku 21.

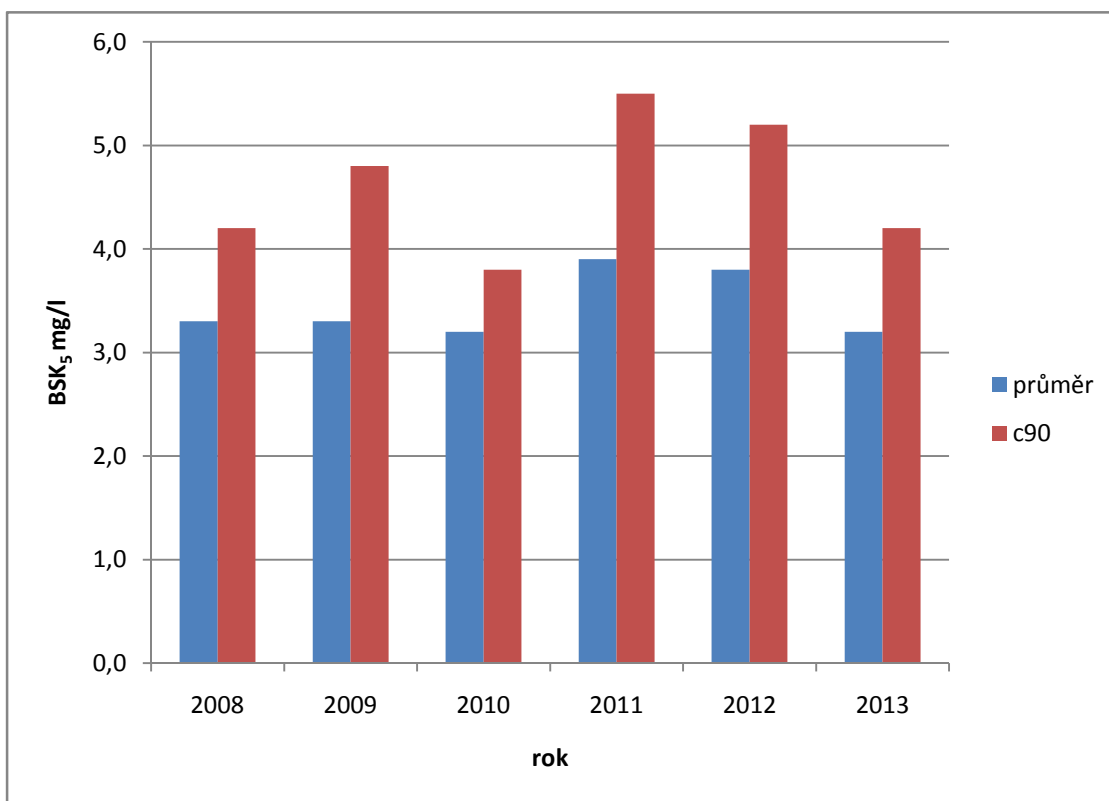


Obrázek 21: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro P_c na profilu Radostice v letech 2008 - 2013

Na grafu na obrázku 21 jsou hodnoty velice podobné jako na předchozím profilu, nejsou pozorována žádná velká kolísání v průběhu let. Ve všech letech se průměrná hodnota pohybuje nad hranicí 0,15 mg/l, která je stanovena nařízením vlády. Charakteristické hodnoty P_c v celém sledovaném období vedou k zařazení vody do III. jakostní třídy, tedy voda znečištěná.

4.2.4. Odběrový profil Pašinovice

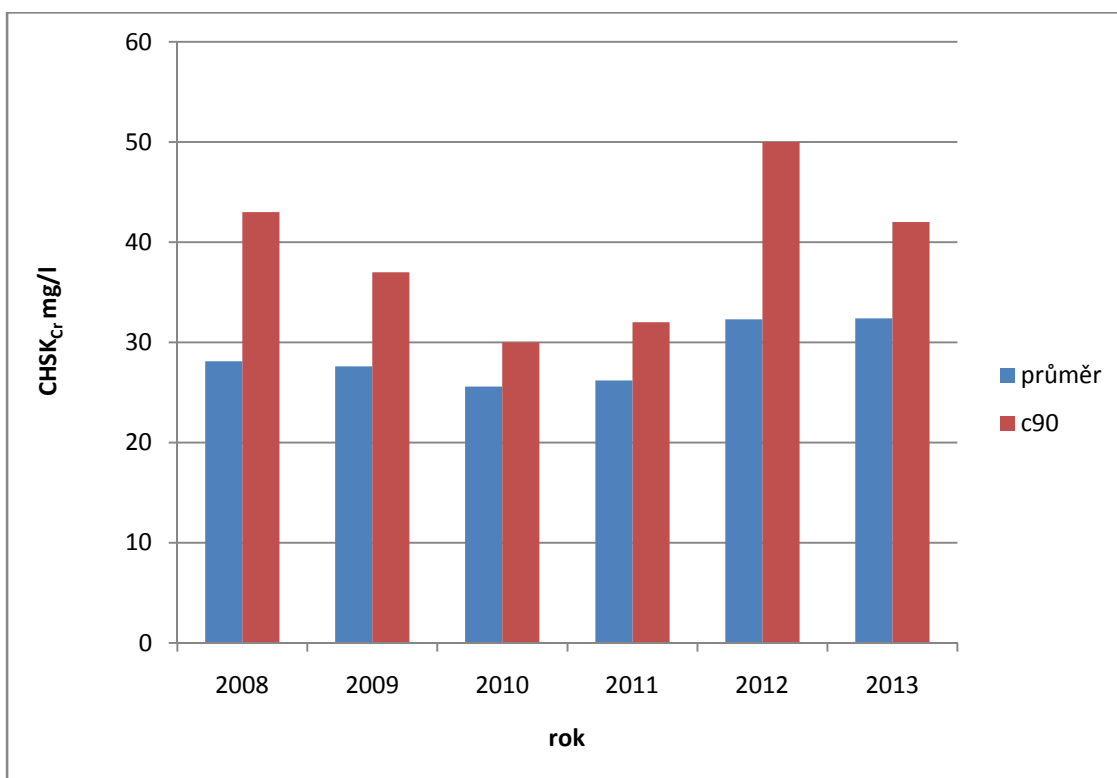
Na prvním obrázku k profilu Pašinovice (obrázek 22) jsou znázorněny výsledné hodnoty biochemické spotřeby kyslíku po pěti dnech z let 2008 – 2013.



Obrázek 22: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro BSK₅ na profilu Pašínovice v letech 2008 - 2013

Z obrázku 22 je patrné, že průměrné hodnoty nevykazují ve sledovaném období žádné výrazné výkyvy. Nicméně v roce 2011 průměrná hodnota překročila a v roce 2012 vyrovnala hodnotu 3,8 mg/l, která je stanovena v nařízení vlády 61/2003 Sb. Hodnoty naměřené v těchto letech řadí vodu do III. jakostní třídy, oproti ostatním, které jsou ve třídě II.

Obrázek 23 ukazuje hodnoty CHSK_{Cr} od roku 2008 do roku 2013 na odběrovém profilu Pašínovice.

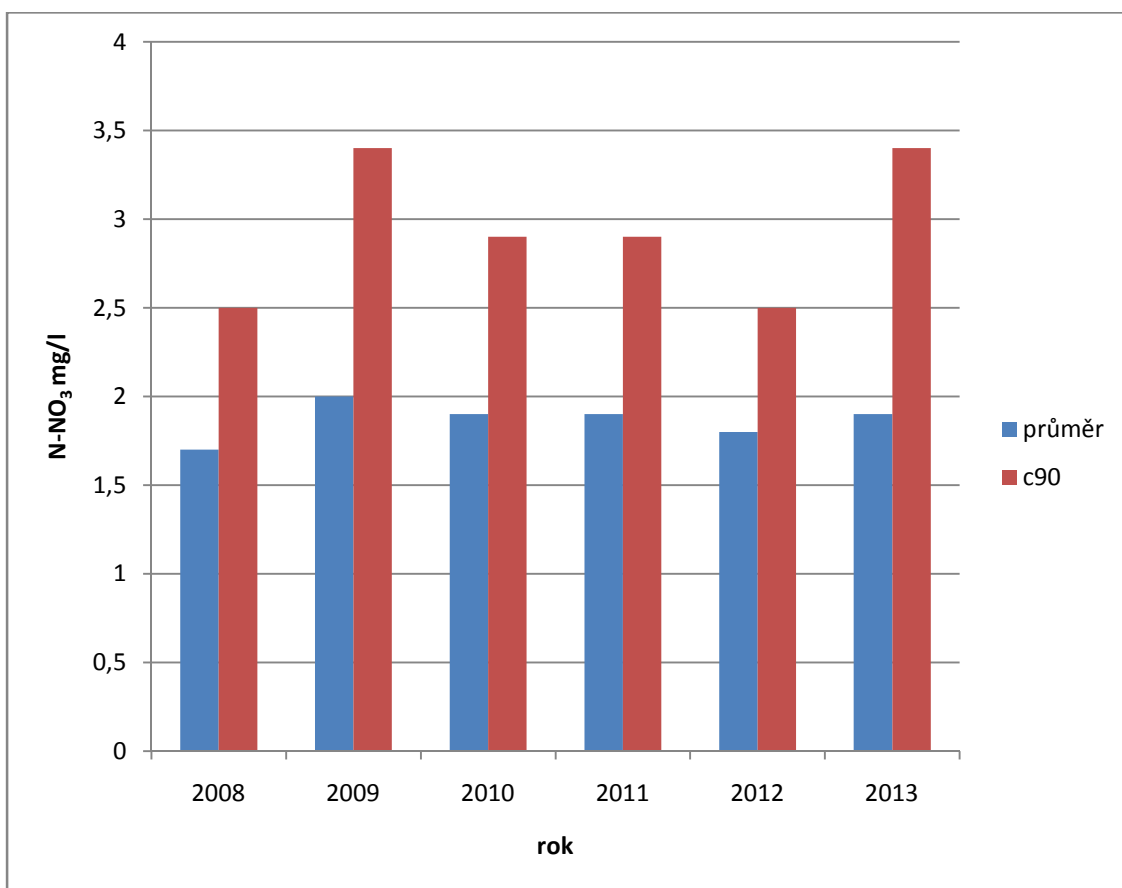


Obrázek 23: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro CHSK_{Cr} na profilu Pašínovice v letech 2008 - 2013

Podle nařízení vlády 61/2003 Sb., které udává hodnotu CHSK_{Cr} 26 mg/l, se pod tuto hodnotu dostala pouze průměrná hodnota z roku 2010.

Voda ve Stropnici se podle výsledných hodnot CHSK_{Cr} řadí na tomto profilu do dvou jakostních tříd. V roce 2008, 2009, 2012 a 2013 se řadí do IV. třídy a v letech 2010 a 2011 do třídy III. Positivní však je, že v roce 2013 dochází k mírnému poklesu hodnot CHSK_{Cr} .

Všechny výsledné naměřené hodnoty N-NO_3^- ze sledovaného období z posledního odběrového profilu Pašínovice jsou znázorněny na následujícím obrázku 24.

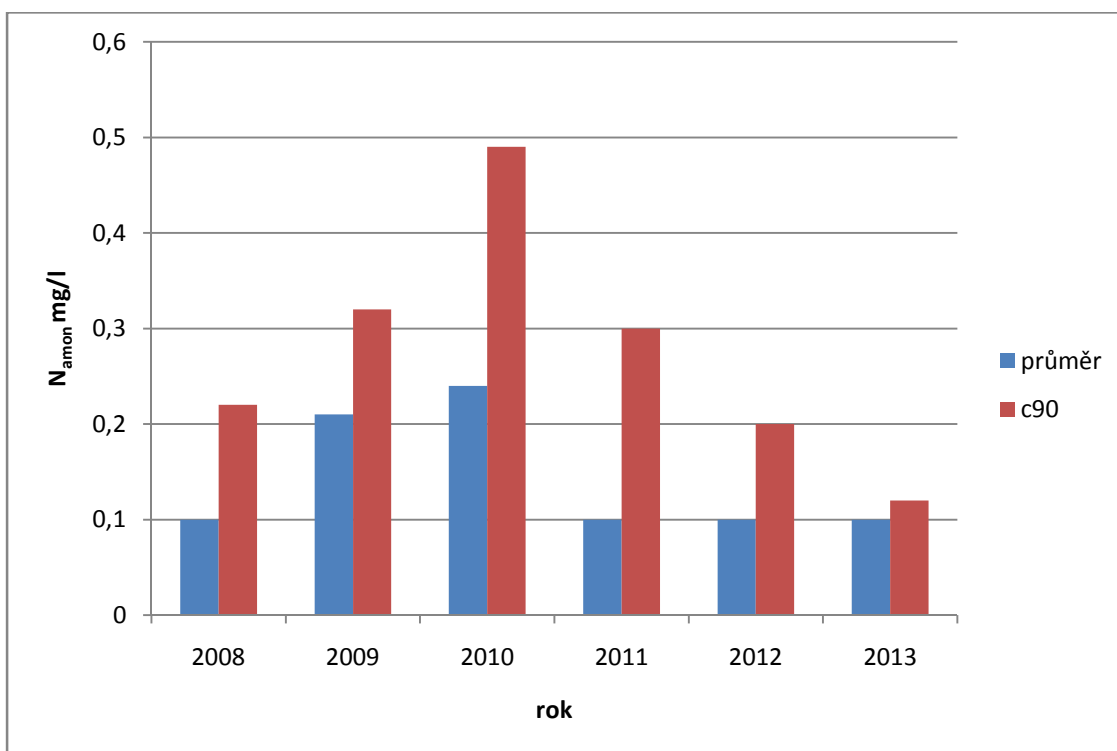


Obrázek 24: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N-NO_3^- na profilu Pašínovice v letech 2008 - 2013

Nařízení vlády 61/2003 Sb. udává hodnotu N-NO_3^- 5,4 mg/l jako environmentální normu. Z grafu na obrázku 24 je patrné, že průměrné hodnoty N-NO_3^- z daleka nedosahují k této hodnotě, stejně jako u předchozích odběrových profilů. V letech 2010 – 2013 jsou průměrné hodnoty N-NO_3^- téměř konstantní.

Charakteristické hodnoty N-NO_3^- se pohybují v letech 2008, 2010, 2011, 2012 v rozmezí II. jakostní třídy. Hodnoty 3,4 mg/l z let 2009 a 2013 jsou již řazeny do třídy III. Hodnota 3,4 mg/l je však hraniční mezi II. a III. třídou.

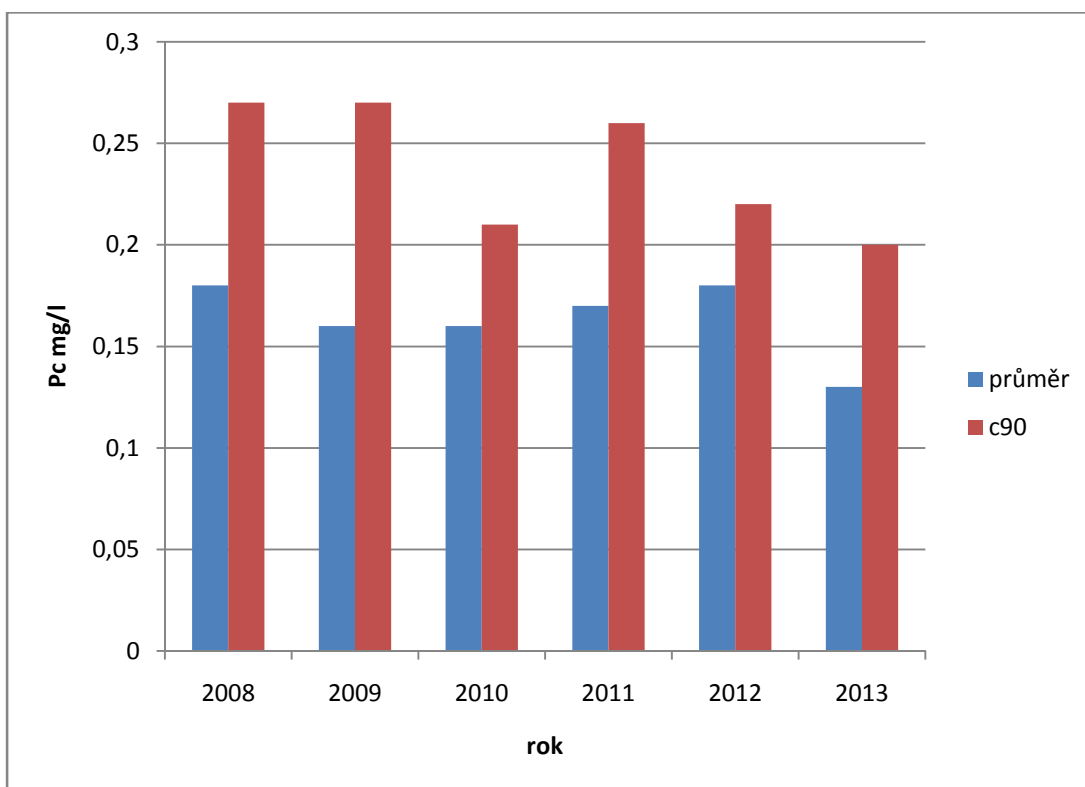
Následující obrázek 25 ukazuje výsledné průměrné a charakteristické hodnoty amoniakálního dusíku na odběrovém profilu Pašínovice.



Obrázek 25: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro N_{amon} na profilu Pašínovice v letech 2008 - 2013

Environmentální normu pro amoniakální dusík danou nařízením vlády překračuje voda ve Stropnici pouze v roce 2010 a to o pouhou jednu setinu. Podle charakteristických hodnot N_{amon} se do I. jakostní třídy řadí hodnoty z let 2008, 2012 a 2013. Ostatní charakteristické hodnoty se řadí do třídy II.

Hodnoty posledního ukazatele, celkového fosforu, na odběrovém profilu Pašínovice jsou znázorněny na obrázku 26.



Obrázek 26: Vývoj průměrných hodnot a hodnot c90 pro P_c na profilu Pašínovice v letech 2008 - 2013

V grafu na obrázku 26 je patrné, že pod hodnotu environmentální normy 0,15 mg/l se dostala hodnota P_c pouze v roce 2013. Celkový fosfor se na profilu Pašínovice udržuje stále ve III. jakostní třídě, stejně jako u předchozího profilu.

4.2.5. Zhodnocení výsledků ve sledovaném období 2008 – 2013

Od roku 2008 nedošlo u žádného ze sledovaných ukazatelů k výrazným změnám. Biochemická spotřeba kyslíku po pěti dnech dosáhla nejvyšších hodnot v roce 2009, kdy se charakteristická hodnota dostala až do IV. jakostní třídy. V ostatních letech řadíme vodu ve Stropnici podle tohoto ukazatele do II. nebo III. třídy.

V nejnepříznivějších hodnotách se pohybují hodnoty chemické spotřeby kyslíku. V roce 2012 byla charakteristická hodnota na odběrovém místě Radostice až na hodnotě 58 mg/l, což je zařazení do V. jakostní třídy.

Hodnoty dusičnanového dusíku a amoniakálního dusíku se po celou dobu pohybují v rozmezí od I. do III. třídy.

Charakteristická hodnota celkového fosforu se od roku 2008 drží téměř stále v hodnotách, které se řadí do III. jakostní třídy.

5. ZÁVĚR

Z vlastního zjišťování hodnot pěti ukazatelů jakosti vody, tj. BSK₅, CHSK_{Cr}, N-NO₃⁻, N_{amon} a P_c, v měsíčních intervalech v průběhu roku 2013 vyplývá, že jednotlivé hodnoty více či méně kolísají. Liší se jak podle místa odběru, tak podle data odběru. Je však obtížné objevit určité definované závislosti (určitý trend). U většiny ukazatelů dochází k nárůstu průměrné roční hodnoty k třetímu odběrovému profilu Radostice a poté opět k poklesu na posledním odběrovém místě Pašínovice. Výsledně však v průběhu roku 2013 nedošlo na řece k žádným výrazným změnám.

Co se týká dlouhodobého vývoje od roku 2008, lze hovořit o stabilním stavu.

Literatura

1. Povodí Vltavy [online]. [cit. 20.12.2013].
Dostupné z : <http://www.pvl.cz>
2. VANĚČEK, Tomáš. *Revitalizace Stropnice*. 2011. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
3. Jižní Čechy a Šumava [cit. 10. 12. 2013].
Dostupné z: <http://www.jiznicechy.org/cz/index.php?path=priir/stropnic.htm>
4. PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990.
5. HORÁKOVÁ, Marta a kol. *Analytika vody*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007.
6. MRÁZOVÁ, Jana. POVODÍ VLTAVY, státní podnik. *Standardní operační postup: Stanovení BSK_n se stanovením rozpuštěného kyslíku elektrochemicky*. Vodohospodářská laboratoř České Budějovice, 2012.
7. MRÁZOVÁ, Jana. POVODÍ VLTAVY, státní podnik. *Standardní operační postup: Stanovení CHSKCr spektrofotometricky – analytická komerční souprava MERCK*. Vodohospodářská laboratoř České Budějovice, 2012.
8. MARTÍNEK, Pavel. POVODÍ VLTAVY, státní podnik. *Standardní operační postup: Stanovení dusičnanů, síranů, chloridů a fluoridů metodou iontové chromatografie, dusičnanového dusíku dopočtem*. Vodohospodářská laboratoř České Budějovice, 2012.
9. MRÁZOVÁ, Jana. POVODÍ VLTAVY, státní podnik. *Standardní operační postup: Stanovení amoniakálního dusíku spektrofotometricky, dopočet amonných iontů a volného amoniaku*. Vodohospodářská laboratoř České Budějovice, 2012.
10. PECHOVÁ, Radomíra. POVODÍ VLTAVY, státní podnik. *Standardní operační postup: Stanovení celkového fosforu spektrofotometricky*. Vodohospodářská laboratoř České Budějovice, 2012.
11. Povodí Odry, *oblast kvality vody* [cit. 15.2.2014]
Dostupné z:
http://www.pod.cz/planovani/soubory/koncepce_MSK/oblast_kvality_vody.pdf
12. Česká Republika. Nařízení vlády 61/2003 Sb.: o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech

- povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. a nařízení vlády č. 23/2011 Sb. In: *61/2003 Sb.*
13. SMOLA, Miroslav. VODOVODY A KANALIZACE JČ A.S. *Provozní řád mechanicko - biologické čistírny odpadních ČOV bio cleaner BC 2000 Horní Stropnice*. České Budějovice, 2003.
 14. LANGHAMMER, Jakub. *Kvalita povrchových vod a jejich ochrana*. Praha: Univerzita Karlova, 2002.
 15. LANGHANSOVÁ, Milena. POVODÍ VLTAVY, státní podnik – závod Horní Vltava. *Zpráva o jakosti povrchových vod ve vodních tocích v povodí Horní Vltavy za období 2011 – 2012*. České Budějovice, 2013.
 16. ČSN 75 7221. *Jakost vod - Klasifikace jakosti povrchových vod*. 1998.
 17. Úprava a čištění vody [cit. 20. 1. 2014].
Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/bio.html
 18. Český statistický úřad [cit. 15.2.2014].
Dostupné z: <http://vdb.czso.cz/sldbvo/#!stranka=vse-o-uzemi>
 19. VODOVODY A KANALIZACE JČ A.S. *Provozní řád pro trvalý provoz ČOV Nové Hrady*. České Budějovice, 2007.
 20. BOLHA, Peter. VODOVODY A KANALIZACE JČ A.S. *Provozní řád pro trvalý provoz ČOV Borovany*. České Budějovice, 2014.