

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální a makromolekulární chemie



VÝVOJ KVALITY VODY V POVODÍ MLADOTICKÉHO POTOKA
WATER QUALITY DEVELOPMENT IN MLADOTICKY BROOK CATCHMENT
AREA

Zuzana Vacková

Diplomová práce

Praha 2014

Vedoucí diplomové práce

Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Svoluji zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 1. 8. 2014

Zuzana Vacková

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu Prof. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za přínosné rady a poznatky při zpracování práce. Velké poděkování také patří paní Ing. Libuši Benešové, CSc., Blance Popelákové a Sylvě Novákové za trpělivost a rady při praktickém zpracování práce. Děkuji také Mgr. Lubošovi Mrkvovi za nepostradatelnou pomoc při terénních měřeních. Poděkování bezpochyby patří také mé rodině za podporu a trpělivost během mého celého studia.

Abstrakt

Na začátku 90. let 20. století byla kvalita vody v České republice jedním z největších problémů životního prostředí. Od té doby se jakost vody v českých řekách výrazně zlepšila. Především ve velkých tocích došlo v tomto směru k výrazným změnám. V malých tocích však k tak pozitivním změnám v kvalitě vody nedošlo. Česká republika se zavázala po vstupu do Evropské unie k dodržení směrnice 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod, která by měla výrazně přispět ke zlepšení kvality vody a to i v malých tocích. Značný rozvoj zaznamenaly od 90. let průmyslové technologie i technologie týkající se čištění odpadních vod. Předpokladem je proto zlepšování kvality vody v ČR od 90. let.

Cílem práce je porovnání výsledků z let 1999-2000 s daty z let 2012-2014 v povodí Mladotického potoka, který se svou rozlohou (79,77km²) řadí k malým povodím. Z porovnání výsledků je zde patrný trend, který potvrzuje zlepšení kvalitativních podmínek vody v povodí ve sledovaném období posledních patnácti let. [33]

Od roku 2012 do roku 2014 bylo provedeno 12 odběrů na 11 profilech a následné chemické analýzy vzorků vody z povodí Mladotického potoka. Tyto vzorky byly nadále vyhodnoceny v souladu s normou ČSN 757221 a porovnány s výsledky z let 1999-2000.

Porovnáním dat z let 1999-2000 a 2012-2014 se potvrdil předpoklad o zlepšení kvality vody malých toků České republiky od 90. let, což je v souladu s poznatky dalších autorů [35]. Ve sledovaném povodí Mladotického potoka se pak jakost povrchové vody na některých profilech řádově zlepšila. Potvrdila se rovněž původní hypotéza, která předpokládala zmenšení objemu imisí jak z bodových komunálních zdrojů (převážně z rozptýlených lidských sídel), tak i z plošných zdrojů (především z intenzivně obhospodařovaných zemědělských ploch).

Abstract

Water quality was one of the biggest problems of environment in beginning of 90. of 20th century in the Czech republic. Since 90. the level of water quality was in czech rivers rapidly better. Mainly in big rivers have accomplished great changes. The small rivers haven't notice that rapid changes. The Czech republic, after entrance to the European Union have committed to comply with Directive 91/271/EEC reduce urban waste water and which should have big influence to water quality also in small rivers. During 90. industry technology, agriculture, cleaning technology of waste water etc. reached big development. Therefore the presumption is higher quality of water in the Czech republic since 90.

Goal of the thesis is comparison of results from 1999-2000 with results from 2012-2014 from Mladotický brook catchment, which is lined up to small river catchments (79,77km²). From this comparison there is obvious trend, if conditions of the water quality are really better or not since 90. [33]

Since 2012 to 2014 were taken 12 times samples from 11 profiles of water from Mladotice brook catchment and they were consequential chemically analyzed. The samples were evaluated according to ČSN 757221 and compared with results from 1999-2000.

From comparison with data 1999-2000 and 2012-2014 was confirmed the presumption about improvement of water quality in small rivers in the Czech republic since 90. Those data following the results from [35]. Particular in some of the profiles of Mladotice brook catchment have detected huge improvement of water quality situation. Also have detected improvement of both types of water pollution. One of them is point pollution from human settlements and the second one is diffuse pollution from agriculture activities in that area.

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Povodí Mladotického potoka	13
2.1	Obecná fyzickogeografická charakteristika.....	13
2.2	Režim průtoků	15
2.2.1	Metodika práce.....	15
2.2.2	Odtokový režim Mladotického potoka	16
2.3	Mladotické jezero.....	17
3	Charakteristika odběrových profilů.....	20
3.1	Přehled jednotlivých odběrových profilů.....	21
3.1.1	Profil č. 1: Mladotický potok – pramen	21
3.1.2	Profil č. 2: Mladotický potok – nad jezerem.....	21
3.1.3	Profil č. 3: Mladotické jezero	22
3.1.4	Profil č. 4: Mladotický potok – pod jezerem.....	23
3.1.5	Profil č. 5: Mladotický potok – nad obcí Mladotice.....	23
3.1.6	Profil č. 6: Mladotický potok – pod obcí Mladotice.....	23
3.1.7	Profil č. 7: Mladotický potok – ústí do Střely.....	24
3.1.8	Profil č. 8: Žihelský potok – nad obcí Žihle.....	25
3.1.9	Profil č. 9: Žihelský potok – pod obcí Žihle	25
3.1.10	Profil č. 10: Odlezelský potok.....	26
3.1.11	Profil č. 11: Chrástovický potok	27
4	Kvalita vody v zemědělských oblastech	28
4.1	Vliv zemědělské činnosti na životní prostředí.....	29
4.1.1	Eutrofizace vod	29
4.1.2	Methemoglobinémie	29
4.2	Hospodářská činnost v povodí Mladotického potoka.....	30
4.3	Obyvatelstvo a sídla v povodí Mladotického potoka.....	31
5	Stanovované ukazatele kvality vody	32
5.1	Vápník a hořčík.....	32
5.2	Železo	35
5.3	Mangan	37

5.4	Chlor	38
5.5	Fosfor.....	39
5.6	Kyslík.....	41
5.6.1	CHSK.....	41
5.6.2	BSK	42
5.7	Dusík.....	44
5.7.1	Amoniakální dusík.....	47
5.7.2	Dusitany	47
5.7.3	Dusičnany.....	48
5.8	Neutralizační kapacity	49
5.9	Protolytické (acidobazické) rovnováhy	50
5.10	Vodivost.....	51
6	Chemický rozbor	52
7	Výsledky.....	55
7.1	Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014 a zařazení jednotlivých ukazatelů do tříd jakosti.....	55
7.2	Podélné profily toku jednotlivých ukazatelé kvality vody (data 2012-2014)...	61
7.3	Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000 od Gabriely Šťastné	73
7.4	Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000 od Gabriely Šťastné.....	79
8	Diskuse.....	94
9	Závěr	96
10	Literatura	97

Seznam obrázků

Obr. 1: Umístění povodí Mladotického potoka na mapě ČR.....	13
Obr. 2: Batymetrická mapa Mladotického jezera z let 1972 a 2003	19
Obr. 3: Odběrové profily v povodí Mladotického potoka	20
Obr. 4: Profil Mladotický potok - pramen.....	21
Obr. 5: Profil Mladotický potok - nad jezerem.....	22
Obr. 6: Profil Mladotické jezero.....	22
Obr. 7: Profil Mladotický potok - pod jezerem	23
Obr. 8: Profil Mladotický potok Pod obcí Mladotice	24
Obr. 9: Profil Mladotický potok - ústí	24
Obr. 10: Profil Žihelský potok - nad obcí Žihle.....	25
Obr. 11: Profil Žihelský potok - pod obcí Žihle.....	26
Obr. 12: Profil Odlezenský potok	26
Obr. 13: Nelogaritmický distribuční diagram hydroxoželezitanů.....	36
Obr. 14: Závislost rychlosti oxidace Fe II na hodnotě pH	36
Obr. 15: Schéma nitrifikace, denitrifikace a fixace dusíku.....	46
Obr. 16: Vývoj kvality vody v ČR od 1991-1992 do 2006-2007	95

Seznam tabulek

Tab. 1: Typy povodí podle hodnoty α	15
Tab. 2: Průtoky na profilech Mladotického potoka	16
Tab. 3: Sídla v povodí Mladotického potoka, počet obyvatel a potenciální zatížení BSK	32
Tab. 4: Mezní hodnoty jakosti povrchových vod [ČSN 75 7221].....	42
Tab. 5: Třídy jakosti vody podle ČSN 757221	52
Tab. 6: Skupiny ukazatelů jakosti vody podle ČSN 757221	53
Tab. 7: Limitní hodnoty vybraných ukazatelů, rozdělení do tříd jakosti	54
Tab. 8: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 1.....	55
Tab. 9: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 2.....	56
Tab. 10: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 3.....	56
Tab. 11: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 4.....	57
Tab. 12: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 5.....	57
Tab. 13: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 6.....	58
Tab. 14: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 7.....	58
Tab. 15: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 8.....	59
Tab. 16: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 9.....	59
Tab. 17: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 10.....	60
Tab. 18: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 11.....	60
Tab. 19: Říční kilometry jednotlivých profilů Mladotického potoka	61
Tab. 20: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 1.....	73

Tab. 21: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 2.....	73
Tab. 22: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 3.....	74
Tab. 23: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 4.....	74
Tab. 24: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 5.....	75
Tab. 25: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 6.....	75
Tab. 26: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 7.....	76
Tab. 27: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 8.....	76
Tab. 28: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 9.....	77
Tab. 29: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 10.....	77
Tab. 30: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 11.....	78
Tab. 31: Přehled profilů z kapitoly 3.1.	79

Seznam grafů

Graf 1: Průtoky na profilech Mladotického potoka	17
Graf 2: Diagram oblastí převažující existence systému $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+\text{-N}_2\text{-NO}_3^-$	45
Graf 3: Logaritmický distribuční diagram systému $\text{NH}_3\text{-N}_2\text{-NO}_2^-\text{-NO}_3^-$	45
Graf 4: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - acidita	61
Graf 5: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - alkalita	62
Graf 6: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - pH	63
Graf 7: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – vodivost.....	63
Graf 8: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – N-NH_4^+	64
Graf 9: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – N-NO_2^-	65
Graf 10: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – N-NO_3^-	65
Graf 11: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – P-PO_4^{3-}	66
Graf 12: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Fe^{3+}	67
Graf 13: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Ca^{2+}	67
Graf 14: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Mg^{2+}	68
Graf 15: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - tvrdost	69
Graf 16: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Cl^-	69
Graf 17: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Mn^{2+}	70
Graf 18: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – CHSK (Mn).....	71
Graf 19: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – BSK_5	71
Graf 20: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, pH C90.....	80
Graf 21: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, pH průměr....	80
Graf 22: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, vodivost C90.	81
Graf 23: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, vodivost průměr	81
Graf 24: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, alkalita C90...	82
Graf 25: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, alkalita průměr	82

Graf 26: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NH ₄ ⁺ C90...	83
Graf 27: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NH ₄ ⁺ průměr	83
Graf 28: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO ₂ ⁻ C90 ...	84
Graf 29: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO ₂ ⁻ průměr	84
Graf 30: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO ₃ ⁻ C90 ...	85
Graf 31: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO ₃ ⁻ průměr	85
Graf 32: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, tvrdost C90...	86
Graf 33: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, tvrdost průměr	86
Graf 34: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Ca ²⁺ C90.....	87
Graf 35: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Ca ²⁺ průměr..	87
Graf 36: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Mg ²⁺ C90	88
Graf 37: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Mg ²⁺ průměr	88
Graf 38: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Cl ⁻ C90.....	89
Graf 39: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Cl ⁻ průměr.....	89
Graf 40: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, P-PO ₄ ³⁻ C90...	90
Graf 41: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, P-PO ₄ ³⁻ průměr	90
Graf 42: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Fe ³⁺ C90.....	91
Graf 43: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Fe ³⁺ průměr..	91
Graf 44: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, CHSK (Mn) C90	92
Graf 45: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, CHSK (Mn) průměr	92
Graf 46: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, BSK5 C90	93
Graf 47: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, CHSK (Mn) průměr	93

1 Úvod

Česká republika leží na rozhraní tří úmoří. Z tohoto důvodu bývá ČR také označována jako tzv. střecha Evropy. Voda tedy na naše území nepřitéká ze sousedních států a za její kvalitu jsme sami zodpovědní. Jakost odtékajících vod záleží z části na přírodních podmínkách, ale také z velké části na lidské činnosti. Je tedy velice důležité, a to nejen v rámci ČR, ale v rámci celé Evropy, aby vody na našem území byly co nejméně znečištěné a dosahovaly co nejvyšší kvality.

Počátkem 90. let 20. století byla kvalita vody jedním z hlavních problémů životního prostředí v České republice. Povrchová voda ve velkých tocích patřila do tříd silně znečištěných a velmi silně znečištěných vod. Problémem byla i kontaminace vody podzemní. V těchto letech došlo nejprve k omezení výroby či zastavení provozu velkých průmyslových podniků a výraznými změnami prošlo i naše zemědělství, kde byly omezeny dávky průmyslových hnojiv do orné půdy. Pro kvalitu vody měl tento negativní vývoj našeho hospodářství paradoxně pozitivní význam.

V druhé polovině 90. let docházelo především k výstavbě, rekonstrukcím a zavádění nových technologií v čistírnách odpadních vod (ČOV). Tento fakt měl velký vliv na kvalitu vody a pokračuje dodnes. Díky provedeným sanacím se zlepšil i stav vod podzemních. Od roku 1990 do roku 2007 se celkový počet ČOV zvýšil o více než 200 %. Z původních 626 ČOV se počet zvýšil na 2065. Výstavba ČOV a kanalizačních sítí je podporována jak ze státního rozpočtu, tak i z fondů Evropské unie. Touto problematikou se zabývá směrnice o čištění městských odpadních vod (91/271/EHS), kterou se Česká republika zavázala vůči EU. Tato směrnice stanovuje požadavky na kvalitu městských odpadních vod před jejich vypouštěním do vodotečí a členské státy EU jsou povinny tyto požadavky naplnit. Česká republika v tomto směru přislíbila výstavbu kanalizací a ČOV v obcích nad 2000 obyvatel do roku 2010. Bohužel se podmínky nepodařily dodržet a Českou republiku čekají s největší pravděpodobností finanční sankce.

Od 90. let se kvalita vody výrazně zlepšila, a to hlavně u velkých toků. V malých tocích k tak rapidnímu zlepšení nedošlo. Každopádně v dnešní době jsou k dispozici

modernější a účinnější technologie k čištění odpadních vod. Na celém území ČR přibylo velké procento ČOV i kanalizačních sítí, zemědělská činnost od 90. let zaznamenala také velký pokrok, co se týče hnojení, závlahy i nakládání se zemědělskými odpady. Vše tedy naznačuje, že by v dnešní době měla být kvalita vody, a to i v menších tocích, na mnohem vyšší úrovni než na počátku 90. let. [21][34]

Cílem mé práce je proto porovnání vlastních dat s daty z diplomové práce Gabriely Šťastné z roku 2000. Gabriela Šťastná se ve své práci zabývala také hodnocením kvality povrchových vod v povodí Mladotického potoka, v mé práci je patrné určité navázání na tuto problematiku i zvolenou oblast.

Terénní měření a laboratorní zpracování vzorků probíhalo od 30.1.2012 do 28.5.2014, kdy byly zpracovávány výsledky z 12 různých měsíců. Odběrová místa byla zvolena stejně jako v práci Gabriely Šťastné. Profily pokrývaly všechna zásadní místa povodí Mladického potoka. Umístěny byly v pramenné oblasti, u ústí Mladotického potoka do řeky Střely, dále také pokrývaly oblasti nad a pod obcemi Žihle, Přehořov a Mladotice, stejně tak byly umístěny i v místech dvou přítoků, Odlezelského a Chrástovického potoka, do Mladotického jezera, resp. potoka.

Odběry byly provedeny v průběhu dvou let, avšak s ročním přerušením. Vzhledem k charakteru práce, kdy se nejednalo o krátkodobé pozorování, ale o analýzu v delším časovém horizontu, po konzultaci s odborníky roční pauza na výsledky nemá vliv.

2 Povodí Mladotického potoka

2.1 Obecná fyzickogeografická charakteristika

Povodí Mladotického potoka patří do povodí Střely, což je levostranný přítok řeky Berounky. Pramenná oblast Mladotického potoka se nachází na území přírodního parku Jesenicko, v okrese Rakovník. Dále už potok pokračuje v okrese Plzeň-sever. Studované povodí Mladotického potoka se nachází na území Poberounské soustavy České vysočiny, přičemž přímo do povodí zasahuje Plzeňská pahorkatina, respektive její část Plaská pahorkatina. V celém povodí jsou nejběžnějším typem půdy středoevropské hnědozemě, ojediněle se také vyskytují půdy podzolové, především západně od ústí Mladotického potoka do Střely. Kolem ústí se také vyskytují půdy nivní, zastoupeny jsou především druhy jílovitohlinité, hlinité a písčitohlinité. Celá oblast povodí patří do klimaticky mírně teplé oblasti, s průměrnou roční teplotou 6 až 7°C. V průběhu roku se zde vyskytuje 45 letních dnů a 40 ledových. Průměrné roční srážky kolísají mezi 500 až 550 mm, přičemž ve vegetačním období (duben-září) spadne 300 až 350 mm a v zimním období (říjen-březen) 150 až 200 mm. [1][6][7][8][26]



Obr. 1: Umístění povodí Mladotického potoka na mapě ČR, Zdroj: [8]

Pravými přítoky zkoumaného toku jsou Žihelský potok, Přehořovský potok, Odlezelský potok a Chrástovický potok a jeho levými přítoky Potvorovský potok, Řemešínský potok a Trojanský potok. Mladotický potok je tokem 5. řádu, jeho povodí zaujímá plochu 79,77 km² a jeho délka je 17,3 km. (Dle základní vodohospodářské mapy 1 : 50 000)

Dalšími charakteristikami povodí jsou Graveliův koeficient, který udává míru protaženosti povodí, a střední šířka povodí, což je poměr plochy povodí a délky samotného toku. [30]

Graveliův koeficient se vypočítá pomocí následujícího vztahu.

$$Kc = \frac{d}{2\sqrt{\pi \cdot P}} = 0,282 \cdot \frac{d}{\sqrt{P}} = \frac{45,30}{31,65} = \mathbf{1,43}$$

d – délka rozvodnice (km)
P – plocha povodí (km²)

Hodnota Graveliova koeficientu je větší než jedna. Čím větších hodnot koeficient nabývá, tím je povodí protáhlejšího tvaru. Povodí Mladotického potoka se tedy řadí mezi středně protáhlá povodí.

Střední šířka povodí se vypočítá následovně:

$$s = \frac{P}{L} = \frac{79,77}{17,3} = \mathbf{4,6}$$

P – plocha povodí (km²)
L – délka toku (km)

Pro vzájemné porovnávání tvarů jednotlivých povodí se používá číselné hodnoty α , tzv. charakteristiky povodí. Ta se může vypočítat dvěma následujícími způsoby:

$$\alpha = \frac{s}{L} = \frac{4,61}{17,3} = \mathbf{0,27}$$

$$\alpha = \frac{P}{L^2} = \frac{79,77}{17,3^2} = \mathbf{0,27}$$

s – střední šířka povodí (km)
L – délka toku (km)
P – plocha povodí (km²)

Z hodnoty α z následující tabulky se poté může rozlišovat typ povodí.

	Plocha povodí (P) do 50 km ²	Plocha povodí (P) nad 50 km ²
Protáhlé povodí	< 0,24	< 0,18
Povodí přechodného typu	0,24 – 0,26	0,18 – 0,20
Vějířovité povodí	> 0,26	> 0,20

Tab. 1: Typy povodí podle hodnoty α

Povodí Mladického potoka, jak je patrné z tabulky, spadá do povodí vějířovitého typu. Tvar povodí má velký vliv na průtoky toku, zejména po větších přívalech vodních srážek nebo při jarním tání sněhu. U rovnoměrného (stromovitého) typu povodí je nárůst průtoku plynulý, zatímco u vějířovitých typů dochází často k souběhu povodňových vln a rychlé kumulaci povodně na hlavním toku.

Další charakteristikou povodí je stupeň symetrie. Koeficient souměrnosti porovnává plochu pravých přítoků s levými a vypočítá se následujícím způsobem:

$$K_s = \frac{Pl - Pp}{Pl + Pp} = \frac{7,69}{55,92} = 0,14$$

<p>Pl – plocha levých přítoků Pp – plocha pravých přítoků</p>
--

Koeficient souměrnosti může nabývat hodnot od 0 do 1, kdy 0 detekuje, že se rovná o zcela souměrné, symetrické povodí, zatímco 1 znamená, že se jedná o povodí zcela jednostranné. Povodí Mladotického potoka je tedy téměř symetrické. [30][33]

2.2 Režim průtoků

2.2.1 Metodika práce

Na povodí Mladotického potoka byly, kromě odběrů vody pro chemické stanovení, měřeny i průtoky vody, pravidelně na profilech Mladotický potok - nad jezerem, Mladotický potok - pod jezerem a Mladotický potok - ústí. Rychlost proudění byla měřena pomocí hydrometrické vrtule, kterou se změřily rychlosti (m/s) v pravidelně rozmístěných intervalech příčného profilu koryta. Tekoucí voda svým dynamickým účinkem otáčí vrtulí rychlosti úměrnou rychlosti vodního proudu. Jednotlivé rychlosti v daných bodech se přepočítaly na dílčí průtoky a nakonec se z těchto hodnot vypočítal

výsledný průtok pro daný profil, což byl součet všech průtoků dílčích. Pro přepočítání rychlosti proudění na dílčí průtok je nutné znát plochu průtočného profilu, pro kterou musíme znát hloubku říčního koryta v daném bodě a délku úseku příčného profilu koryta. [6][15]

V diplomové práci jsem použila graficko-početní metody, kde se průtok v daných profilech vypočítal podle následujícího vztahu:

$$Q = \sum (F_i \cdot V_i)$$

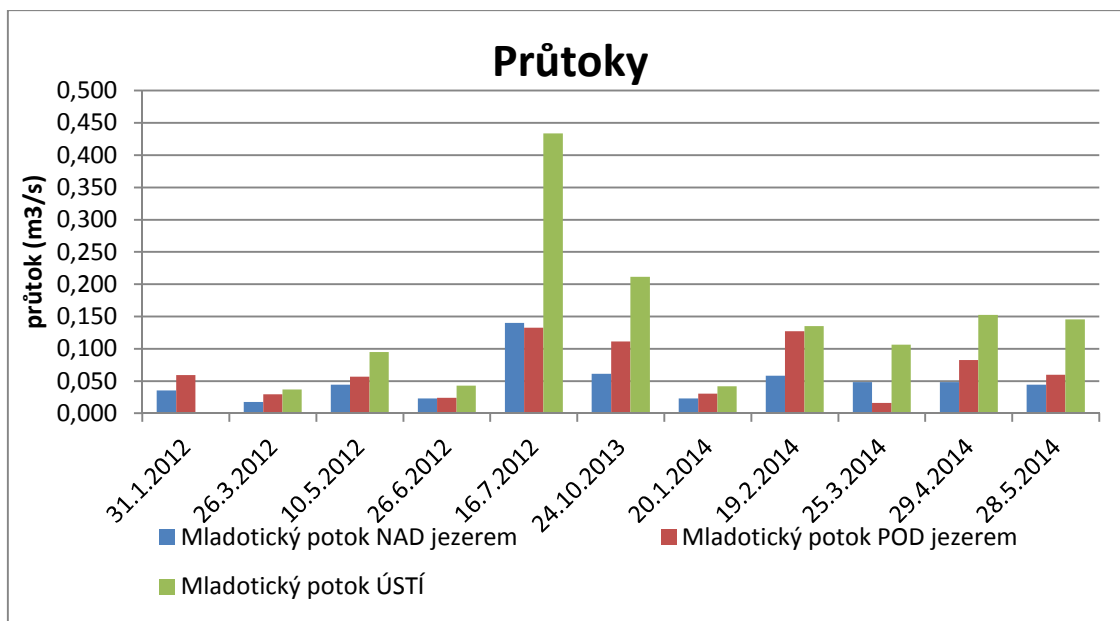
Q – průtok
F_i – dílčí průtočná plocha
V_i – průtoková rychlost ve svislici

Průtoky toku silně ovlivňují koncentrace jednotlivých chemických ukazatelů jakosti vody, proto je nutnou součástí práce poznání odtokového režimu v povodí.

2.2.2 Odtokový režim Mladotického potoka

Datum měření	Průtoky (m ³ /s)		
	Mladotický potok - nad jezerem	Mladotický potok - pod jezerem	Mladotický potok - ústí
31.1.2012	0,036	0,059	
26.3.2012	0,018	0,030	0,037
10.5.2012	0,044	0,057	0,095
26.6.2012	0,023	0,024	0,043
16.7.2012	0,140	0,133	0,434
24.10.2013	0,061	0,111	0,212
20.1.2014	0,023	0,030	0,042
19.2.2014	0,058	0,127	0,135
25.3.2014	0,049	0,016	0,106
29.4.2014	0,048	0,083	0,152
28.5.2014	0,044	0,060	0,146

Tab. 2: Průtoky na profilech Mladotického potoka



Graf 1: Průtoky na profilech Mladotického potoka

Z grafického zobrazení je patrný trend zvyšování průtoků v povodí od zimních měsíců přes období jarního tání sněhu do letního období, kdy nastávají nejvyšší průtoky vlivem letních přívalových dešťů. Podružná maxima nastávají rovněž v pozdním podzimu. Ve většině případů je taktéž patrná tendence zvyšujících se průtoků od pramenné oblasti (Mladotický potok - nad jezerem) směrem k ústí.

2.3 Mladotické jezero

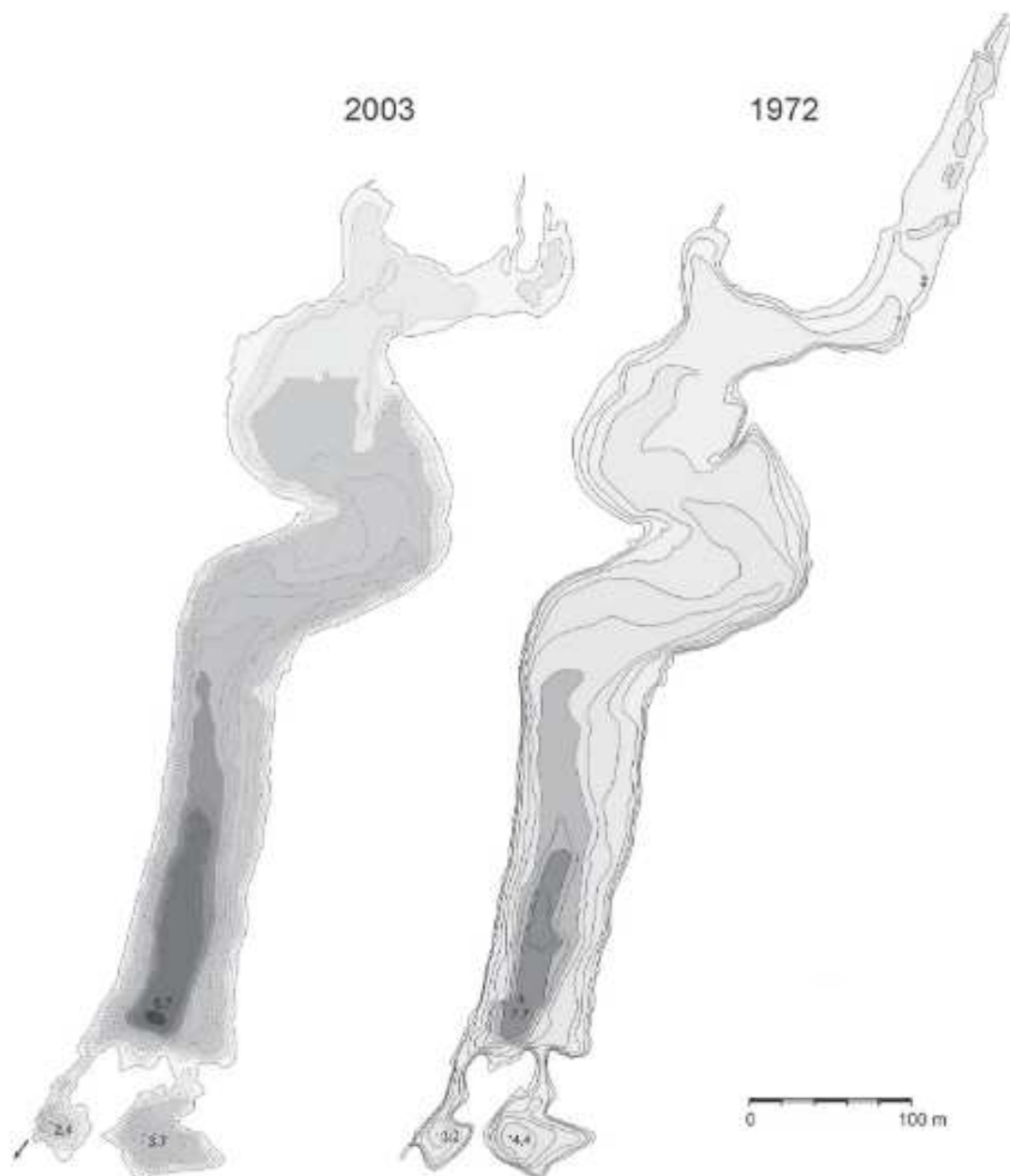
Nedílnou součástí povodí Mladotického potoka je Mladotické (Odlezelské) jezero, které je unikátním přírodním výtvozem jak v České republice, tak i ve střední Evropě. Jedinečnost tohoto přírodního úkazu tkví v jeho vzniku. Toto jezero je jen 142 let staré a vzniklo zahrazením údolí potoka sesuvem.

Na konci května roku 1872 byly jihozápadní a západní Čechy postiženy rozsáhlou průtrží mračen. Podle historiků se konkrétně jednalo o 25. a 26. května, kdy srážková stanice v Plzni zaznamenala srážky 40 mm. Daleko větší srážkové úhrny se však vyskytly severně od Plzně na Kralovicku. Zde v tehdejší době nebyla k dispozici žádná srážková stanice, ale podle popisu meteorologické situace tehdejším kartografem K. Kořistkou se jednalo o hodinový úhrn srážek 237 mm. Tento údaj byl považován za nereálný až do okamžiku, kdy obdobné množství srážek spadlo později i na jižním Slovensku. Zde ve stanici Salka u Štúrova byla naměřena hodnota 225,5 mm za 65 minut.

Tyto extrémně nadprůměrné srážky způsobily v povodí Blšanky, Střely a Berounky ničivou povodeň a zároveň se promítly i na velice zvýšeném průtoku Vltavy v Praze. Zde byl průtok 26. května ve 14 hodin naměřen 3300 m³/s, jedná se tedy o pátou největší povodeň od roku 1785.

V povodí Mladotického potoka došlo vlivem extrémně vysokých srážek ke dvěma přírodním katastrofám. V noci z 27. na 28. května sjel ze západního úbočí Potvorovského vrchu do údolí Mladotického potoka mohutný kerný sesuv nadložních pískovců a arkóz. Za 300 dlouhou hrází vznikla tak pánev budoucího jezera, které je dodnes jediným zástupcem jezer tohoto typu na území Českého masivu. Druhou významnou událostí bylo protržení hráze Mladotického rybníka, největšího v západních Čechách, rozprostírajícího se na ploše 92 ha, který nebyl již nikdy obnoven. [6][7][8][9][10][27]

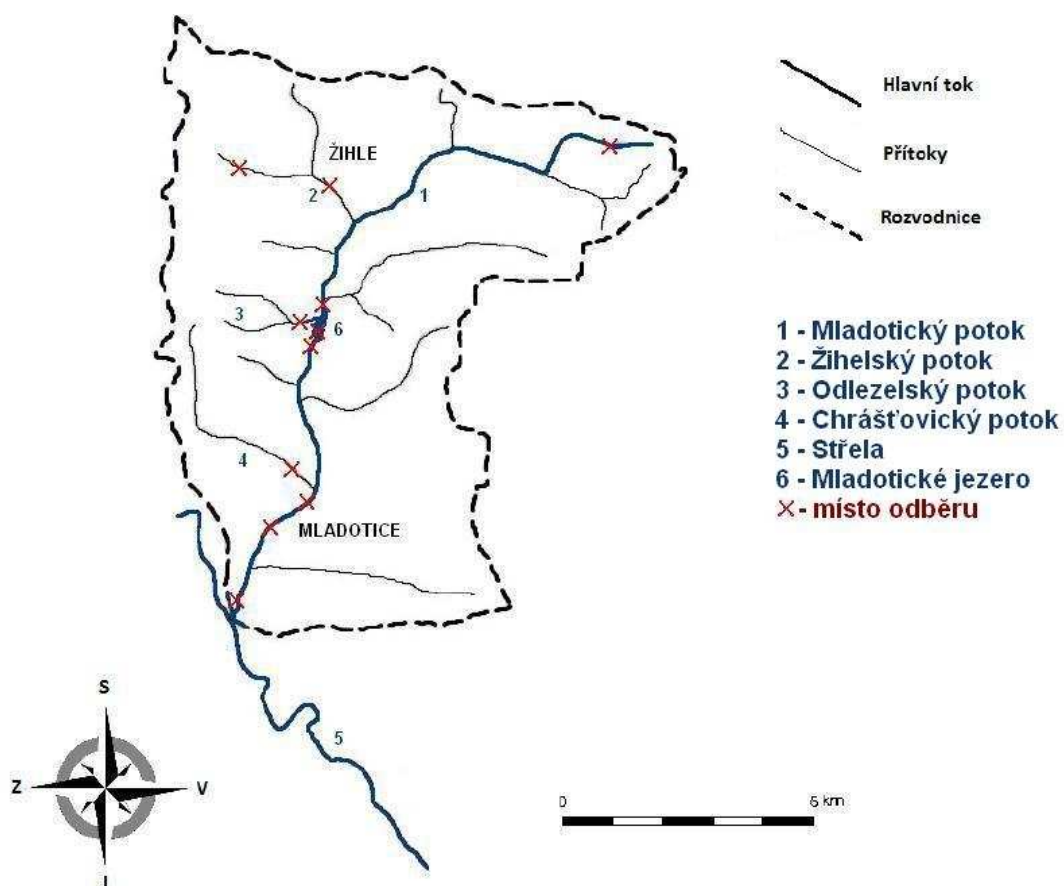
Dnes má Mladotické jezero rozlohu 4,55 ha a silně se zanáší. Od roku 1972 se jeho plocha zmenšila o 22%. [9]



Obr. 2: Batymetrická mapa Mladotického jezera z let 1972 a 2003, Zdroj : [9]

3 Charakteristika odběrových profilů

V povodí Mladotického potoka bylo zvoleno 11 odběrových míst tak, aby byly pokryty oblasti ovlivněné jak bodovými tak i plošnými zdroji znečištění. Odběrová místa byla zvolena stejně jako v diplomové práci Gabriely Šťastné (2000), která se ve své práci zabývala analýzou jakosti povrchových vod ve stejném povodí v letech 1999-2000.



Obr. 3: Odběrové profily v povodí Mladotického potoka

Na všech odběrových profilech byly pravidelně odebírány vzorky pro chemický rozbor, přičemž byla na každém profilu odebrána jedna 1,5 litrová plastová lahev a dvě skleněné kyslíkové lahve pro stanovení BSK. Zároveň na profilech, Mladotický potok nad jezerem, Mladotický potok pod jezerem a Mladotický potok ústí, byly měřeny průtoky vody.

3.1 Přehled jednotlivých odběrových profilů

3.1.1 Profil č. 1: Mladotický potok – pramen

Profil se nachází v horní části toku a je považován za reprezentativní pro pramenou oblast. Není zatěžován žádným okolním sídlem, z části může být ovlivněn splachy z polí. Vzorky byly odebírány pod silničním mostem, kde mohl určitou kontaminaci vody zavinit i silniční provoz. Přesné souřadnice profilu jsou 50°02'23,4''s.š. 13°23'46,4''v.d., kde je nadmořská výška 441 m n.m. Profil leží na říčním km 10,6.



Obr. 4: Profil Mladotický potok - pramen

3.1.2 Profil č. 2: Mladotický potok – nad jezerem

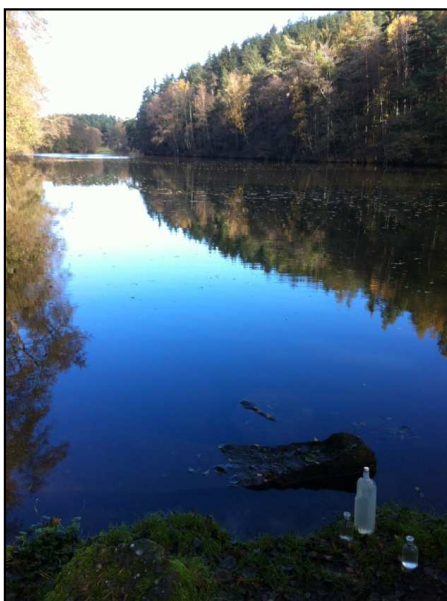
Tento profil se nachází v jižní části obce Přehořov, poměrně blízko přítoku potoka do Mladotického (Odlezelského) jezera. Kvalita vody v této oblasti je ovlivněna zmíněnou obcí Přehořov a také okolní zemědělskou činností, proto zde byly často spatřovány vyšší hodnoty dusíkatých látek. Přesné souřadnice profilu jsou 50°01'29,3''s.š. 13°22'31,7''v.d., nadmořská výška je 422 m n.m.. Profil leží na říčním km 7,3.



Obr. 5: Profil Mladotický potok - nad jezerem

3.1.3 Profil č. 3: Mladotické jezero

Vzorky byly v této lokalitě odebírány přímo z hráze, v jižní části jezera. Kvalitu vody zde ovlivňují hlavně přítoky Mladotického a Odlezelského potoka. Velký vliv na chemické i biologické pochody ve vodě má i akumulace vody v jezeře. Přesné souřadnice profilu jsou $50^{\circ}00'49,8''$ s.š. $13^{\circ}22'21''$ v.d., nadmořská výška je 412 m n.m. Profil leží na říčním km 6,7.



Obr. 6: Profil Mladotické jezero

3.1.4 Profil č. 4: Mladotický potok – pod jezerem

Kvalita vody v tomto profilu je ovlivněna hlavně vytékající vodou z jezera. Profil byl umístěn v lese, teoreticky zde tedy nebyl žádný větší zdroj znečištění, jen občasné splachy z okolních polí mohly mírně kvalitu vody ovlivnit. Přesné souřadnice profilu jsou 50°00'29''s.š. 13°22'09,2''v.d., nadmořská výška je 401 m n.m. Profil leží na říčním km 6,0.



Obr. 7: Profil Mladotický potok - pod jezerem

3.1.5 Profil č. 5: Mladotický potok – nad obcí Mladotice

Tento profil není nějak výrazně ovlivněn zemědělskou aktivitou ani lidskými sídly. Ve srovnání s ostatními se tento profil jeví jako průměrný. Přesné souřadnice profilu jsou 49°59'14,5''s.š. 13°22'23,2''v.d., nadmořská výška je 357 m n.m. Profil leží na říčním km 2,3.

3.1.6 Profil č. 6: Mladotický potok – pod obcí Mladotice

Profil je situován jižně pod obcí Mladotice, odběry probíhaly pod dřevěným můstkem mezi poli. Z výsledků chemického rozboru je patrné především ovlivnění splaškovými odpadními vodami z přilehlé obce. Přesné souřadnice profilu jsou 49°50'51''s.š. 13°21'34,6''v.d., nadmořská výška je 354 m n.m. Profil leží na říčním km 0,7.



Obr. 8: Profil Mladotický potok Pod obcí Mladotice

3.1.7 Profil č. 7: Mladotický potok – ústí do Střely

Tento profil je situován před soutokem Mladotického potoka a Střely. Odběry a měření průtoku probíhaly na pozemku Ježkova mlýna. Kvalita vody v tomto úseku je pravděpodobně stále minimálně ovlivněna obcí Mladotice a jako téměř u všech předchozích profilů i splachy z okolních polí. Přesné souřadnice profilu jsou $49^{\circ}50'02,9''$ s.š. $13^{\circ}20'59''$ v.d., nadmořská výška je 346 m n.m. Profil leží na říčním km 0,4.



Obr. 9: Profil Mladotický potok - ústí

3.1.8 Profil č. 8: Žihelský potok – nad obcí Žihle

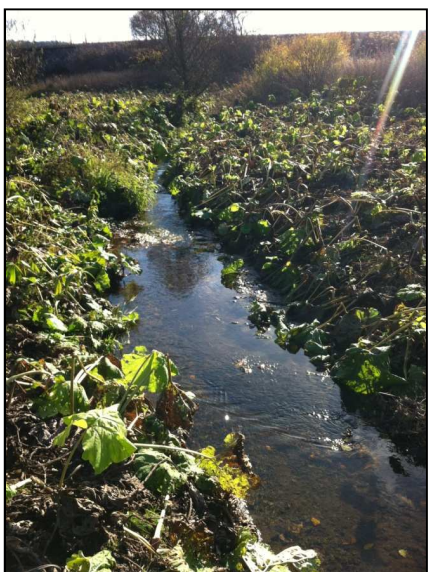
Profil je umístěn na upraveném horním toku Žihelského potoka nad obcí Žihle mezi zemědělsky obdělávanými pozemky, odběry probíhaly pod malým můstkem. Kvalita vody je zde pravděpodobně ovlivněna jen zemědělskou aktivitou v okolí. Přesné souřadnice profilu jsou 50°03'03''s.š. 13°22'27,3''v.d., nadmořská výška je 448 m n.m. Profil leží na říčním km 2,01.



Obr. 10: Profil Žihelský potok - nad obcí Žihle

3.1.9 Profil č. 9: Žihelský potok – pod obcí Žihle

Tento profil je značně ovlivněn obcí Žihle a také Žihelským statkem, který se zabývá velkochovem prasat. Vzorky byly odebírány pod přítokem vody z čistírny odpadních vod (ČOV). Přesné souřadnice profilu jsou 50°02'25,5''s.š. 13°22'50,1''v.d., nadmořská výška je 434 m n.m. Profil leží na říčním km 0,78.



Obr. 11: Profil Žihelský potok - pod obcí Žihle

3.1.10 Profil č. 10: Odlezenský potok

Profil je situován v obci Odlezy, hned vedle silnice, tudíž byl nejvíce ovlivněn právě touto malou vesnicí a silničním provozem. Přesné souřadnice profilu jsou $50^{\circ}01'15,4''$ s.š. $13^{\circ}22'15,1''$ v.d., nadmořská výška je 427 m n.m. Profil leží na říčním km 0,1, tedy asi 100 m od ústí do Mladotického jezera.



Obr. 12: Profil Odlezenský potok

3.1.11 Profil č. 11: Chrášťovický potok

Tento odběrový profil je situován mezi poli, vedle polní cesty ze Strážiště do Chrášťovic. Kvalita vody je ovlivněna zemědělskou aktivitou v oblasti a pravděpodobně i nedalekou velkokapacitní výkrmnou vepřů ve Velké Černé Hati. Přesné souřadnice profilu jsou 49°59'52,5''s.š. 13°20'35,8''v.d., nadmořská výška je 426 m n.m. Profil leží na říčním km 2,5. [30]

4 Kvalita vody v zemědělských oblastech

V zemědělských oblastech má na kvalitu vody vliv jak chov dobytka, tak i pěstování zemědělských plodin. U živočišné výroby, kde se často jedná o velkokapacitní chovy, dochází i k vysoké produkci živočišných odpadů. U tradiční zemědělské malovýroby byly všechny odpady použity ke hnojení polí. U velkochovů vzhledem k vysoké produkci tato možnost částečně odpadá a s odpady se musí nakládat jiným způsobem. U chovů, kde je použita podestýlka, se tzv. chlěvská mrva (směs výkalů, moči a podestýlky) sváží na polní hnojiště, kde dozrává ve hnůj, který je dále použit ke hnojení. U chovů, kde podestýlka použita není, se tzv. kejda (špatně zpracovatelná) odvádí do směsných nádrží, ze kterých je následně přepravena do tzv. skladovacích nádrží nebo do věží na tekutý hnůj. Právě tekutá statková hnojiva z bezstelivových stájí jsou častým zdrojem znečištění povrchových i podzemních vod.

Organická a organicko-minerální hnojiva, souhrnně nazývaná statková hnojiva, jsou méně škodlivá (kromě kejdy) než hnojiva průmyslová. U statkových hnojiv dochází rozkladem organických látek k postupnému uvolňování dusíku, který může být nadále využit rostlinami. Průmyslová hnojiva jsou velice dobře rozpustná ve vodách, což zapříčiňuje dobrou infiltraci do podzemních vod a také splach do vod povrchových v průběhu srážek. Nejzávažnějším problémem z tohoto pohledu jsou hnojiva dusičnanová, která mají velmi dobrou vlastnost sorpce na půdní částice a po průsaku srážkové vody se tak lehce infiltrují do podzemní vody. Průmyslová hnojiva mohou být jednoduchá nebo vícesložková, kdy mezi ta jednoduchá patří hnojiva dusíkatá, draselná, fosforečná, hořečnatá a vápenatá a mezi ta vícesložková se řadí jejich kombinace.

Dalším možným případem znečištění vod zemědělskou činností jsou odpady ze silážování. Silážování je proces, při kterém se uchovává píce kvasnými pochody, především mléčným kvašením, před nežádoucím hnilobným procesem. Při špatném vybudování zásobníku může docházet k úniku silážních šťáv do podzemních nebo povrchových vod. Tyto šťávy mají charakteristickou hnědočernou barvu, jsou silně zakalené a páchnou. Z chemického složení je pro ně charakteristický vysoký obsah alifatických kyselin (mléčná, octová, máselná), z anorganických látek vysoký obsah

železa, manganu a amoniakálního dusíku a také vyšší obsah určitých sacharidů. Vzhledem k anaerobním podmínkám vzniku siláže je předpokládán výskyt amoniakálního dusíku ve formě NH_4^+ a železo s manganem v redukované formě. [2][5][11][16][18][19][29][32][36][37]

4.1 Vliv zemědělské činnosti na životní prostředí

4.1.1 Eutrofizace vod

Eutrofizací se rozumí proces zvyšování koncentrací živin ve vodách, především látek obsahujících dusík a fosfor. Toto obohacení má potom kladný vliv na růst řas, sinic a vyšších rostlin. Eutrofizace je dvojího typu, přirozená a antropogenní. U přirozené eutrofizace dochází k rozkladu organické hmoty ve vodě, a důsledkem je zvýšení hodnot nutrietů. Velkým zdrojem dusíkatých a fosforečných látek je však také antropogenní činnost. Jedná se především o činnost zemědělskou, vypouštění průmyslových odpadních vod, komunálních odpadních vod a používání pracích a čistících prostředků s obsahem fosforu. Pro eutrofizaci pevninských vod je limitním faktorem fosfor (pro mořské vody je to dusík), avšak význam mají i jiné prvky, také hodnoty pH a teplota, která by neměla zpravidla přesahovat 11°C .

Prvním znatelným znakem eutrofizace je tzv. „vodní květ“. Při nadbytku N a P dochází k přemnožení řas a sinic, které ve vodách spotřebovávají kyslík a produkují oxid uhličitý. Ve vodě nastává nerovnováha a přebytek CO_2 zapříčiňuje úhyn vodních rostlin, jejichž těla se poté shromažďují u dna a podléhají hnilobnému rozkladnému procesu. Produktem těchto anaerobních procesů jsou amoniak (NH_3) a sulfan (H_2S), které svou toxicitou záporně ovlivňují existenci živých organismů ve vodě. Množství fosforečnanů ve vodách neznečištěných zemědělskou aktivitou bývá okolo $10^{-3} - 10^{-2}$ mg/l, na druhou stranu v eutrofizovaných vodách bývá koncentrace až několik desetin mg/l.

Pro určení stupně eutrofizace jsou hlavními ukazateli, množství fosforu, chlorofylu A, průhlednost vody a koncentrace kyslíku. [24][25][28]

4.1.2 Methemoglobinémie

Methemoglobinémie je onemocnění, které spočívá v neschopnosti červených krvinek přenášet kyslík. Hemoglobin, který má ve své struktuře přítomen kationt železa v oxidačním čísle II, je určitými oxidačními činidly převeden na sloučeninu, kde je

železo v oxidačním čísle III, tedy methemoglobin. Tato látka následně nemá schopnost přenášet kyslík a oxid uhličitý, tedy nemůže docházet k výměně plynů v organismu. Tento jev je běžný a tělo v tomto případě využívá reduktáz k navrácení železa do oxidačního stupně II, tedy znovuoobnovení hemoglobinu. V případě, že tělo není schopné převést methemoglobin zpět, dochází k onemocnění zvanému methemoglobinémie.

Látky s oxidačními schopnostmi, které mohou oxidovat železo v hemoglobinu ze II na III, jsou například dusičnany. Proto jsou limity pro dusičnany v pitných vodách 50 mg/l. U kojeneckých vod je limit mnohem nižší, jde o 15 mg/l. Je to z důvodu nedostatečně vyvinutých reduktáz v těle kojenců, kteří jsou mnohem náchylnější na dusičnanovou methemoglobinémii než dospělí jedinci. [3][24]

4.2 Hospodářská činnost v povodí Mladotického potoka

Hlavní činností v povodí Mladotického potoka je zemědělství. Můžeme zde najít hned tři větší zemědělské podniky, a to v Mladoticích, Potvorově a Žihli, přičemž pod Žihelský statek spadá také středisko šlechtitelského chovu prasat ve Velké Černé Hati.

Zemědělské družstvo Mladotice bylo založeno v roce 1992. V současné době družstvo spravuje 637,90 ha zemědělské půdy, z toho 122,48 ha pastvin a luk v nadmořské výšce 360 – 500 m n.m. v regionu Plzeňského kraje. Ze zemědělských plodin produkuje především pšenici, ječmen, řepku a kukuřici a ze živočišné výroby se zaměřuje především na chov skotu a prasat. Celková výměra pozemků je 2263,3 ha, z toho 1048,12 ha je půda zemědělská a 1004,53 ha lesní půda. [42]

Společnost „Bílovska zemědělská“ se sídlem v obci Potvorov je v provozu již od roku 1996 a jejími základními kameny jsou živočišná a rostlinná produkce. Z živočišné výroby se zaměřuje především na chov skotu a prasat a z rostlinné výroby především na pěstování obilovin, jetelovin, luskovin, řepky a kmínu. Zemědělské družstvo se nachází na Kralovicku, přičemž jeho celková výměra činí 3978,81 ha, z toho 2240,51 ha zaujímá zemědělská půda a 1372,16 ha půda lesní. [38]

Žihelský statek, pod který spadá i velkovýkrma prasat ve Velké Černé Hati, byl založen v roce 1994. Hlavním zájmem této akciové společností je chov prasat, šlechtitelství

prasat, výroba krmiv a krmných směsí. Celková výměra katastrálního území obce Žihle je 3985,65 ha, přičemž 1383,65 ha tvoří zemědělská půda a 2357,02 zaujímá půda lesní. Součástí velkovýkrmny prasat ve Velké Černé Hati je také od roku 2008 bioplynová stanice, která napomáhá využívat živočišné odpady, jako je kejda, silážní a senážní hmota a jiné organické odpady, jako obnovitelné zdroje energie. Látky se zpracovávají mokrou anaerobní kofermentací, kde produktem je bioplyn, vhodný pro spalování v kogenerační jednotce, jejímž výstupem je elektrická energie, teplo a stabilizovaná biomasa. Elektrický výkon bioplynové stanice je 526 kW, tepelný výkon 558 kW, produkce bioplynu činí 1782 m³/den, množství vyrobené elektrické energie je 12624 kWh/den a vyrobená tepelná energie je 13392 kWh/den. [39][43]

4.3 Obyvatelstvo a sídla v povodí Mladotického potoka

Do povodí Mladotického potoka spadá 16 lidských sídel. Pro povodí představují obce značný bodový zdroj znečištění, především pak Mladotice a Žihle. Většina ze sídel uvedených níže dodnes nemá ČOV, a tím pádem se do povrchových vod dostávají i vody splaškové. Nemusí se jednat jen o odpadní vody z obydlení, jedná se též o vody ze zemědělství (skladování zemědělských odpadů a hnojiv), popřípadě ze skládek, mycích nebo čerpacích stanic, výrob, vývařoven, prádelen aj. [40][41]

V literatuře se zpravidla uvádí, že na jednoho obyvatele připadne produkce 60 g/den pro BSK. Tohoto faktu lze využít pro posouzení potenciálního zatížení oblasti obyvatelstvem.

Sídlo	Status	Počet obyvatel	Výměra k.ú. (ha)	BSK (kg/den)	BSK (g/den/ha)
Bílov	Obec	83	621,2	4,98	8,20
Bukovina	Základní sídelní jednotka Kralovice	56	300,1	3,36	11,20
Černá Hať	Základní sídelní jednotka Mladotice	20	522,8	1,20	2,30
Hluboká	Základní sídelní jednotka Žihle	24	469,1	1,44	3,07
Kalec	Základní sídelní jednotka Žihle	0	446,3	0	0,00
Chrástovice	Základní sídelní jednotka Mladotice	76	422,3	4,56	10,80
Mladotice	Obec	433	986,3	25,98	26,34
Nový Dvůr	Základní sídelní jednotka Žihle	28	1424,1	1,68	1,18
Odlezly	Základní sídelní jednotka Žihle	50	317,1	3,00	9,46
Pastuchovice	Obec	67	824,7	4,02	4,87
Potvorov	Obec	135	622,4	8,10	13,01
Přehořov	Základní sídelní jednotka Žihle	57	357,7	3,42	9,56
Řemešín	Základní sídelní jednotka Kralovice	15	266,4	0,90	3,38
Strážišťe	Základní sídelní jednotka Mladotice	33	331,7	1,98	5,97
Trojany	Základní sídelní jednotka Kralovic	47	866,0	2,82	3,26
Žihle	Obec	1244	943,5	74,64	79,11

Tab. 3: Sídla v povodí Mladotického potoka, počet obyvatel a potenciální zatížení BSK, Zdroj: [40]

5 Stanovované ukazatele kvality vody

5.1 Vápník a hořčík

Vápník a hořčík jsou v přírodě velice rozšířenými prvky. V zemské kůře je vápník obsažen v 0,035% a hořčík v 0,020%. Největším přírodním zdrojem těchto prvků jsou hlinitokřemičitaný vápenatý a hořečnatý (aragonit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, chlorit $\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) a také vápenec CaCO_3 , dolomit $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, magnezit MgCO_3 , sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ aj.), jejichž rozkladem se vápník a hořčík dostává do vody. Výrazný vliv na rozpustnost hlinitokřemičitanů v podzemních vodách má rozpuštěný CO_2 , který svým působením zvyšuje rozpustnost uhličitánových minerálů a zároveň podporuje zvětrávání hlinitokřemičitanů. Antropogenním zdrojem vápníku a hořčíku ve vodách jsou některé z průmyslových odpadních vod, ve kterých dochází k neutralizaci kyselin vápnem, vápencem, dolomitem nebo magnezitem popřípadě dochází k tzv.

odkyselování (odstraňování CO₂) podzemních vod pomocí hydroxidu vápenatého nebo filtrací přes odkyselovací hmoty (vápenec, magnezit, oxid vápenatý).

V málo mineralizovaných vodách se vápník a hořčík vyskytují ve formě iontů Ca²⁺ a Mg²⁺ a ve více mineralizovaných vodách (s větším obsahem uhličitánů a síranů) např. ve formě [CaCO₃(aq)]⁰, [CaHCO₃]⁺, [CaSO₄(aq)]⁰, [CaOH]⁺ aj. Obdobné komplexní sloučeniny vznikají také s hořčíkem. Vápník může být ve vodách také vázán huminovými látkami. Uvádí se, že 1 gram DOC (rozpuštěný organický uhlík) může vázat 0,3-0,9 mmol vápníku.

V běžných podzemních a povrchových vodách se vápník vyskytuje v koncentracích okolo několika desítek až stovek mg/l, zato hořčík má ve většině vod zastoupení značně menší. Jeho koncentrace se pohybuje od jednotek po několik desítek mg/l. V pitných vodách se koncentrace vápníku pohybuje okolo 50mg/l a hořčíku okolo 10mg/l. Jak již bylo řečeno, koncentrace hořčíku ve vodách je většinou nižší než koncentrace vápníku. Důvodem je pravděpodobně vyšší schopnost sorpce na horniny, se kterými přijde voda do styku, dále nižší zastoupení hořčíku v zemské kůře a mimo jiné využití hořčíku rostlinami. U běžných podzemních a povrchových vod se hmotnostní poměr vápníku a hořčíku pohybuje kolem 4 (látkový poměr je tedy 2,4), v některých případech až okolo 10. Ve vodách minerálních se tento poměr snižuje a jsou známy i výjimky kde minerální vody obsahují více hořčíku než vápníku. Příkladem jsou minerální vody Magnesia, Šaratice, Zaječická aj. [24]

Pro stanovení vápníku a hořčíku ve vodách se používá tzv. tvrdost vody, samostatné stanovení vápníku a z rozdílu těchto dvou hodnot se poté dopočítává koncentrace hořčíku.

Celková tvrdost vody je dána celkovou koncentrací kationtů dvojmocných kovů alkalických zemin, především se tedy jedná o vápník a hořčík. Tvrdost vody se stanovuje chelatometricky. Odměrným roztokem je chelaton III, což je disodná sůl kyseliny ethyldiamintetraoctové (H₄Y neboli EDTA). Chelaton III se v roztoku disociuje na dihydrogenethyldiamintetraoctový aniont (H₂Y²⁻), který společně s kationty kovů vytváří stálé komplexy tzv. chelatonáty. Chelatonáty mají vždy složení 1:1, to znamená jeden centrální atom je kompletován jedním ligandem. Při chelatometrické titraci se

uvolňují kationty vodíku, které by případně mohly vzniklý komplex rozkládat. Proto je nutné celý roztok pufrovat. V našem případě byl použit Schwarzenbachův pufr s pH 10. Konec chelatometrické titrace je určen pomocí vhodného metalochromního indikátoru, který se chová stejně jako ligand a vytváří tak s kationty kovu barevný komplex. Ten je ale méně stálý než chelatonát, proto je v bodu ekvivalence indikátor vytěsněn z komplexu chelatonem III, čímž dochází i k barevné změně, která indikuje konec titrace. V našem případě byla jako metalochromní indikátor použita erythrochromčerň T, jež vytváří s kationty kovů alkalických zemin vínovočervené zbarvení, které následnou titrací přechází do temně modré. Tvrdost vody se ze získaných laboratorních dat vypočítá podle následující rovnice:

$$T = \frac{V_e \cdot f_{(\text{chelaton III})} \cdot c_{(\text{chelaton III})} \cdot 10^3}{V_o}$$

T – tvrdost vody (mmol/l)
Ve – spotřeba odměrného roztoku chelatonu III (ml)
Vo – původní objem titrovaného vzorku (ml)
c – koncentrace chelatonu III
f – faktor chelatonu III

Chelatometrické stanovení vápníku probíhá v alkalickém prostředí, kde po přidání 1 M NaOH dochází ke vzniku chelatonátu, pouze však s Ca^{2+} . Hořečnatý kationt se vysráží v podobě $\text{Mg}(\text{OH})_2$ a na následnou titraci v této formě již nemá vliv. Jako indikátor se zde používá murexid, který zbarvuje roztok do růžové barvy. Až když dojde k jeho úplnému uvolnění, mění se barva roztoku na jasně fialovou. Koncentrace Ca se pak vypočítá následovně. [12][13][20]

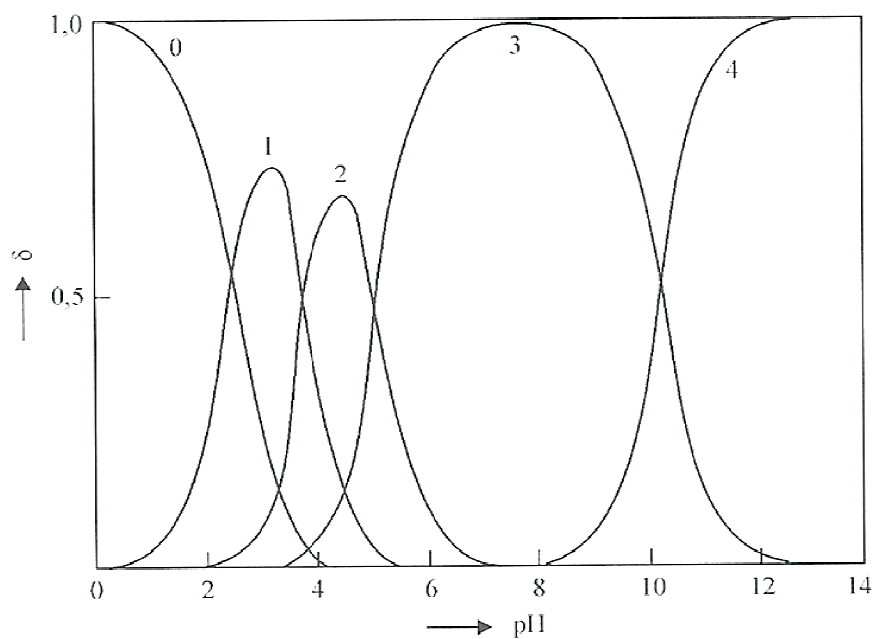
$$c_{(Ca)} = \frac{V_e \cdot f_{(chelaton\ III)} \cdot c_{(chelaton\ III)} \cdot 40,08 \cdot 10^3}{V_o}$$

$c_{(Ca)}$ – koncentrace Ca (mg/l)
 V_e – spotřeba odměrného roztoku chelatonu III (ml)
 V_o – Původní objem titrovaného vzorku
 $c_{(chelaton\ III)}$ – koncentrace (molarita) chelatonu III (mol/l)
40,08 – relativní atomová hmotnost Ca

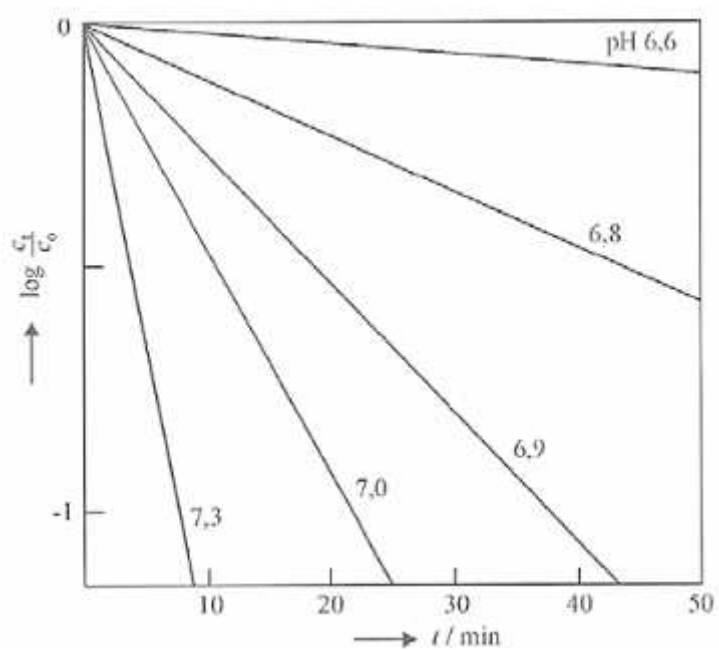
5.2 Železo

Železo je v přírodě zastoupeno hned v několika železných rudách (pyrit (FeS_2), krevel (Fe_2O_3), magnetovec (Fe_3O_4), limonit ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) a siderit (Fe_2CO_3)) a také ve velmi malém množství v řadě hlinitokřemičitanů. Do vody se železo dostává nepatrně rozpouštěním, kterému napomáhá rozpuštěný CO_2 a také vázáním na huminové látky, se kterými tvoří komplexy. Koncentrace se v povrchových vodách pohybují okolo několika setin až desetin mg/l, ve vodách podpovrchových je to několik desetin mg/l. Výraznější množství železa můžeme najít v kyselých důlních vodách, kde dochází k oxidaci pyritu a tedy i vzniku kyseliny sírové. Antropogenním zdrojem železa ve vodách mohou být průmyslové odpadní vody nebo korozní procesy ve vodovodním potrubí.

Ve vodách se železo vyskytuje jako rozpuštěné, nerozpuštěné a organicky vázané. Stav ve kterém se železo nachází ovlivňují zejména faktory jako pH, oxidačně-redukční potenciál a množství přítomných komplexotvorných látek. Železo se ve vodách objevuje ve dvou oxidačních stupních, II a III. V bezkyslíkatém (anoxickém) redukčním prostředí podzemních vod a v povrchových vodách na dně vodních nádrží či jezer je železo v oxidačním stupni II, naopak v povrchových vodách obsahující rozpuštěný kyslík je železo nejstabilnější v oxidačním stupni III. Hlavními rozpuštěnými formami Fe^{III} v závislosti na hodnotách pH jsou Fe^{3+} , $[Fe(OH)]^{2+}$, $[Fe(OH)_2]^+$, $[Fe(OH)_3(aq)]^0$ a $[Fe(OH)_4]^-$. [24]



Obr. 13: Nelogaritmičtý distribuční diagram hydroxoželezitanů, při $T = 25^\circ\text{C}$, $I = 0$; δ – distribuční koeficient; křivka 0 – Fe^{3+} , křivky 1 až 4 – $[\text{FeOH}]^{2+}$ až $[\text{Fe}(\text{OH})_4]$, Zdroj: [24]



Obr. 14: Závislost rychlosti oxidace Fe II na hodnotě pH. Na ose y je poměr látkových koncentrací Fe II v čase t a v čase $t=0$, Zdroj: [24]

Železité ionty ve vodě stanovujeme spektrofotometricky. Ke 40 ml vody přidáme 1 ml HCl (pro rozpuštění železa) a 1 ml H₂O₂ (oxidační činidlo) a následně po 5 minutách 5 ml KSCN, doplníme destilovanou vodou do 50 ml a promícháme. Roztok se zabarvuje do červenorůžového zabarvení, přičemž intenzita je přímo úměrná koncentraci železa. Na spektrofotometru měříme v intervalu od 5 do 60 minut proti slepému pokusu, při 500 nm, ve 4 cm kyvetách. [4][14][20]

5.3 Mangan

Mangan velice často doprovází železné rudy. Často se vyskytuje v podobě manganových rud jako je burel (MnO₂), braunit (Mn₂O₃), hausmanit (Mn₃O₄), manganit ([MnO(OH)]) a dialogit (MnCO₃). Se železem je hlavní součástí dnových sedimentů, ze kterých se společně z půd dostává do vody. Antropogenním zdrojem manganu ve vodách jsou především průmyslové odpadní vody např. ze zpracování rud, metalurgických závodů a z chemických provozů, tedy i z úpravy vod, kde se k oxidaci používá KMnO₄.

Ve vodách se mangan nachází v rozpuštěné a nerozpuštěné formě, v oxidačních stupních II, III a IV nebo organicky vázaný. V technologickém odvětví má mangan hojně využití i v oxidačním stupni VII. Nejstabilnější formou manganu, v redukčním prostředí s rozpuštěným kyslíkem a dalšími oxidačními činidly, je mangan v oxidačním stupni II. Ve vodách kyselých a neutrálních se mangan vyskytuje ve formě iontu [Mn(H₂O)₆]²⁺. Formy výskytu manganu jsou závislé na složení vody a pH. Dalšími formami výskytu jsou komplexy [MnOH]⁺, [MnOH₂]⁰, [MnOH₃]⁻, [MnHCO₃]⁺, [MnSO₄(aq)]⁰, případně při vyšších koncentracích chloridů, jako je tomu například v mořské vodě, mohou vznikat chlorkomplexní sloučeniny [MnCl]⁺, [MnCl₂]⁰ nebo [MnCl₃]⁻.

Ve vodách s obsahem kyslíku je mangan v oxidačním stupni nestabilní. Rychle se oxiduje do stupňů III a IV. Po oxidaci vzniká směs jednotlivých sloučenin s manganem v různých oxidačních stupních, jako např. Mn(OH)₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, MnO(OH) a MnO₂. Složení směsi závisí především na hodnotě pH, oxidačně-redukčním potenciálu, teplotě a reakční době. Ve vodách je manganu obvykle méně než železa a jeho množství jen zřídka překročí hranici 1 mg/l. [24]

V našem případě stanovení manganu ve vodě probíhalo následovně. Do titračních baněk jsme odměřili 100 ml vzorku, poté jsme přidali 2 ml HNO_3 a přikapávali AgNO_3 dokud nevznikal zákal. Po ustálení zákalu jsme přidali další 2 ml AgNO_3 jako přebytek a zfiltrovali. V případech kdy zákal nevzniká, filtrace není nutná. Jako poslední jsme přidali 1 lžičku (0,5g) persíranu amonného, zahřáli na vařiči a za nechali vařit 10 min. Po vychladnutí vzorků, které se vybarvily do růžova, kvantitativně převedeme do 100 ml odměrných baněk a doplníme po rysku destilovanou vodou. Na spektrofotometru měříme vzorky ve 4 cm kyvetách při 525 nm proti slepému vzorku. Principem této metody je oxidace sloučenin manganu na manganistan, kdy koncentrace růžového zabarvení je úměrná koncentraci manganu. [4][20]

5.4 Chlor

V běžných půdách se vyskytuje 10 až 500 mg chloridů na 1 kg. Důsledkem zvětrávání a eroze přecházejí chloridy do vod. Větší koncentrace chloridů pocházejí z ložisek kamenné soli (halitu), popřípadě draselných solí (sylvinu KCl , karnalitu $\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, kainitu $\text{KCl}\cdot\text{MgSO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$). V přímořských oblastech je významným zdrojem chloru mořská voda, která je především součástí atmosférického aerosolu. Působením větru se tento aerosol dostává nad pevninu a následně i do povrchových vod.

Antropogenním zdrojem chloru ve vodách je zejména v zimním období posypová sůl, která se z vozovek dostává až do povrchových vod, dále také odpadní vody z průmyslu, kde je používán zejména NaCl a HCl , nemalou součástí je také chlor z upravené vody pro pitné účely a chlor ze splaškových vod.

Ve vodě se chlor vyskytuje v nejrůznějších formách, jako jsou chloridy, kyselina chlorná, chlornany, chloraminy, chloristany, chlorečnany, oxid chloričitý a organické chlorderiváty. Avšak nejrozšířenější a nejběžnější formou ve vodách jsou chloridy, které se hlavně kvůli svým slabým kompletačním schopnostem vyskytují převážně ve formě Cl^- . Rozpustnost chloru závisí na složení vody, ale především na pH, kdy se zvyšujícím se pH roste i rozpustnost.

Chloridy spolu s dalšími patří mezi základní anionty v přírodních a užitkových vodách. Ve vodách s vysokou mineralizací se chloridy, díky své dobré rozpustnosti, velmi často stávají dominantním aniontem. Průměrná koncentrace chloridů ve neznečištěných

atmosférických vodách je nižší než 1 mg/l, ve vodách podpovrchových a podzemních několik jednotek až desítek mg/l a ve vodách minerálních až několik tisíc mg/l. Velice bohatými minerálními vodami na chloridy jsou vody fosilního původu, kde koncentrace dosahuje až několika desítek g/l. V povrchových vodách jsou koncentrace různé, od několika desítek až po několik set mg/l, v mořské vodě je průměrná koncentrace chloridů 19 g/l, avšak největší koncentrace chloridů pocházejí z Mrtvého moře, kde koncentrace převyšují 100 g/l. Průměrné hodnoty chloridů v pitných vodách ČR jsou okolo 18,6 mg/l. [24]

Pro stanovení chloridů jsme používali Mohrovu metodu. Do titrační baňky jsme odměřili 100 ml vzorku, přidali 1 ml chromanu draselného a roztok jsme titrovali odměrným roztokem dusičnanu stříbrného až do prvního trvalého přechodu ze žluté do oranžovohnědé barvy. Konec titrace, a tedy i barevná změna je důsledkem vzniku málo rozpustné sraženiny chromanu stříbrného. Koncentraci chloridů ve vodě jsme vypočítali z následující rovnice. [20][24]

$$c = \frac{(V_e - V_s) \cdot f_{(AgNO_3)} \cdot c_{(AgNO_3)} \cdot 35,45 \cdot 10^3}{V_o}$$

c – koncentrace Cl⁻ (mg/l)
Ve – spotřeba odměrného roztoku AgNO₃ při titraci vzorku (ml)
Vs – spotřeba odměrného roztoku AgNO₃ při titraci slepého vzorku (ml)
Vo – původní objem vzorku při titraci (ml)
c (AgNO₃) – koncentrace (normalita) odměrného roztoku AgNO₃
35,45 – relativní atomová hmotnost Cl

5.5 Fosfor

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování z půd, zvětralých hornin nebo minerálů. V půdách je fosfor obsažen ve 400-1200 mg/kg. Mezi minerály běžně se nacházející v přírodě patří zejména apatit [3Ca₃(PO₄)₂·Ca(F,Cl)₂], variscit (AlPO₄·2H₂O), strengit (FePO₄·H₂O), vivianit [Fe₃(PO₄)₂·8H₂O] a struvit (NH₄MgPO₄·6H₂O).

Antropogenním zdrojem fosforu jsou především fosforečná hnojiva, nejrůznější čistící, odmašťovací a protikorozní látky, splaškové vody a v neposlední řadě i živočišné odpady. Zejména v zemědělských oblastech jsou hlavním bodovým zdrojem znečištění velkochovy hospodářských zvířat.

Celkový fosfor se v přírodě dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný nebo také na organicky a anorganicky vázaný. Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor dále dělíme na orthofosforečnanový a polyfosforečnanový. Z orthofosforečnanů jsou nejběžnějšími formami PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , $[\text{CaHPO}_4]^0$, $[\text{MgHPO}_4]^0$, $[\text{FeHPO}_4]^+$, $[\text{CaPO}_4]^-$ aj. a z polyfosforečnanů $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$, $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$, $[\text{CaP}_2\text{O}_7]^{2-}$, $[\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7]^-$, $[\text{CaP}_3\text{O}_{10}]^{3-}$, $[\text{FeP}_2\text{O}_7]^{3-}$ aj.

Fosforečnany se v přírodních vodách vyskytují jen ve velmi nízkých koncentracích, které jen velmi zřídka překračují koncentraci 1 mg/l. Je to dáno faktem, že dochází k tvorbě málo rozpustných fosforečnanů s Ca, Fe, Mg, Al aj. a jejich následné velmi dobré chemisorpci na tuhou fázi (např. hlinitokřemičitany, hydratované oxidy kovů, sedimenty). V důsledku chemických, biochemických a sorpčních procesů dochází v jezerech a vodních nádržích k vertikální stratifikaci fosforu, která se mění během roku. Fosforečnany se většinou váží na dnový sediment, za určitých podmínek však může docházet k jeho uvolňování zpět do kapalné formy. V minerálních vodách se fosforečnany vyskytují také velmi málo. Je to dáno přítomností vyšších koncentrací kovů, které s fosforečnany tvoří nepříliš rozpustné sloučeniny. Naopak ve splaškových vodách jsou koncentrace fosforečnanů poměrně vysoké a to hlavně díky obsahu fekálií, případně i pracích a čistících prostředků. Ve splaškových vodách se koncentrace fosforečnanů pohybují v jednotkách mg/l. Extrémně bohaté vody na fosforečnany jsou vody z velkoprádelny, kde se často používají prací prostředky s polyfosforečnany. Koncentrace se zde pohybují v desítkách mg/l, někdy překročí i sto mg/l.

Sloučeniny fosforu mají významnou úlohu v přírodním koloběhu. Tyto látky jsou nezbytné pro rostliny, které následně fosfor přeměňují na organicky vázaný. Toto se týká i vodních organismů, řas a sinic, pro které je fosfor nepostradatelný pro jejich růst. Proto také bývá koncentrace fosforu v povrchových vodách v letních měsících nižší, dochází totiž k eutrofizaci.

V povrchových vodách používaných pro vodárenské účely je imisní standard pro celkový fosfor 0,1 mg/l, v průmyslových odpadních vodách vypouštěných do městské kanalizace je koncentrační limit 10 mg/l, u průmyslových odpadních vod vypouštěných do povrchové vody je limit 3 mg/l. [24]

Pro vyjadřování množství fosforu je vhodnější použití formy P, namísto PO_4^{3-} . Přepočítá vypadá následovně.

$$\begin{aligned} 1 \text{ mg P} &= 3,067 \text{ mg PO}_4^{3-} \\ 1 \text{ mg PO}_4^{3-} &= 0,326 \text{ mg P} \end{aligned}$$

Orthofosforečnany reagují s molybdenanem v prostředí kyseliny sírové a po redukcí cínatou solí (SnCl_2) se barví do modrého zabarvení, jehož intenzita je měřitelná. Množství fosforečnanů tedy měříme spektrofotometricky. Do 50 ml odměrných baněk jsme odměřili 50 ml vzorku, přidali jsme 1 ml roztoku molybdenanu amonného, zamíchali a po 5 minutách jsme přidali 0,1 ml SnCl_2 . Znovu jsme roztok zamíchali a v intervalu od 10 do 20 minut jsme modré zabarvení vzorku spektrofotometricky změřili proti slepému vzorku. Měření probíhalo ve 4 cm kyvetách a při vlnové délce 700 nm. Pro zjištění přesné koncentrace fosforečnanů ve vzorku bylo využito kalibrační křivky. [20][24]

5.6 Kyslík

Pro stanovení kyslíku jsme používali dvě metody, chemickou spotřebu kyslíku (CHSK) a biologickou spotřebu kyslíku (BSK).

5.6.1 CHSK

Je jednou z nejběžnější stanovovací metod, která vypovídá o celkovém množství organických, ale i anorganických (oxidovatelných) látek ve vodě. Pro stanovení se používá titrace buď manganistanem draselným (KMnO_4) tzv. Kubelova metoda nebo dichromanem draselným ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) tzv. dvojchromanová metoda. Z výsledků o stanovení musí být zřejmé, jaké činidlo bylo pro oxidaci použito, protože výsledky z CHSK_{Cr} jsou většinou vyšší než CHSK_{Mn} . Příčinou jsou vyšší oxidační schopnosti $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Proto se také CHSK_{Cr} používá pro všechny druhy vod a CHSK_{Mn} jen pro vody přírodní a pitné.

Organické látky ve vodách mohou být buď antropogenního, nebo přírodního původu. Z antropogenních látek jsou to především splaškové a průmyslové vody, skládky a zemědělské vlivy a z přírodních organických látek jsou to především huminové látky, sacharidy, lipidy, proteiny, uronové kyseliny, polyfenoly aj. [24]

	Třída jakosti				
	I.	II.	III.	IV.	V.
CHSK _{Mn} (mg/l)	< 6	< 9	< 14	< 20	≥ 20
CHSK _{Cr} (mg/l)	< 15	< 25	< 45	< 60	≥ 60

Tab. 4: Mezní hodnoty jakosti povrchových vod [ČSN 75 7221]

Hygienické požadavky na pitnou vodu jsou < 3 mg/l.

V našem případě se jednalo o stanovení přírodních vod, proto byla použita Kubelova metoda (CHSK_{Mn}). Postup probíhal následovně. Do vyvařených titračních baněk s varnými kamínky jsme odměřili 100 ml vzorku. Přidali jsme špačkem 5 ml H₂SO₄ (zředěná 1:2) a 20 ml 0,01 N odměrného roztoku KMnO₄. Směs jsme zahřívali tak, aby do 5 minut přešel roztok do varu, a ten jsme dalších 10 minutu udržovali. K horkému roztoku jsme přidali 20 ml standardního odměrného roztoku 0,01 N kyseliny šťavelové a odbarvený roztok jsme titrovali odměrným roztokem 0,01 N KMnO₄ do slabě růžového zabarvení.

Koncentraci rozpuštěného kyslíku jsme vypočítali z následující rovnice:

$$CHSKMn = \frac{V_e \cdot 80}{V_o}$$

V_e – spotřeba KMNO₄ při titraci (ml)
V_o – objem vzorku použitého při stanovení (ml)
80 – konstanta pro přepočítání organických látek na kyslík

Principem Kubelovy metody je přidání oxidačního činidla (KMnO₄) do vzorku v přebytku. Po ukončení reakce, zoxidování organických látek, se nezreagované činidlo nechá zreagovat se známým množstvím kyseliny šťavelové. Ta se poté titruje roztokem KMnO₄, jedná se o tzv. retitraci. [12][20]

5.6.2 BSK

Je velice hojně používaná metoda sloužící k nepřímému stanovení organických látek, které podléhají biochemickému rozkladu při aerobních podmínkách. Organické látky

jsou jedním z nejčastějších případů znečištění vody, proto je BSK jedním z hlavních ukazatelů čistoty a znečištění vody a také ukazatelem kyslíkového režimu. BSK_n je definována jako hmotnostní koncentrace kyslíku spotřebovaného oxidací organických popř. anorganických látek ve vodě, kde *n* je inkubační doba (zpravidla 5 dní). BSK se používá jako míra stanovení biologicky rozložitelných látek, na rozdíl od CHSK, kde se jedná o látky rozložitelné i nerozložitelné.

Kyslík rozpuštěný ve vzorku vody reaguje s hydroxidem manganatým za vzniku hydroxidu manganitého a manganičitého. Po okyselení vzorku a přidání jodidu manganu s vyšším oxidačním číslem přechází zpět na iont manganatý a zároveň jodid oxiduje na ekvivalentní množství jodu. Jod se poté stanovuje titrací odměrným roztokem thiosíranu sodného (Na₂S₂O₃), kde je jako indikátor používán škrob.

Vzorky vody pro BSK se odebírají do kyslíkových lahví (z každého odběrového místa 2 kyslíkové lahve), kde hned po odběru vody musí dojít k zafixování vzorku pomocí srážecích roztoků I a II. Jako první přidáme do vzorku 2 ml srážecího roztoku I (MnSO₄), kde je pipeta vložena až ke dnu lahve a pomalu se s vypouštěním srážecího roztoku vytahuje. Poté se do vzorku přidají 2 ml srážecího roztoku II (KOH + NaN₃), který se naopak vypouští těsně pod hladinu. Kyslíková láhev se po přidání činidel musí uzavřít, bez toho aniž by pod víčkem vznikla bublina, dále opláchnout vodou a dobře promíchat. Uvnitř roztoku vniká sraženina hydroxidů. Již podle barvy sraženiny je zřetelné, jestli voda obsahuje kyslík či nikoli. Rezavě hnědá sraženina vzniká v případě, že je ve vzorku přítomen hydroxid manganitý, bílá sraženina v případě, že je ve vzorku přítomen neoxidovaný hydroxid manganatý. Po úplném usazení sraženiny (nejméně po cca 12 hodinách) se musí čirý roztok nad sraženinou odsát přibližně do poloviny objemu kyslíkové lahve gumovou hadičkou. Nesmí dojít ke zviření sraženiny a jejímu následnému odsátí. Ihned po odsátí se do roztoku přidá 5 ml zředěné H₂SO₄ (1:4) a směs se okamžitě promíchá. Poté se přidají 2 ml jodidu draselného (KI) a obsah se znovu promíchá. Po 5 minutách se roztok titruje thiosíranem sodným do světložlutého zabarvení, posléze se pro lepší detekci bodu ekvivalence použije škrob jako indikátor a roztok se dotitruje do úplného odbarvení.

Hodnota BSK se poté vypočítá pomocí následující rovnice. [12][20]

$$BSK = \frac{V_e \cdot f \cdot c \cdot 8 \cdot 1000}{V_k - V_r}$$

BSK – množství rozpuštěného O₂ ve vzorku (mg/l)
V_e – spotřeba Na₂S₂O₃ (ml)
f – faktor 0,05 N Na₂S₂O₃
c – Koncentrace Na₂S₂O₃
V_k – objem kyslíkové lahve (ml)
V_r – celkový objem přidaných srážecích činidel (ml)
8 – stechiometrická přepočítávací konstanta na kyslík

5.7 Dusík

Dusík patří k nejdůležitějším makrobiogenním prvkům. Patří do skupiny nutrietů, které jsou nezbytné pro vývoj živých organismů. Sloučeniny dusíku ve vodách mohou být buď organického, nebo anorganického původu, přičemž bez antropogenního zásahu převládá organická složka vznikající rozkladem dusíkatých látek obsažených v živých organismech.

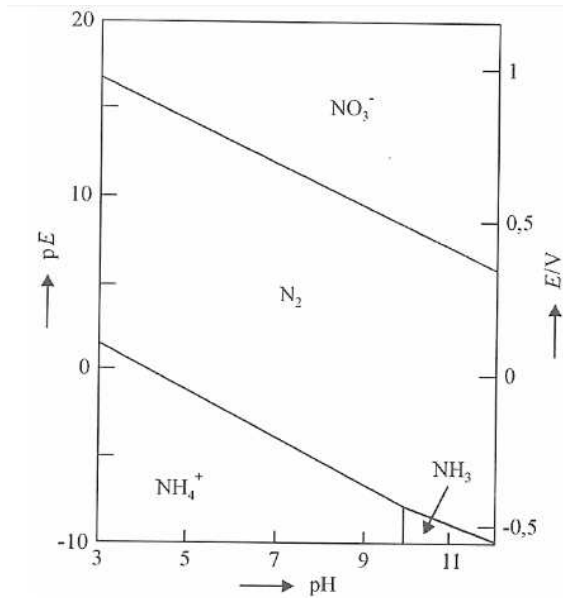
Výrazným zdrojem organického a anorganického dusíku jsou splaškové odpadní vody, kde je nedílnou součástí specifická produkce dusíku na 1 osobu na 1 den, která činí 12 g. Druhým významným zdrojem jsou zemědělské odpady, splachy ze zemědělské půdy, hnojené dusíkatými hnojivy a některé průmyslové odpadní vody. K uvolnění dusičnanů z půd dochází především v období vegetačního klidu, množství dusičnanů ale také závisí na klimatických podmínkách a složení půdy. K větším splachům dochází např. ze zemědělských půd než z půd lesních.

Dusíkaté látky najdeme jak ve vodách povrchových, podzemních tak i ve vodách atmosférických. Zde jsou látky jak přírodní tak i antropogenního původu. Sloučeninami dusíku v atmosférických vodách jsou oxidy dusíku (N₂O, NO, NO₂) a amoniak (NH₃), přičemž oxidy dusíku vznikají především spalováním a amoniak rozkladem organické hmoty v půdě.

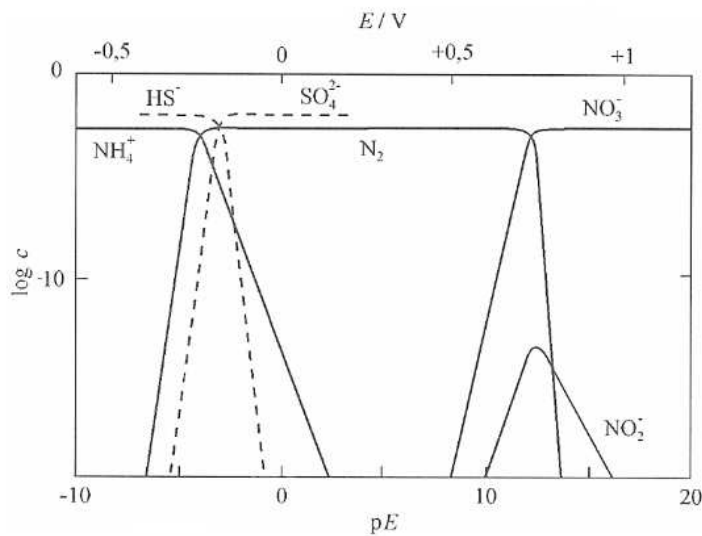
Dusík se ve vodách vyskytuje v nejrůznějších oxidačních číslech a v iontových i neiontových formách. Běžnými oxidačními čísly u dusíku jsou –III (amoniakální dusík, kyanatany, kyanidy), -I (hydroxylamin), 0 (elementární dusík), +I (oxid dusný), +III (dusitanový dusík) a +V (dusičnanový dusík).

Dusičnany jsou ve vodách nejstabilnější při vysokých hodnotách redox potenciálu. Při slabě pozitivních hodnotách redox potenciálu a za anoxických podmínek může

docházet k redukcí dusičnanů na elementární dusík. Ve vodách kde jsou kromě dusičnanů přítomny i sírany, jsou primárně redukovány dusičnany, jak je zřejmé z následujících diagramů.



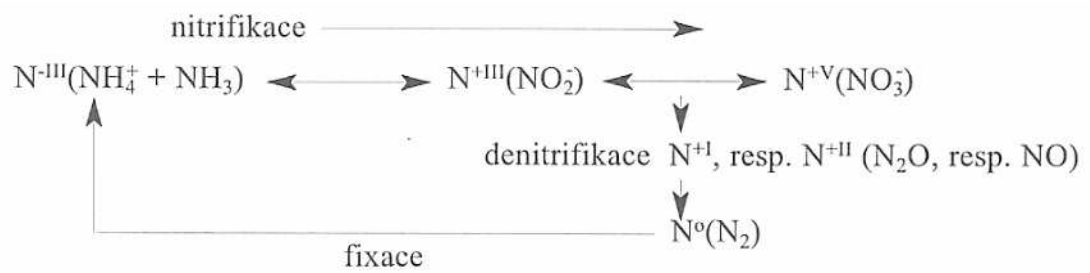
Graf 2: Diagram oblastí převažující existence systému NH₃-NH₄⁺-N₂-NO₃⁻, Zdroj: [24]



Graf 3: Logaritmičtý distribuční diagram systému NH₃-N₂-NO₂⁻-NO₃⁻, Zdroj: [24]

Organické dusíkaté látky, které jsou mikroorganismy rozkládány, dusík poté uvolňují v amoniakální podobě, kterou organismy opět využívají pro tvorbu nové biomasy. V anaerobních podmínkách se amoniakální dusík dále nemění, ale v podmínkách aerobních přechází nitrifikací až na dusičnany, což je konečný produkt oxidace

organicky vázaného dusíku. Naopak biochemická redukce dusičnanů na elementární dusík v anaerobních podmínkách se nazývá denitrifikací. Při nitrifikaci dochází k uvolňování vodíkových iontů, proto může docházet k význačnému snížení pH. Při denitrifikaci dochází k uvolňování iontů OH^- , tedy dochází k situaci přesně opačné, zvyšování pH. [24]



Obr. 15: Schéma nitrifikace, denitrifikace a fixace dusíku, Zdroj: [24]

5.7.1 Amoniakální dusík

Amoniakální dusík je ve velmi hojném množství ve vodách obsažen v přírodní formě. Amoniak je totiž produktem veškerého rozkladu organických dusíkatých látek jak rostlinného tak živočišného původu. Nezanedbatelným zdrojem je ale i antropogenní původ amoniaku, který pochází především ze splaškových odpadních vod, zemědělských odpadů, čistírenských kalových vod a také ze zemědělských hnojiv, jejichž splachem se amoniak dostává do povrchových i podzemních vod. Amoniakální dusík je velmi význačným ukazatelem, co se týče hygienického hlediska. Používá se jako tzv. indikátor fekálního znečištění. Mezní hodnota pro pitnou vodu pro kationt NH_4^+ je 0,5 mg/l, pro kojenecké vody je hodnota o polovinu menší (0,25 mg/l). [24]

Pro vyjádření korelace amoniaku ve vodách se využívá amoniakálního dusíku N-NH_4^+ , jehož převod vystihuje následující vztah.

$$\begin{aligned} 1 \text{ mg N-NH}_4^+ &= 1,286 \text{ mg NH}_4^+ \\ 1 \text{ mg NH}_4^+ &= 0,777 \text{ mg N-NH}_4^+ \end{aligned}$$

Pro stanovení amonných iontů jsme použili spektrofotometrického stanovení. Do 50 ml odměrných baněk jsme odpipetovali 40 ml vzorku, přidali jsme 4 ml vybarvovacího činidla ($\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Na} + \text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}_5\text{FeN}_6\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dobře promíchali. Následně jsme přidali 4 ml dichlorisokyanuratanu sodného, doplnili po rysku destilovanou vodou a opět dobře promíchali. Roztok se nechal 1 hodinu stát při pokojové teplotě. Zeleně vybarvené vzorky jsme poté spektrofotometricky proměřili v 1 cm kyvetách při 655 nm proti slepému vzorku. Z naměřených absorbancí jsme poté odečetli dané koncentrace z kalibrační křivky. [20]

5.7.2 Dusitany

Dusitany přítomné ve vodách vznikají buď denitrifikací dusičnanů, nebo naopak nitrifikací amoniakálního dusíku. Bohaté na dusitany jsou velmi často průmyslové odpadní vody ze strojírenství, výroby barviv a kovoprůmyslu. Běžně se koncentrace dusitanů vyjadřuje v podobě dusitanového dusíku (N-NO_2^-), kde pro přepočítání slouží následující vztah.

$$\begin{aligned} 1 \text{ mg N-NO}_2^- &= 3,2845 \text{ mg NO}_2^- \\ 1 \text{ mg NO}_2^- &= 0,3045 \text{ mg N-NO}_2^- \end{aligned}$$

Dusitany ve vodách většinou doprovázejí dusičnany a amoniakální dusík. Vzhledem k jejich labilitě jsou jejich koncentrace poměrně nízké. Průměrná koncentrace dusitanového dusíku v pitných vodách podzemního původu je 0,004 mg/l a v pitných vodách povrchového původu 0,008 mg/l. Ve vodovodní síti byla průměrná hodnota v roce 2002 naměřena 0,01 mg/l. [24]

Stanovení dusitanů ve vodách jsme prováděli spektrofotometricky. Do 50 ml odměrných baněk jsme odměřili 50 ml vzorku, poté jsme přidali 1 ml kyseliny sulfanilové, promíchali a po 5 minutách jsme přidali 1 ml α -naftylaminu a opět promíchali. Spektrofotometrické měření probíhalo až po 40 minutách, proti slepému vzorku, při 520 nm ve 4 cm kyvetách. Dané koncentrace vzorků jsme odečetli z kalibrační křivky. [20]

5.7.3 Dusičnany

Dusičnany vznikají převážně sekundárně, a to nitrifikací z amoniakálního dusíku. Jsou to finální produkty rozkladu dusíkaté organické hmoty v aerobním prostředí. Dalším jejich antropogenním zdrojem jsou zemědělská hnojiva.

Dusičnany se obdobně jako dusitany vyjadřují v podobě dusičnanového dusíku N-NO_3^- , kde pro převod platí následující poměr:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mg N-NO}_3^- &= 4,427 \text{ mg NO}_3^- \\ 1 \text{ mg NO}_3^- &= 0,226 \text{ mg N-NO}_3^- \end{aligned}$$

Dusičnany se vyskytují téměř ve všech vodách, patří tedy mezi čtyři hlavní anionty. Jejich koncentrace z velké části záleží na počtu obyvatelstva a zemědělské aktivitě v dané oblasti. Zajímavým příkladem může být řeka Labe, ve které koncentrace od konce 19. století vzrostla cca desetkrát. Tento vznikající trend se ale zastavil v devadesátých letech, kdy došlo k rapidnímu snížení sloučenin dusíku v atmosféře a výraznému snížení dávek průmyslových hnojiv do zemědělské půdy. V podzemních vodách jsou koncentrace dusičnanového dusíku ve velice širokém spektru. Hodnoty se pohybují od několika jednotek až do stovky mg/l. Majoritní vliv na tyto výkyvy má

klimatický, půdní charakter oblasti a vegetační období. Průměrné koncentrace dusičnanového dusíku v pitných vodách podzemního původu jsou 3,92 mg/l a v pitných vodách povrchového původu 3,26 mg/l. Ve vodách vodovodní sítě byly průměrné koncentrace, podle zdrojů z roku 2002, stanoveny na 4,34 mg/l. [24]

Koncentrace dusičnanů ve vzorcích vody jsme stanovovali spektrofotometricky a to rovnou z filtrátů jednotlivých vzorků. Měřili jsme v 1 cm kyvetách, při 214 nm (UV), proti destilované vodě. Většinou bylo potřeba vzorky ředit. Koncentrace jsme odečetli z hodnot na kalibrační křivce. [20]

5.8 Neutralizační kapacity

Většina přírodních a odpadních vod se vlivem obsažených látek vyznačuje určitou tlumivou neutralizační kapacitou (kyselinovou, zásadovou). Pokud tedy přidáváme do roztoku kyselinu, popř. zásadu, pH se nemění přímo úměrně dávkou přidané kyseliny (zásady). To je způsobeno právě danou neutralizační kapacitou roztoku, tedy schopností v určitém rozsahu vázat vodíkové nebo hydroxidové ionty. Neutralizační kapacita se stanovuje titračně, a to kyselinou (kyselinová neutralizační kapacita, alkalita) popř. zásadou (zásadová neutralizační kapacita, acidita).

Acidita je schopnost vody neutralizovat zásaditě reagující látky, je tedy možné přímo stanovit obsah kyseliny reagujících látek ve vodě. Aciditu přírodních vod způsobuje CO₂, resp. kyselina uhličitá a u vod pocházejících z rašelinišť ještě také huminové kyseliny. U přírodních vod je acidita rovna obsahu CO₂, nebo součtu CO₂ a huminových kyselin. Pokud se však voda upravuje kyselými reagujícími látkami, pak se bude acidita rovnat součtu objemů CO₂ a použité kyseliny. [23][24]

Aciditu jsme stanovovali titračně. Do 250 ml titrační baňky jsme odměřili 100 ml vzorku, přidali 3-5 kapek fenolftaleinu a titrovali roztokem 0,1 M NaOH do slabě růžového zbarvení. Alkalitu jsme nadále vypočítali podle následujícího vzorce. [20]

$$Acidita = \frac{V_e \cdot f \cdot c \cdot 1000}{V_o}$$

V_e – spotřeba odměrného roztoku NaOH (ml)
f – faktor NaOH
c – koncentrace NaOH (mol/l)
V_o – původní objem vzorku

Alkalita je schopnost vody neutralizovat kyselou reagující látku, je tedy možné přímo stanovit obsah alkalicky reagujících látek ve vodě. Alkalitu ve vodách způsobují především hydrogenuhličitany. Alkalita je tedy rovna obsahu hydrogenuhličitánů plus použitých látek reagujících ve vodách alkalicky. [23][24]

Alkalitu jsme stanovovali také titračně. Ke 100 ml vzorku v titrační baňce jsme přidali 3 kapky směsného indikátoru a titrovali odměrným roztokem 0,1 M HCl z modrého do cibulově žlutého odstínu. Alkalitu jsme počítali podle následujícího vzorce. [20]

$$Alkalita = \frac{V_e \cdot f \cdot c \cdot 1000}{V_o}$$

V_e – spotřeba odměrného roztoku HCl (ml)
 f – faktor HCl
 c – koncentrace HCl (mol/l)
 V_o – původní objem vzorku

5.9 Protolytické (acidobazické) rovnováhy

Výsledné pH ve vodách je dáno ustanovením řady homogenních a heterogenních rovnováh. Hodnota pH ovlivňuje většinu fyzikálně chemických, chemických a biologických reakcí ve vodách. Jeho působením vznikají disociované a nedisociované formy některých kyselin a zásad, které se ve svých vlastnostech různí. Dobrým příkladem je vyšší toxicita nedisociovaných molekul H_2S a NH_3 než disociovaných forem HS^- a NH_4^+ .

Za kyseliny jsou považovány látky se schopností odštěpovat vodíkový proton, naopak zásady jsou látky, které umí vodíkový proton přijmout. Jelikož se jedná o výměnu protonů, reakce se nazývají protetické. Podle počtu vyměňovaných vodíkových protonů dělíme kyseliny a zásady na jednosytné a vícesytné.

Hodnota pH je definována jako záporný dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationtů (H_3O^+), přičemž platí, že ve zředěných roztocích je aktivita rovna koncentraci. Vztah pro výpočet pH je následovný.

$$pH = -\log (c H_3O^+) \text{ resp. } pH = -\log (a H_3O^+)$$

Ve vodném roztoku jsou vždy přítomny molekuly H_2O a také určitý počet H_3O^+ a OH^- . Součin koncentrací obou těchto iontů je za konstantních podmínek vždy konstantní a je označován jako iontový součin vody. Pro ten platí, že je za standardních podmínek roven 10^{-14} . V neutrálních podmínkách je koncentrace obou iontů (H_3O^+ a OH^-) stejná, 10^{-7} . Hodnota pH je tedy 7. Zvýší-li se koncentrace H_3O^+ tisícinásobně, tedy na 10^{-4} , bude pH odpovídat hodnotě 4. Zvýší-li se naopak koncentrace OH^- tisícinásobně, bude koncentrace H_3O^+ odpovídat hodnotě 10^{-10} a pH se zvýší na hodnotu 10. [24]






V našem případě jsme pro měření pH použili pH-metr s jednou kombinovanou elektrodou (obsahuje měrnou i referenční elektrodu).

5.10 Vodivost

Vodivost neboli konduktivita je mírou koncentrace ionizovatelných anorganických a organických látek ve vodě. Závisí především na koncentraci iontů, jejich náboji, pohyblivosti a teplotě vody. Konduktivita se většinou měří při 25°C . Stálá teplota je pro měření velmi důležitá protože 1°C znamená změnu konduktivity o 2%. Vodivost je značena κ a je to převrácená hodnota odporu Ω . Jejimi jednotkami jsou S/m popř. mS/m nebo $\mu\text{S}/\text{m}$. Povrchové a podzemní vody mají hodnotu konduktivity obvykle v rozmezí od 5 do 50 mS/m. [24][34]

6 Chemický rozbor

Pro klasifikaci povrchových vod podle znečištění se v České republice již dlouhou dobu používá norma ČSN 757221 (Kontrola jakosti povrchových vod), která vešla v platnost v říjnu roku 1998. Tato norma třídí povrchové vody podle jejich jakosti do pěti příslušných tříd, přičemž se využívá mezních hodnot charakteristických ukazatelů. Výsledky základní klasifikace jakosti je možno vyjádřit pomocí speciálních map, kde ke každé třídě jakosti připadá odlišná barva. [4][17]

Třída		Popis	Barva
I. třída	Neznečištěná voda	Voda je většinou vhodná pro všechna užití (vodárenské účely, potravinářský průmysl, koupání, chov lososovitých ryb).	
II. třída	Mírně znečištěná voda	Voda je většinou vhodná pro většinu užití (vodárenské účely, chov ryb, vodní sporty, zásobování průmyslu vodou).	
III. třída	Znečištěná voda	Voda obvykle vhodná jen k zásobení průmyslu vodou, pro vodárenské účely jen v případě, že není k dispozici kvalitnější zdroj vody.	
IV. třída	Silně znečištěná voda	Voda je vhodná jen pro omezené účely.	
V. třída	Velmi silně znečištěná voda	Voda není vhodná pro žádné účely.	

Tab. 5: Třídy jakosti vody podle ČSN 757221

Jakost vody se klasifikuje zvlášť pro každý jednotlivý ukazatel. Pokud je ale nutné vyjádřit souhrnnou informaci o jakosti vody, je možné použít základní klasifikaci založenou na vybraných ukazatelích jakosti vod. Výsledná třída se poté určuje podle nejméně příznivého vyhodnoceného ukazatele. Vybranými chemickými ukazateli jakosti vod jsou biochemická spotřeba kyslíku (BSK), chemická spotřeba kyslíku (CHSK), amoniakální dusík, dusičnanový dusík a celkový fosfor. Chemické ukazatele pro stanovení jakosti povrchových vod lze rozdělit do šesti skupin.

1	Kyslíkový režim	Rozpuštěný kyslík, BSK, CHSK, celkový organický uhlík (TOC)
2	Základní chemické ukazatele	pH, teplota vody, rozpuštěné látky nebo vodivost, nerozpuštěné látky, amoniakální dusík, dusičnanový dusík, veškerý fosfor
3	Doplňující chemické ukazatele	Vápník, hořčík, sírany, chlority, tenzidy aniontové, nepolární extrahované látky, organicky vázaný chlor
4	Těžké kovy	Rtuť, kadmium, arsen, olovo
5	Biologické a mikrobiologické ukazatele	Saprobni index, koliformní bakterie nebo fekální koliformní bakterie
6	Ukazatele radioaktivity	Celková objemová aktivita alfa, celková objemová aktivita beta

Tab. 6: Skupiny ukazatelů jakosti vody podle ČSN 757221

Pro stanovení celkové klasifikace se využívá klasifikace každého ukazatele zvlášť, z těchto hodnot se poté určí výsledná třída jakosti pro jednotlivou skupinu a poté celková klasifikace. Ta musí být ovšem založena na klasifikacích nejméně tří skupin, a to skupiny 1, 2 a 5. Jakost vody se stanovuje na základě výsledků z delšího časového období, nejkratším úsekem je 12 měsíců.

Pro zařazení vody do jakostní třídy se využívá mezní hodnoty, kterou udává norma ČSN 757221, a vypočtené charakteristické hodnoty daného ukazatele. Charakteristická hodnota lze vypočítat ze všech naměřených hodnot, minimální množství je však 24. Pokud je k dispozici menší množství stanovených hodnot, charakteristická hodnota je hodnotou, ležící ve vzestupné řadě hodnot v místě, které odpovídá 90 % z celkového množství hodnot zaokrouhlené na celé číslo. Pro 11-15 hodnot je to tedy předposlední hodnota a pro 16-23 hodnot je to hodnota třetí od zadu ve vzestupné řadě dat. Je-li k dispozici méně jak 11 hodnot, klasifikace podle normy ČSN 757221 není možná.

Tato hodnota vyjadřuje pravděpodobnost nepřekročení (u rozpuštěného kyslíku překročení) 90%. Pravděpodobnost nepřekročení (překročení) leží obvykle mezi 85% a 90%, v závislosti na tvaru rozdělení hodnot. [4][17]

Ukazatel	Jednotka	Třída				
		1	2	3	4	5
Biochemická spotřeba kyslíku	mg.l ⁻¹	<2	<4	<8	<15	>15
Chemická spotřeba kyslíku - Mn	mg.l ⁻¹	<6	<12	<14	<20	>20
Organický uhlík	mg.l ⁻¹	<7	<10	<16	<20	>20
Rozpuštěné látky	mg.l ⁻¹	<300	<500	<800	<1 200	>1 200
Vodivost	mS.m ⁻¹	<40	<70	<110	<160	>160
pH		6-8,5	6-8,5	6-8,5	5,5-9	<5,5>9,0
Ner rozpustné látky	mg.l ⁻¹	<20	<40	<60	<100	>100
Železo	mg.l ⁻¹	<0,5	<1,0	<2,0	<3,0	>3,0
Mangan	mg.l ⁻¹	<0,1	<0,3	<0,5	<0,8	>0,8
Amoniakální dusík (a)	mg.l ⁻¹	<0,3	<0,7	<2,0	<4,0	>4,0
Dusičnanový dusík (c)	mg.l ⁻¹	<3,0	<6,0	<10	<13	>13
(a) - přepočet pro amoniak	mg.l ⁻¹	<0,39	<0,64	<1,9	<6,4	>6,4
(b) - přepočet pro dusitany	mg.l ⁻¹	<0,007	<0,016	<0,066	<0,164	>0,164
(c) - přepočet pro dusičnany	mg.l ⁻¹	<4,43	<15,1	<31,0	<48,7	>48,7
Organický dusík	mg.l ⁻¹	<0,5	<1,0	<2,5	<3,5	>3,5
Veškerý fosfor	mg.l ⁻¹	<0,05	<0,15	<0,4	<1,0	>1,0
Chloridy	mg.l ⁻¹	<100	<200	<300	<450	>450
Sírany	mg.l ⁻¹	<80	<150	<250	<400	>400
Vápník	mg.l ⁻¹	<150	<200	<300	<400	>400
Hořčík	mg.l ⁻¹	<50	<100	<200	<300	>300
Zinek	mg.l ⁻¹	<0,015	<0,05	<0,1	<0,2	>0,2
Saprobni index		<1,5	<2,2	<3,0	<3,5	>3,5

Tab. 7: Limitní hodnoty vybraných ukazatelů, rozdělení do tříd jakosti, Zdroj: norma ČSN 757221

7 Výsledky

Pro kvalitativní zhodnocení povrchových vod v povodí Mladotického potoka bylo zvoleno 11 odběrových profilů (viz kapitola 2.1). Byly zvoleny stejně, nebo hodně obdobně, jako profily v diplomové práci Gabriely Šťastné (2000), aby výsledky mohly být co nejpřesněji porovnány a vyhodnoceny.

Pro chemický rozbor byly použity rovněž stejné chemické ukazatele jako u Gabriely Šťastné. Jednalo se o BSK, $\text{CHSK}_{(\text{Mn})}$, N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , celkovou tvrdost vody, Cl^- , aciditu, alkalitu, pH a vodivost.

7.1 Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014 a zařazení jednotlivých ukazatelů do tříd jakosti

Profil č.1		Mladotický potok - pramen		
		průměr	C_{90}	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,148	0,187	
Alkalita	mmol/l	1,205	1,321	
pH		7,623	7,990	I-III
Vodivost	$\mu\text{S/cm}$	306,833	337,000	I
N-NH_4^+	mg/l	0,274	0,289	I
N-NO_2^-	mg/l	0,017	0,016	
N-NO_3^-	mg/l	2,398	3,253	II
P-PO_4^{3-}	mg/l	0,008	0,011	
$\text{CHSK}_{(\text{Mn})}$	mg/l	10,120	13,280	III
Fe^{3+}	mg/l	0,473	0,691	II
Ca^{2+}	mg/l	32,862	33,731	I
Tvrdost	mmol/l	1,298	1,584	
Mg^{2+}	mg/l	8,677	14,594	I
Cl^-	mg/l	43,501	49,841	I
Mn^{2+}	mg/l	0,179	0,366	III
BSK_5	mg/l	1,900	2,509	II

Tab. 8: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 1

Profil č.2		Mladotický potok - nad jezerem		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,241	0,274	
Alkalita	mmol/l	2,512	2,844	
pH		7,823	8,130	I-III
Vodivost	μS/cm	419,583	440,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,456	0,655	II
N-NO ₂ ²⁻	mg/l	0,073	0,135	
N-NO ₃ ³⁻	mg/l	4,077	6,005	II
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,136	0,155	
CHSK _(Mn)	mg/l	9,593	13,120	III
Fe ³⁺	mg/l	0,119	0,171	I
Ca ²⁺	mg/l	56,622	59,375	I
Tvrdost	mmol/l	2,205	2,362	
Mg ²⁺	mg/l	13,939	18,878	I
Cl ⁻	mg/l	40,518	43,307	I
Mn ²⁺	mg/l	0,072	0,061	I
BSK ₅	mg/l	3,080	4,836	III

Tab. 9: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 2

Profil č.3		Mladotické jezero		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,141	0,187	
Alkalita	mmol/l	2,639	3,043	
pH		8,382	9,000	IV
Vodivost	μS/cm	407,667	435,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,301	0,400	II
N-NO ₂ ²⁻	mg/l	0,054	0,057	
N-NO ₃ ³⁻	mg/l	4,260	5,527	II
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,056	0,096	
CHSK _(Mn)	mg/l	9,853	12,160	III
Fe ³⁺	mg/l	0,056	0,069	I
Ca ²⁺	mg/l	54,123	56,112	I
Tvrdost	mmol/l	2,101	2,228	
Mg ²⁺	mg/l	13,108	19,572	I
Cl ⁻	mg/l	39,524	43,307	I
Mn ²⁺	mg/l	0,061	0,122	II
BSK ₅	mg/l	6,219	8,108	IV

Tab. 10: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 3

Profil č.4		Mladotický potok - pod jezerem		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,164	0,190	
Alkalita	mmol/l	2,601	2,846	
pH		8,133	8,400	I-III
Vodivost	μS/cm	410,667	453,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,224	0,266	I
N-NO ₂ ²⁻	mg/l	0,024	0,033	
N-NO ₃ ³⁻	mg/l	4,376	6,756	III
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,073	0,114	
CHSK _(Mn)	mg/l	8,667	12,000	II
Fe ³⁺	mg/l	0,052	0,052	I
Ca ²⁺	mg/l	54,267	59,001	I
Tvrdost	mmol/l	2,113	2,261	
Mg ²⁺	mg/l	13,362	17,348	I
Cl ⁻	mg/l	38,943	41,831	I
Mn ²⁺	mg/l	0,000	0,000	I
BSK ₅	mg/l	3,187	5,139	III

Tab. 11: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 4

Profil č.5		Mladotický potok - nad obcí		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,175	0,187	
Alkalita	mmol/l	2,593	2,720	
pH		8,064	8,250	I-III
Vodivost	μS/cm	412,250	440,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,253	0,322	II
N-NO ₂ ²⁻	mg/l	0,020	0,023	
N-NO ₃ ³⁻	mg/l	4,741	7,001	III
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,060	0,086	
CHSK _(Mn)	mg/l	8,380	11,040	II
Fe ³⁺	mg/l	0,077	0,103	I
Ca ²⁺	mg/l	53,095	55,012	I
Tvrdost	mmol/l	2,259	2,426	
Mg ²⁺	mg/l	19,189	29,220	I
Cl ⁻	mg/l	37,777	41,990	I
Mn ²⁺	mg/l	0,046	0,000	I
BSK ₅	mg/l	2,115	4,143	III

Tab. 12: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 5

Profil č.6		Mladotický potok - pod obcí		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,320	0,469	
Alkalita	mmol/l	3,756	4,144	
pH		7,713	8,070	I-III
Vodivost	μS/cm	545,083	604,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,477	0,755	III
N-NO ₂ ²⁻	mg/l	0,079	0,142	
N-NO ₃ ³⁻	mg/l	6,484	9,008	III
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,049	0,076	
CHSK _(Mn)	mg/l	8,533	12,160	III
Fe ³⁺	mg/l	0,165	0,189	I
Ca ²⁺	mg/l	58,135	64,836	I
Tvrdost	mmol/l	3,071	3,518	
Mg ²⁺	mg/l	40,138	52,548	II
Cl ⁻	mg/l	44,724	49,841	I
Mn ²⁺	mg/l	0,122	0,183	II
BSK ₅	mg/l	2,797	4,159	III

Tab. 13: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 6

Profil č.7		Mladotický potok - ústí		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,179	0,190	
Alkalita	mmol/l	2,686	3,032	
pH		7,953	8,150	I-III
Vodivost	μS/cm	413,167	443,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,747	0,322	II
N-NO ₂ ²⁻	mg/l	0,027	0,045	
N-NO ₃ ³⁻	mg/l	4,857	6,878	III
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,034	0,041	
CHSK _(Mn)	mg/l	7,253	9,120	II
Fe ³⁺	mg/l	0,171	0,189	I
Ca ²⁺	mg/l	55,762	59,525	I
Tvrdost	mmol/l	2,201	2,327	
Mg ²⁺	mg/l	14,667	16,515	I
Cl ⁻	mg/l	34,977	37,860	I
Mn ²⁺	mg/l	0,245	0,305	III
BSK ₅	mg/l	2,427	3,467	II

Tab. 14: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 7

Profil č.8		Žihelský potok - nad obcí		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,226	0,281	
Alkalita	mmol/l	2,834	3,234	
pH		7,905	8,230	I-III
Vodivost	μS/cm	428,250	467,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,254	0,305	II
N-NO ²⁻	mg/l	0,020	0,023	
N-NO ³⁻	mg/l	5,219	7,757	III
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,013	0,018	
CHSK _(Mn)	mg/l	6,780	8,960	II
Fe ³⁺	mg/l	0,039	0,051	I
Ca ²⁺	mg/l	49,936	58,942	I
Tvrdost	mmol/l	2,485	2,965	
Mg ²⁺	mg/l	29,593	41,842	I
Cl ⁻	mg/l	27,841	34,418	I
Mn ²⁺	mg/l	0,005	0,000	I
BSK ₅	mg/l	2,284	4,130	III

Tab. 15: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 8

Profil č.9		Žihelský potok - pod obcí		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,308	0,456	
Alkalita	mmol/l	4,219	5,036	
pH		7,742	8,090	I-III
Vodivost	μS/cm	544,000	623,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,453	0,488	II
N-NO ²⁻	mg/l	0,070	0,107	
N-NO ³⁻	mg/l	5,203	8,966	III
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,152	0,269	
CHSK _(Mn)	mg/l	7,547	8,960	II
Fe ³⁺	mg/l	0,096	0,137	I
Ca ²⁺	mg/l	59,142	74,294	I
Tvrdost	mmol/l	3,137	3,518	
Mg ²⁺	mg/l	41,230	49,885	I
Cl ⁻	mg/l	41,978	51,245	I
Mn ²⁺	mg/l	0,143	0,244	II
BSK ₅	mg/l	3,143	5,103	III

Tab. 16: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 9

Profil č.10		Odlezenský potok		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,269	0,366	
Alkalita	mmol/l	3,302	3,456	
pH		7,774	8,120	I-III
Vodivost	μS/cm	399,083	428,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,521	0,599	II
N-NO ²⁻	mg/l	0,028	0,043	
N-NO ³⁻	mg/l	4,286	5,036	II
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,023	0,037	
CHSK _(Mn)	mg/l	6,513	8,080	II
Fe ³⁺	mg/l	0,055	0,069	I
Ca ²⁺	mg/l	49,046	56,977	I
Tvrdost	mmol/l	2,381	2,513	
Mg ²⁺	mg/l	27,142	37,388	I
Cl ⁻	mg/l	22,828	24,569	I
Mn ²⁺	mg/l	0,036	0,000	I
BSK ₅	mg/l	2,612	3,323	II

Tab. 17: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 10

Profil č.11		Chrást'ovický potok		
		průměr	C ₉₀	třída jakosti
Acidita	mmol/l	0,274	0,375	
Alkalita	mmol/l	3,761	4,144	
pH		8,024	8,260	I-III
Vodivost	μS/cm	617,250	645,000	II
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,337	0,433	II
N-NO ²⁻	mg/l	0,018	0,019	
N-NO ³⁻	mg/l	11,266	15,230	V
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,035	0,027	
CHSK _(Mn)	mg/l	7,193	9,760	II
Fe ³⁺	mg/l	0,037	0,051	I
Ca ²⁺	mg/l	52,111	72,505	I
Tvrdost	mmol/l	3,876	4,020	
Mg ²⁺	mg/l	71,923	101,772	III
Cl ⁻	mg/l	40,055	46,121	I
Mn ²⁺	mg/l	0,000	0,000	I
BSK ₅	mg/l	2,261	3,181	II

Tab. 18: Výsledky chemických rozborů z let 2012-2014, profil č. 11

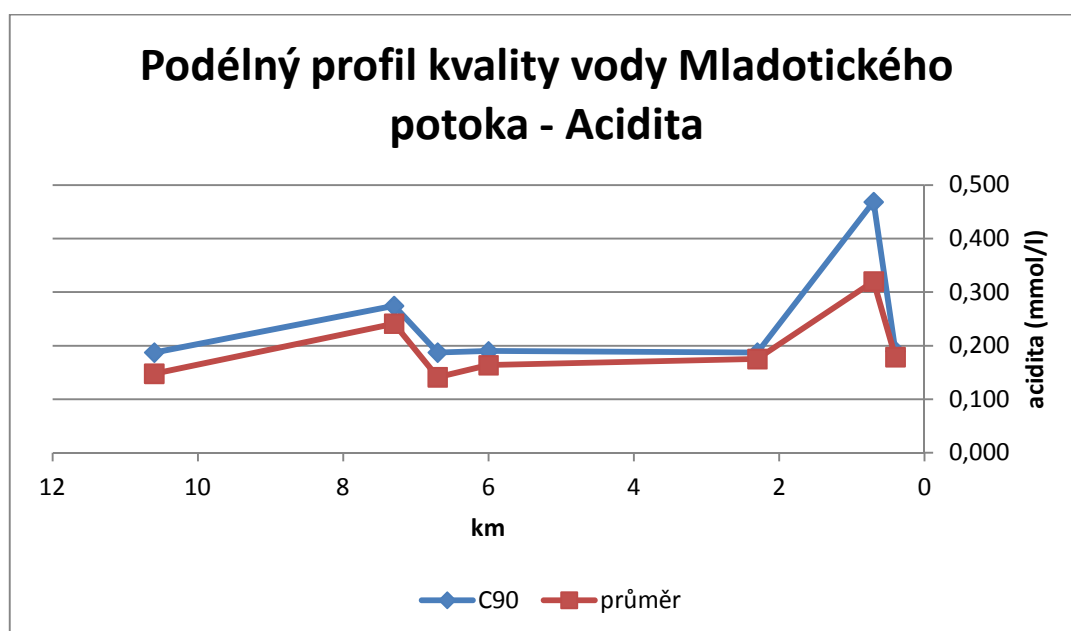
7.2 Podélné profily toku jednotlivých ukazatelé kvality vody (data 2012-2014)

Z podélných profilů lze přehledně vyčíst zatíženost jednotlivých odběrových míst na toku Mladotického potoka. V grafu je velice názorně vidět vliv sídel a zemědělských aktivit na kvalitu vody ve všech stanovovaných ukazatelích kvality vody.

U podélných profilů se využívá pro každý odběrový profil říčních kilometrů, s tím že u ústí Mladotického potoka do Střely je nula a u pramene potoka nejvyšší hodnota. Říční kilometry pro použité profily jsou následovné, viz. kapitola 3.1.

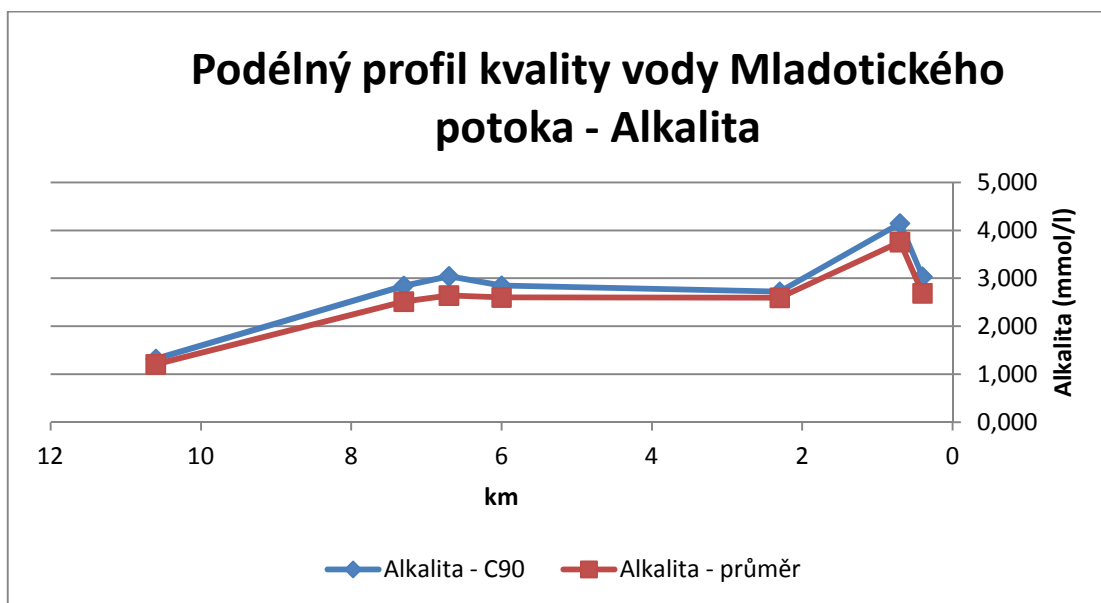
číslo profilu	jméno profilu	říční kilometry
1	Mladotický potok - pramen	10,6
2	Mladotický potok - nad jezerem	7,3
3	Mladotické jezero	6,7
4	Mladotický potok - pod jezerem	6
5	Mladotický potok - nad obcí	2,3
6	Mladotický potok - pod obcí	0,7
7	Mladotický potok ústí	0,4

Tab. 19: Říční kilometry jednotlivých profilů Mladotického potoka



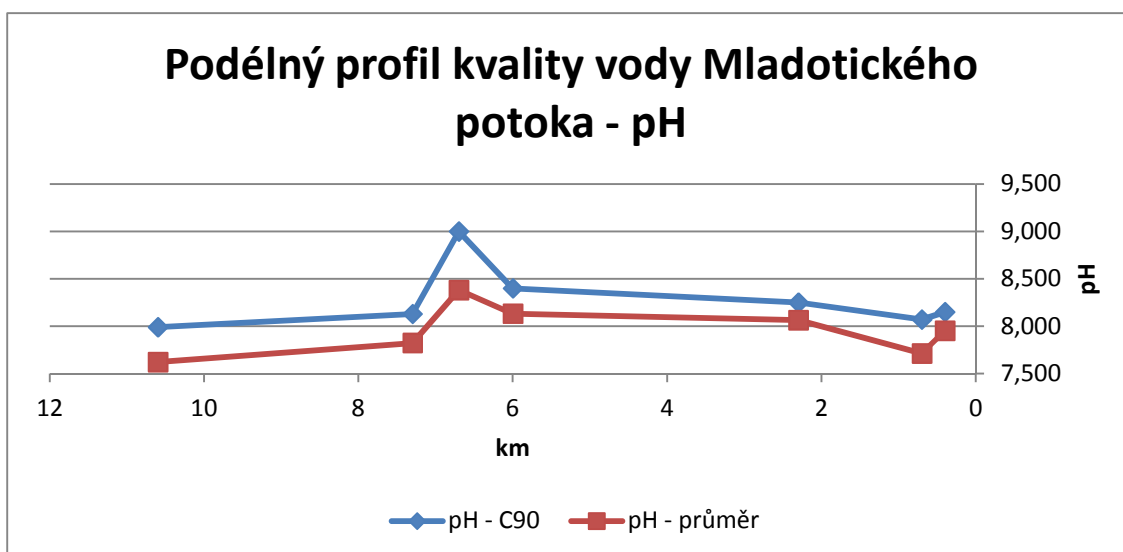
Graf 4: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - acidita

Podélný profil acidity vody vykazuje vlivy obcí na kvalitu vody v Mladotickém potoce. Již první mírné zvýšení je zaznamenáno na druhém profilu (Mladotický potok nad jezerem), kde významnou roli hraje obec Přehořov, ovlivňující kvalitu vody v této lokaci. Druhé zvýšení je zaznamenáno na profilu pod obcí Mladotice, kde je vliv obce taktéž výrazný.



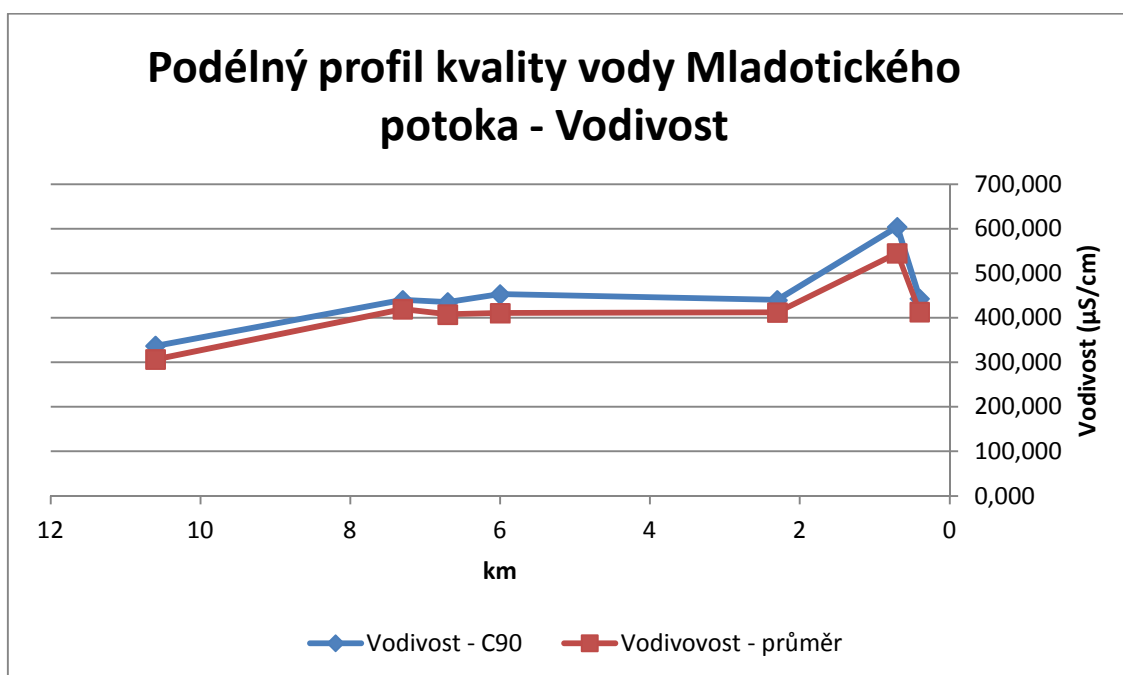
Graf 5: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - alkalita

U alkality vody je patrný zvyšující se trend po celé délce toku. Na profilu pod obcí Mladotice je však viditelný vyšší nárůst, jde zároveň i o celkově nejvyšší hodnotu.



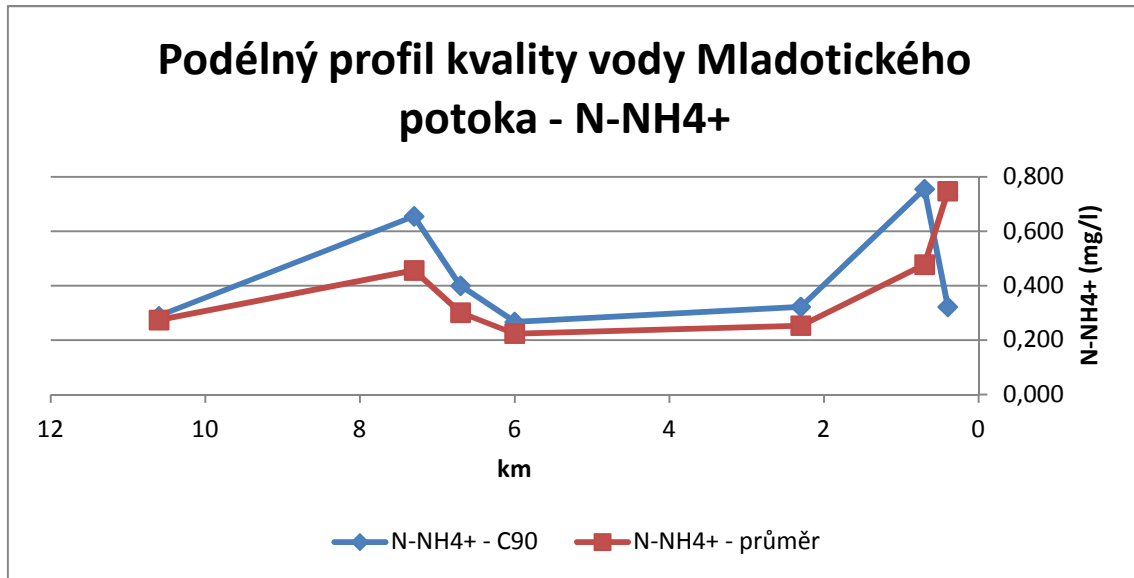
Graf 6: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - pH

Podélný profil hodnot pH má vyšší hodnoty na profilu Mladotického jezera. Tento fakt je pravděpodobně způsoben akumulací vody v jezeře, kde je vyšší obsah hydrogenuhličitanů, což také souvisí s vyšší alkalitou akumulované vody. Dále je patrné, že hodnoty pH se pohybují cca od 7,5 do 9,0, což je znakem toho, že voda v Mladotickém potoce spadá do kategorie čistých přírodních povrchových a prostých podzemních vod, kde se pH pohybuje v hodnotách od 4,5 do 9,5. [24]



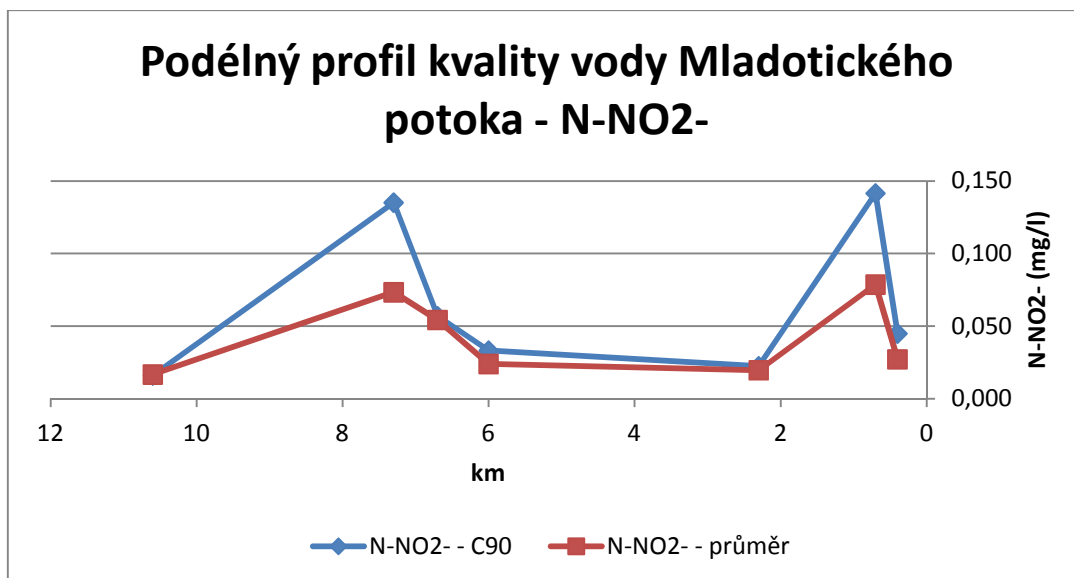
Graf 7: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – vodivost

Hodnoty vodivosti v celém podélném profilu stoupají. Z linearity vybočuje jen prudký nárůst hodnot v oblasti pod obcí Mladotice, což zapříčiňuje vyšší hodnota ionizovatelných anorganických a organických součástí vody z lidských sídel.



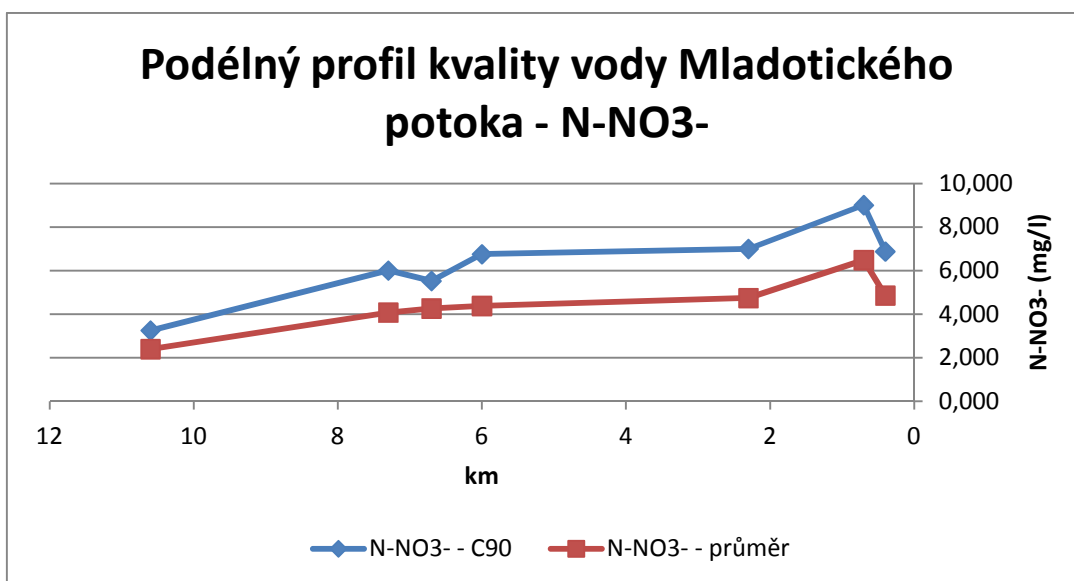
Graf 8: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – N-NH₄⁺

Podélný profil amonných iontů, které detekují fekální znečištění, jasně vykazuje výrazný vliv lidských sídel na koncentrace amonných iontů ve vodě Mladotického potoka. Nárůst je zaznamenán na profilu nad jezerem, kde se o nárůst zapříčiňuje obec Přehořov, a také na profilu pod obcí Mladotice, kde je vliv obce také velice patrný. Naopak v profilu pod Mladotickým jezerem je hodnota velice nízká. Tento fakt je způsoben velkým provzdušněním vody díky peřejím a kaskádám při výtoku vody z jezera, kdy je amoniakální dusík oxidován až na dusík dusičnanový.



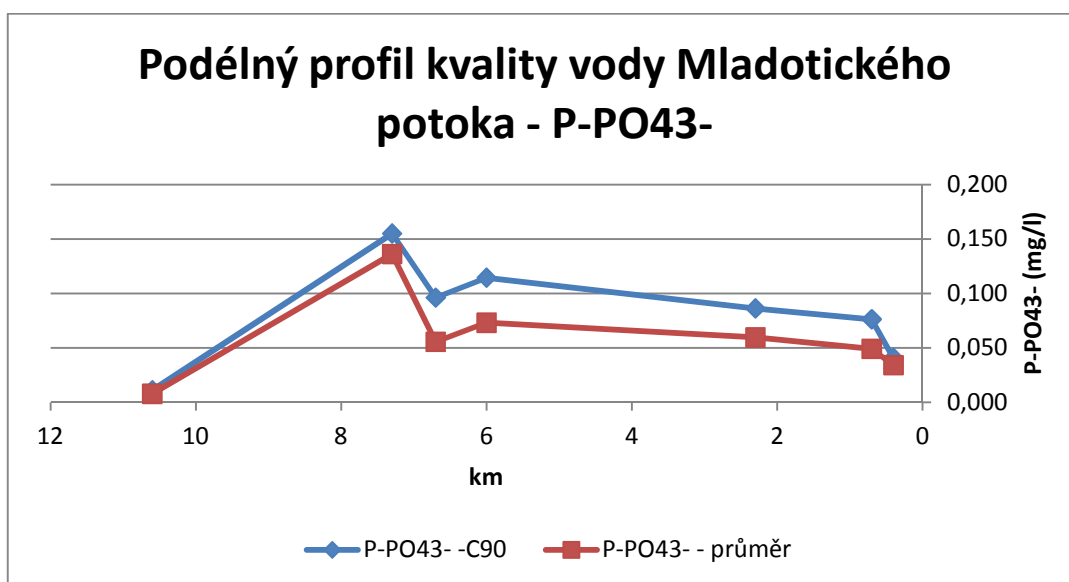
Graf 9: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – N-NO₂⁻

U profilu dusitanového dusíku je obdobně jako u amonných iontů velmi zřetelný vliv sídel Přehořov a Mladotice a stejný trend se objevuje i u profilu pod Mladotickým jezerem, kde dochází také k rapidnímu snížení koncentrací díky provzdušnění vody u výtoku z jezera.



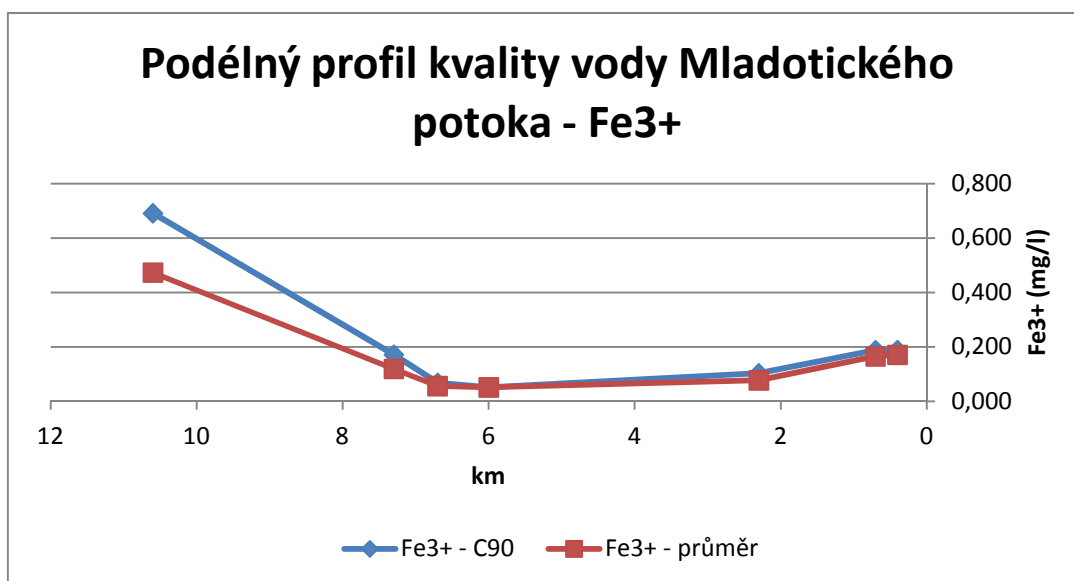
Graf 10: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – N-NO₃⁻

Z podélného profilu dusičnanového dusíku je opět patrný vliv sídel Přehořov a Mladotice, avšak pod Mladotickým jezerem dochází k mírnému nárůstu koncentrací a to díky oxidaci amonných a dusitanových iontů právě na podobu dusičnanového dusíku. Nejzatíženějším profilem je profil pod obcí Mladotice. Je to způsobeno jak vlivem obce, která dosud nedisponuje čistírnou odpadních vod, tak i celkovou kumulací dusičnanů a oxidovaných dusitanů a amonných iontů v toku. Významnou roli hrají zřejmě i dávky průmyslových hnojiv do orné půdy, jejíž podíl na celkové ploše povodí v průběhu toku narůstá.



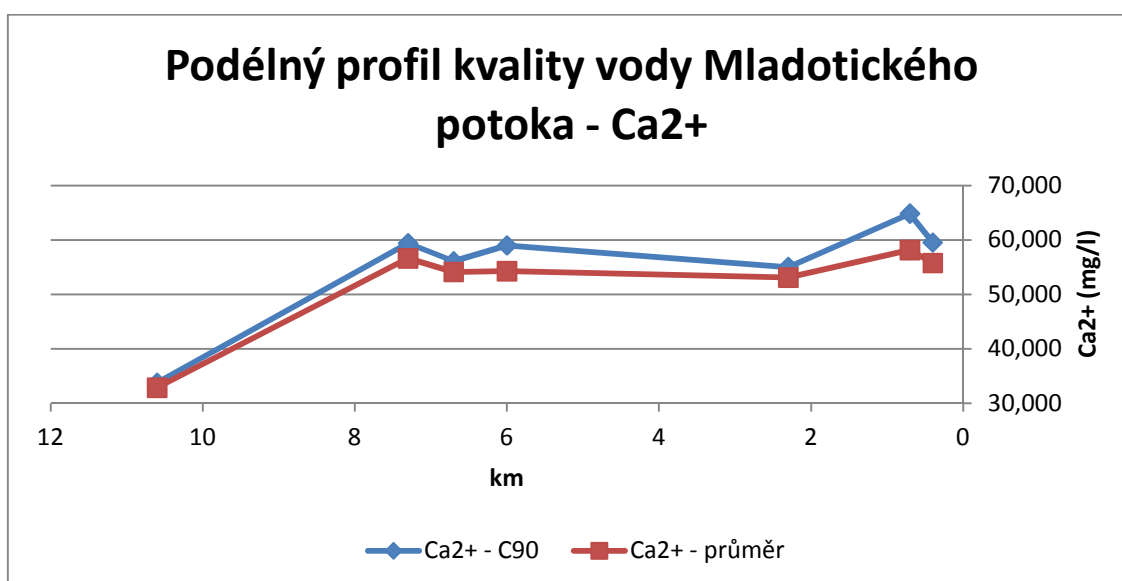
Graf 11: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – P-PO₄³⁻

Podélný profil fosforečnanů vykazují značný nárůst na profilu nad Mladotickým jezerem, kde je Mladotický potok výrazně ovlivněn obcí Přehořov. V Mladotickém jezeře dochází k poklesu koncentrací pravděpodobně díky kumulaci vody a spotřebě fosforu vodními organismy. Od profilu pod Mladotickým jezerem koncentrace směrem k ústí potoka do Střely klesají. Nejnižší hodnoty jsou však naměřeny v pramenné oblasti potoka, kde tok není zatížený bodovými ani plošnými zdroji znečištění.



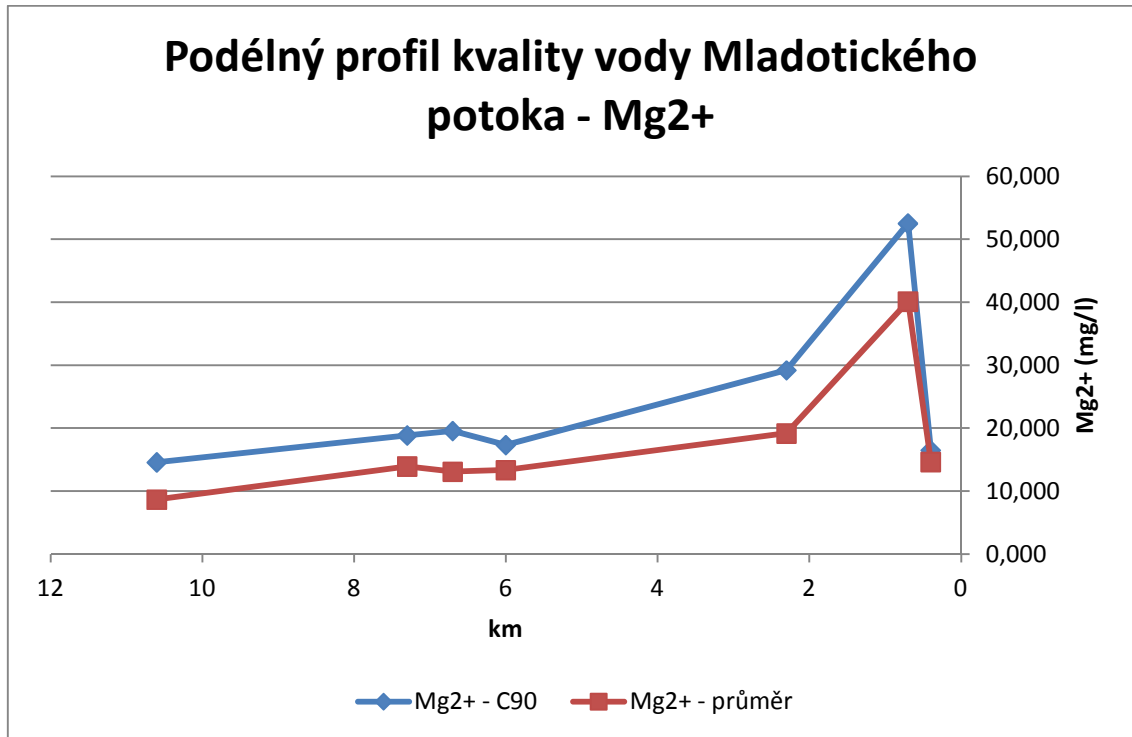
Graf 12: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Fe³⁺

Koncentrace železitých iontů jsou podle podélného profilu nejvyšší v pramenné oblasti. Je to způsobeno přítomností těžkých jílovitých půd s vysokým obsahem železa. Nejnižšími hodnotami jsou hodnoty na profilu Mladotického jezera a pod jezerem. Oproti pramenné oblasti zůstávají koncentrace železitých iontů na ostatních profilech v o mnoho nižších koncentracích. Tento jev je pravděpodobně způsoben přítomností huminových látek, používaných v zemědělství, a tříslovin, které zpomalují oxidaci Fe^{II} na Fe^{III}, neboť mají redukční a komplexotvorné vlastnosti. [22]



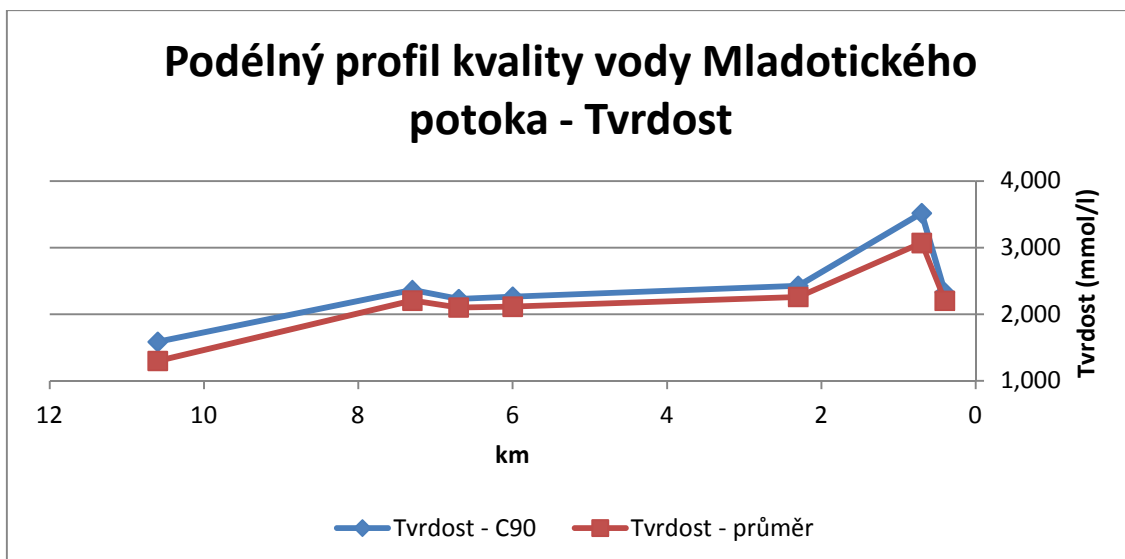
Graf 13: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Ca²⁺

Nejvyšší hodnoty vápenatých iontů jsou opět patrné na profilech nad Mladotickým jezerem a pod obcí Mladotice. Viditelným trendem je narůstající koncentrace od pramene Mladotického potoka po ústí.



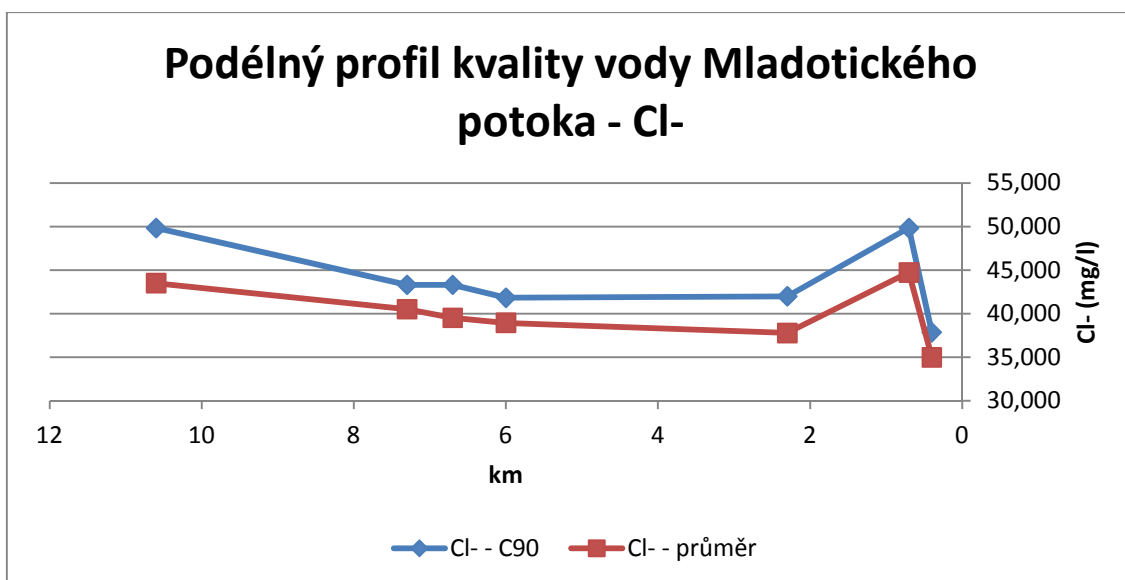
Graf 14: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Mg²⁺

Hořčnaté ionty doprovází ionty vápenaté, proto je zde viditelný nárůst koncentrací jak na Mladotickým jezerem tak i pod obcí Mladotice a trendem je zvyšující se koncentrace od pramene Mladotického potoka k ústí.



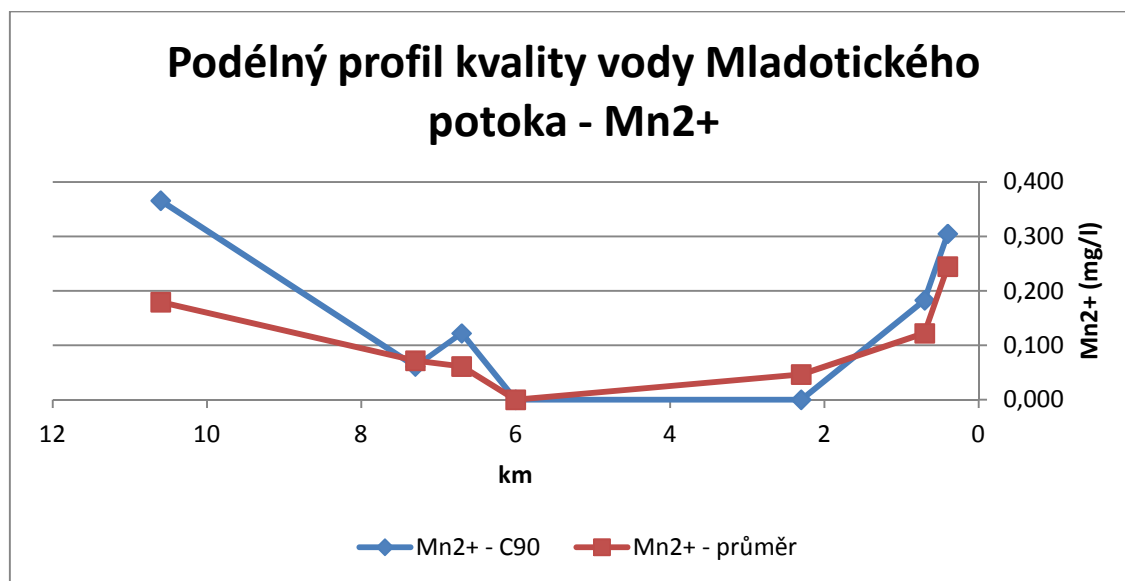
Graf 15: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka - tvrdost

Obdobný trend jako je u vápenatých a hořečnatých iontů je patrný i u celkové tvrdosti vody. Nejvyšší hodnoty se vyskytují u profilu pod Mladoticemi a trendem je opět zvyšující se koncentrace od pramene potoka k ústí.



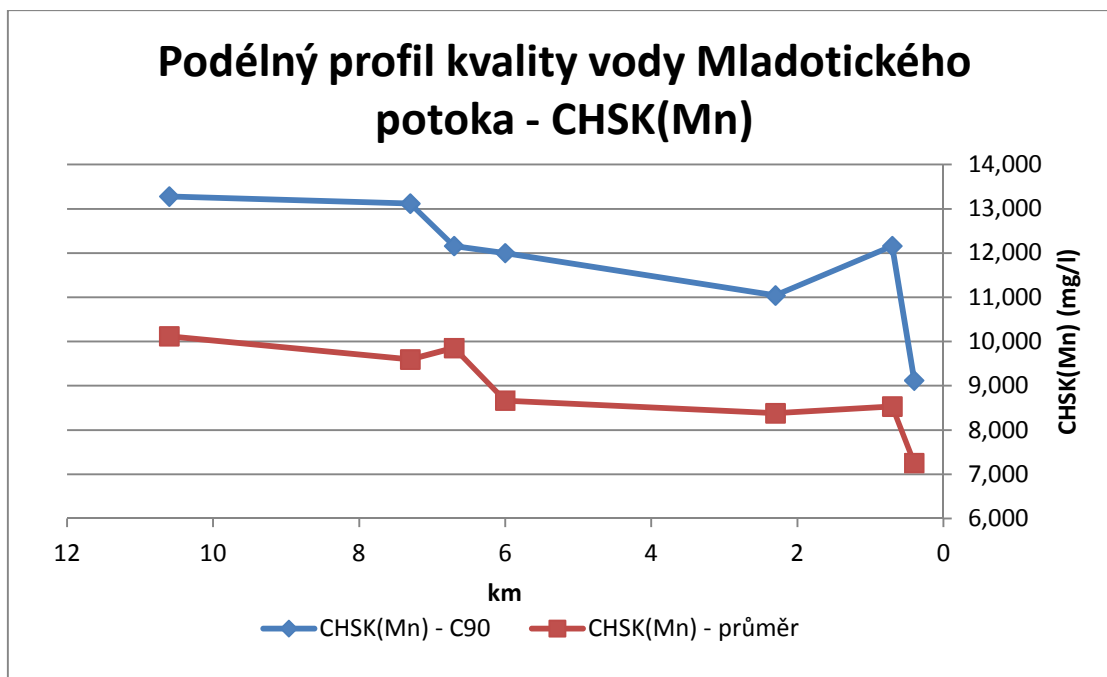
Graf 16: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Cl

Chloridy mají v podélném profilu tendenci klesat od pramene směrem k ústí Mladotického potoka do Střely. Vyjímkou je jen profil pod Mladoticemi, který se tomuto trendu vymyká a vykazuje nejvyšší koncentrace na toku. Na toto má pravděpodobně vliv obec Mladotice i nedaleká komunikace, ze které jsou zejména v zimních měsících patrné splachy posypových směsí.



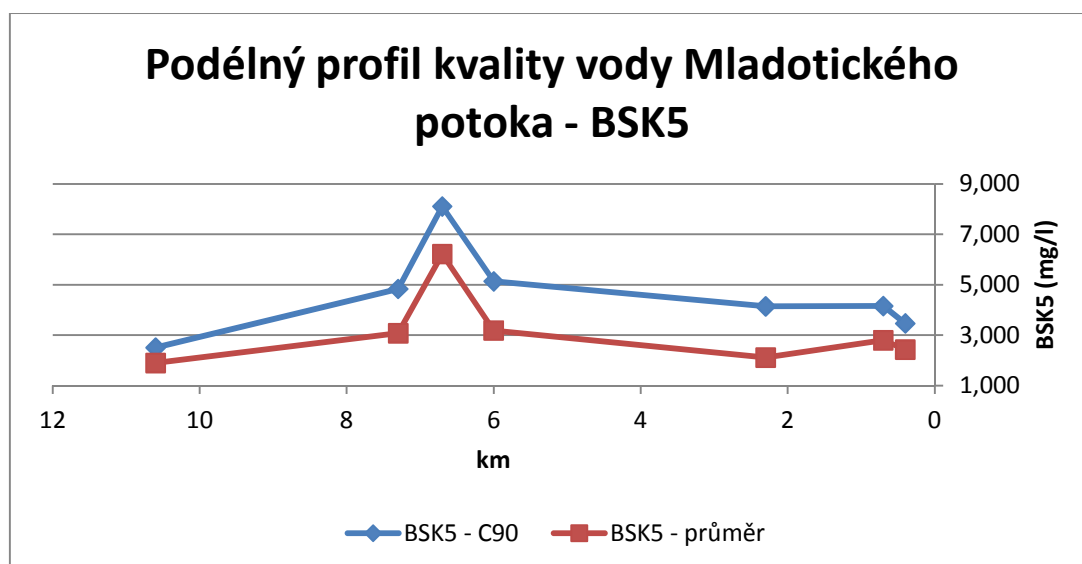
Graf 17: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – Mn²⁺

V podélném profilu manganatých iontů jsou nejvyšší koncentrace patrné v pramenné oblasti a při ústí Mladotického potoka do Střely. Naopak nejnižší hodnoty jsou v profilu pod Mladotickým jezerem. Příčinou je pravděpodobná oxidace manganatých iontů na vyšší oxidační stupeň. Mangan se v přírodě vyskytuje v podobě manganových rud a často doprovází rudy železné. Proto je i viditelná podobnost obou křivek podélných profilů.



Graf 18: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – CHSK (Mn)

U chemické spotřeby kyslíku je patrný trend snižování koncentrací od pramene k ústí. Linearitu však narušují profily nad Mladotickým jezerem a pod obcí Mladotice, kde dochází k nárůstu koncentrací vlivem obcí Přehořov a Mladotice.



Graf 19: Podélný profil kvality vody Mladotického potoka – BSK₅

Nejvyšší hodnota biologické spotřeby kyslíku připadá na profil Mladotického jezera. Pravděpodobnou příčinou jsou splachy z polí a obec Přehořov, které zapříčiňují hromadění organických lehce rozložitelných látek v jezeře. Zde dochází k jejich rozkladu a zároveň díky přejevitému úseku potoka pod jezerem dochází k samočisticímu procesu potoka, proto jsou hodnoty BSK pod Mladotickým jezerem opět nízké.

7.3 Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000 od Gabriely Šťastné

V následujících tabulkách jsou přehledně uvedeny hodnoty C₉₀ a průměrné hodnoty pro jednotlivé ukazatele kvality vody. Tyto hodnoty slouží pro vzájemné a přesné porovnání parametrů z časových úseků 1999-2000 a 2012-2014. [31]

Profil č.1		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,78	9,15	7,623	7,990
vodivost	μS/cm	272,93	452,00	306,833	337,000
alkalita	mmol/l	0,81	1,24	1,205	1,321
N-NH ₄ ⁺	mg/l	1,37	4,13	0,274	0,289
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,04	0,09	0,017	0,016
N-NO ₃ ⁻	mg/l	10,21	26,29	2,398	3,253
tvrdost	mmol/l	1,08	1,67	1,298	1,584
Ca ²⁺	mg/l	24,98	40,05	32,862	33,731
Mg ²⁺	mg/l	12,03	29,02	8,677	14,594
Cl ⁻	mg/l	25,61	39,18	43,501	49,841
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,03	0,12	0,008	0,011
Fe ³⁺	mg/l	0,49	1,55	0,473	0,691
CHSK _(Mn)	mg/l	9,22	17,41	10,120	13,280
BSK ₅	mg/l	3,12	8,78	1,900	2,509

Tab. 20: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 1

Profil č.2		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,33	8,77	7,823	8,130
vodivost	μS/cm	419,84	634,67	419,583	440,000
alkalita	mmol/l	2,13	2,91	2,512	2,844
N-NH ₄ ⁺	mg/l	1,27	4,56	0,456	0,655
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,15	0,41	0,073	0,135
N-NO ₃ ⁻	mg/l	19,26	34,03	4,077	6,005
tvrdost	mmol/l	1,95	2,33	2,205	2,362
Ca ²⁺	mg/l	46,76	61,45	56,622	59,375
Mg ²⁺	mg/l	21,24	44,36	13,939	18,878
Cl ⁻	mg/l	28,95	37,23	40,518	43,307
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,33	0,95	0,136	0,155
Fe ³⁺	mg/l	0,24	0,78	0,119	0,171
CHSK _(Mn)	mg/l	7,27	14,53	9,593	13,120
BSK ₅	mg/l	3,18	7,33	3,080	4,836

Tab. 21: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 2

Profil č.3		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		8,35	9,95	8,382	9,000
vodivost	μS/cm	398,53	523,33	407,667	435,000
alkalita	mmol/l	2,20	3,58	2,639	3,043
N-NH ₄ ⁺	mg/l	1,15	2,95	0,301	0,400
N-NO ²⁻	mg/l	0,15	0,31	0,054	0,057
N-NO ³⁻	mg/l	14,48	43,80	4,260	5,527
tvrdost	mmol/l	1,90	2,25	2,101	2,228
Ca ²⁺	mg/l	45,95	57,42	54,123	56,112
Mg ²⁺	mg/l	19,90	42,35	13,108	19,572
Cl ⁻	mg/l	28,07	32,77	39,524	43,307
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,07	0,19	0,056	0,096
Fe ³⁺	mg/l	0,12	0,32	0,056	0,069
CHSK _(Mn)	mg/l	8,96	15,97	9,853	12,160
BSK ₅	mg/l	6,56	12,25	6,219	8,108

Tab. 22: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 3

Profil č.4		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,95	9,30	8,133	8,400
vodivost	μS/cm	397,74	517,00	410,667	453,000
alkalita	mmol/l	2,01	2,54	2,601	2,846
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,72	1,67	0,224	0,266
N-NO ²⁻	mg/l	0,09	0,27	0,024	0,033
N-NO ³⁻	mg/l	15,43	47,15	4,376	6,756
tvrdost	mmol/l	1,96	2,47	2,113	2,261
Ca ²⁺	mg/l	47,81	71,43	54,267	59,001
Mg ²⁺	mg/l	21,45	46,08	13,362	17,348
Cl ⁻	mg/l	28,12	33,25	38,943	41,831
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,12	0,23	0,073	0,114
Fe ³⁺	mg/l	0,10	0,35	0,052	0,052
CHSK _(Mn)	mg/l	6,94	11,77	8,667	12,000
BSK ₅	mg/l	3,25	7,46	3,187	5,139

Tab. 23: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 4

Profil č.5		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,65	8,49	8,064	8,250
vodivost	μS/cm	409,32	630,67	412,250	440,000
alkalita	mmol/l	2,77	6,44	2,593	2,720
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0,75	1,75	0,253	0,322
N-NO ²⁻	mg/l	0,12	0,57	0,020	0,023
N-NO ³⁻	mg/l	14,86	45,93	4,741	7,001
tvrdost	mmol/l	2,09	2,70	2,259	2,426
Ca ²⁺	mg/l	49,96	72,15	53,095	55,012
Mg ²⁺	mg/l	22,88	47,84	19,189	29,220
Cl ⁻	mg/l	27,50	32,71	37,777	41,990
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,07	0,20	0,060	0,086
Fe ³⁺	mg/l	0,17	0,46	0,077	0,103
CHSK _(Mn)	mg/l	7,03	12,83	8,380	11,040
BSK ₅	mg/l	3,27	9,16	2,115	4,143

Tab. 24: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 5

Profil č.6		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,54	8,11	7,713	8,070
vodivost	μS/cm	742,53	1511,67	545,083	604,000
alkalita	mmol/l	4,68	10,73	3,756	4,144
N-NH ₄ ⁺	mg/l	31,63	110,67	0,477	0,755
N-NO ²⁻	mg/l	0,54	1,39	0,079	0,142
N-NO ³⁻	mg/l	21,73	68,80	6,484	9,008
tvrdost	mmol/l	2,48	3,28	3,071	3,518
Ca ²⁺	mg/l	62,38	86,45	58,135	64,836
Mg ²⁺	mg/l	25,65	54,30	40,138	52,548
Cl ⁻	mg/l	44,94	84,93	44,724	49,841
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	1,17	4,04	0,049	0,076
Fe ³⁺	mg/l	1,71	9,55	0,165	0,189
CHSK _(Mn)	mg/l	24,62	62,80	8,533	12,160
BSK ₅	mg/l	10,89	36,70	2,797	4,159

Tab. 25: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 6

Profil č.7		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,66	8,50	7,953	8,150
vodivost	μS/cm	429,63	629,33	413,167	443,000
alkalita	mmol/l	2,54	4,28	2,686	3,032
N-NH ₄ ⁺	mg/l	6,03	19,97	0,747	0,322
N-NO ²⁻	mg/l	0,33	0,74	0,027	0,045
N-NO ³⁻	mg/l	21,60	58,87	4,857	6,878
tvrdost	mmol/l	2,24	3,26	2,201	2,327
Ca ²⁺	mg/l	47,36	63,42	55,762	59,525
Mg ²⁺	mg/l	28,86	64,63	14,667	16,515
Cl ⁻	mg/l	30,66	36,67	34,977	37,860
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,26	0,84	0,034	0,041
Fe ³⁺	mg/l	0,54	1,76	0,171	0,189
CHSK _(Mn)	mg/l	8,08	16,65	7,253	9,120
BSK ₅	mg/l	5,20	10,21	2,427	3,467

Tab. 26: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 7

Profil č.8		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,93	9,01	7,905	8,230
vodivost	μS/cm	393,16	547,00	428,250	467,000
alkalita	mmol/l	2,22	3,66	2,834	3,234
N-NH ₄ ⁺	mg/l	1,46	5,67	0,254	0,305
N-NO ²⁻	mg/l	0,12	0,57	0,020	0,023
N-NO ³⁻	mg/l	14,19	27,57	5,219	7,757
tvrdost	mmol/l	2,29	3,00	2,485	2,965
Ca ²⁺	mg/l	51,41	72,81	49,936	58,942
Mg ²⁺	mg/l	26,98	52,39	29,593	41,842
Cl ⁻	mg/l	20,51	31,35	27,841	34,418
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,03	0,07	0,013	0,018
Fe ³⁺	mg/l	0,11	0,43	0,039	0,051
CHSK _(Mn)	mg/l	6,49	21,77	6,780	8,960
BSK ₅	mg/l	3,23	11,36	2,284	4,130

Tab. 27: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 8

Profil č.9		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,53	8,69	7,742	8,090
vodivost	μS/cm	532,37	687,00	544,000	623,000
alkalita	mmol/l	3,32	5,33	4,219	5,036
N-NH ₄ ⁺	mg/l	2,58	7,20	0,453	0,488
N-NO ²⁻	mg/l	0,68	2,11	0,070	0,107
N-NO ³⁻	mg/l	19,51	53,40	5,203	8,966
tvrdost	mmol/l	2,54	3,03	3,137	3,518
Ca ²⁺	mg/l	61,92	78,77	59,142	74,294
Mg ²⁺	mg/l	28,39	66,32	41,230	49,885
Cl ⁻	mg/l	36,20	62,40	41,978	51,245
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,31	1,22	0,152	0,269
Fe ³⁺	mg/l	0,22	0,65	0,096	0,137
CHSK _(Mn)	mg/l	7,78	18,54	7,547	8,960
BSK ₅	mg/l	3,58	5,89	3,143	5,103

Tab. 28: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 9

Profil č.10		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,79	8,83	7,774	8,120
vodivost	μS/cm	433,29	593,00	399,083	428,000
alkalita	mmol/l	2,37	3,00	3,302	3,456
N-NH ₄ ⁺	mg/l	1,12	3,88	0,521	0,599
N-NO ²⁻	mg/l	0,24	0,74	0,028	0,043
N-NO ³⁻	mg/l	17,23	45,56	4,286	5,036
tvrdost	mmol/l	2,43	2,95	2,381	2,513
Ca ²⁺	mg/l	54,51	87,44	49,046	56,977
Mg ²⁺	mg/l	26,41	50,24	27,142	37,388
Cl ⁻	mg/l	26,83	33,93	22,828	24,569
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,06	0,14	0,023	0,037
Fe ³⁺	mg/l	1,45	8,44	0,055	0,069
CHSK _(Mn)	mg/l	6,14	12,50	6,513	8,080
BSK ₅	mg/l	3,13	6,68	2,612	3,323

Tab. 29: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 10

Profil č.11		1999-2000		2012-2014	
		průměr	C ₉₀	průměr	C ₉₀
pH		7,94	9,07	8,024	8,260
vodivost	μS/cm	1010,26	1707,33	617,250	645,000
alkalita	mmol/l	6,15	15,51	3,761	4,144
N-NH ₄ ⁺	mg/l	25,64	100,00	0,337	0,433
N-NO ²⁻	mg/l	1,11	3,22	0,018	0,019
N-NO ³⁻	mg/l	79,92	281,33	11,266	15,230
tvrdost	mmol/l	3,90	4,62	3,876	4,020
Ca ²⁺	mg/l	97,83	124,92	52,111	72,505
Mg ²⁺	mg/l	41,24	95,71	71,923	101,772
Cl ⁻	mg/l	70,86	174,39	40,055	46,121
P-PO ₄ ³⁻	mg/l	0,74	2,49	0,035	0,027
Fe ³⁺	mg/l	0,57	2,25	0,037	0,051
CHSK _(Mn)	mg/l	34,30	102,27	7,193	9,760
BSK ₅	mg/l	12,24	47,63	2,261	3,181

Tab. 30: Porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, profil č. 11

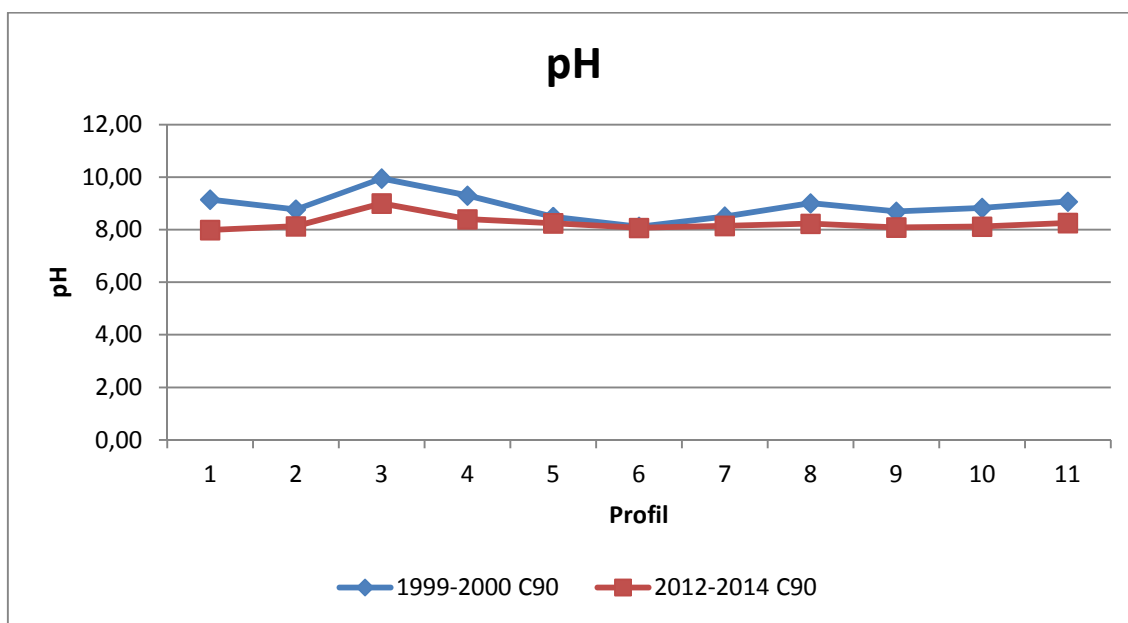
7.4 Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000 od Gabriely Šťastné

Stávající data byla porovnána s daty z let 1999-2000 jak v hodnotách C90 tak v hodnotách průměrných. Porovnány byly všechny profily a parametry udávající kvalitu vody, které byly k dispozici. Pro grafické zobrazení byly použity bodové grafy, které usnadňují celkovou orientaci v porovnávaných datech. [31]

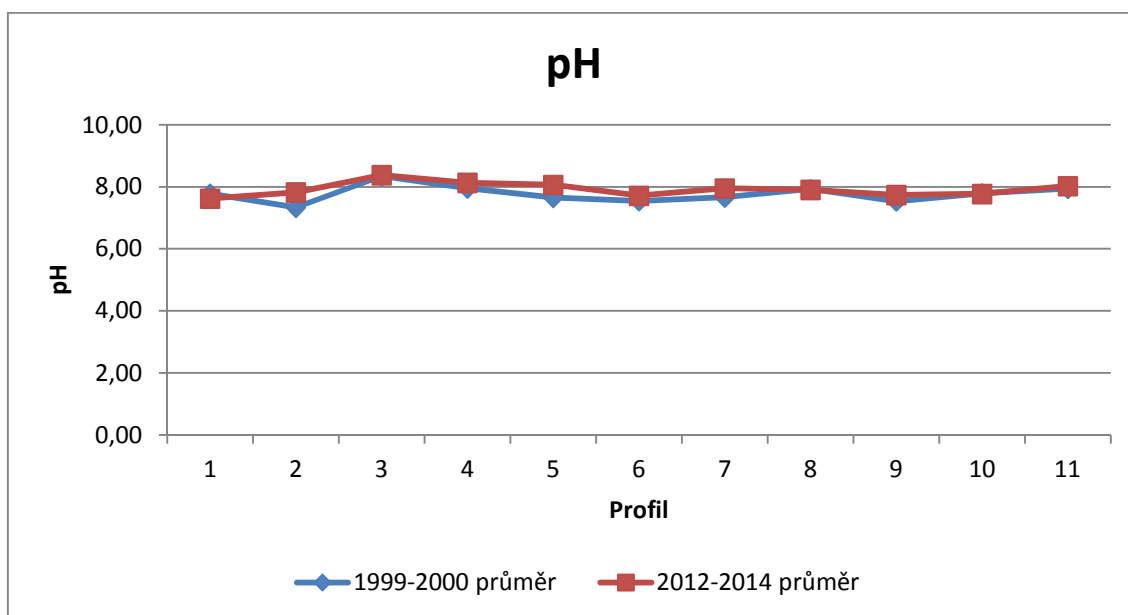
Následující tabulka slouží pro lepší a snazší orientaci v porovnávacích grafech.

Číslo profilu	Název profilu
1	Mladotický potok PRAMEN
2	Mladotický potok NAD jezerem
3	Mladotické jezero
4	Mladotický potok POD jezerem
5	Mladotický potok NAD obcí Mladotice
6	Mladotický potok POD obcí Mladotice
7	Mladotický potok ÚSTÍ
8	Žihelský potok NAD obcí Žihle
9	Žihelský potok POD obcí Žihle
10	Odlezelský potok
11	Chrášťovický potok

Tab. 31: Přehled profilů z kapitoly 3.1.

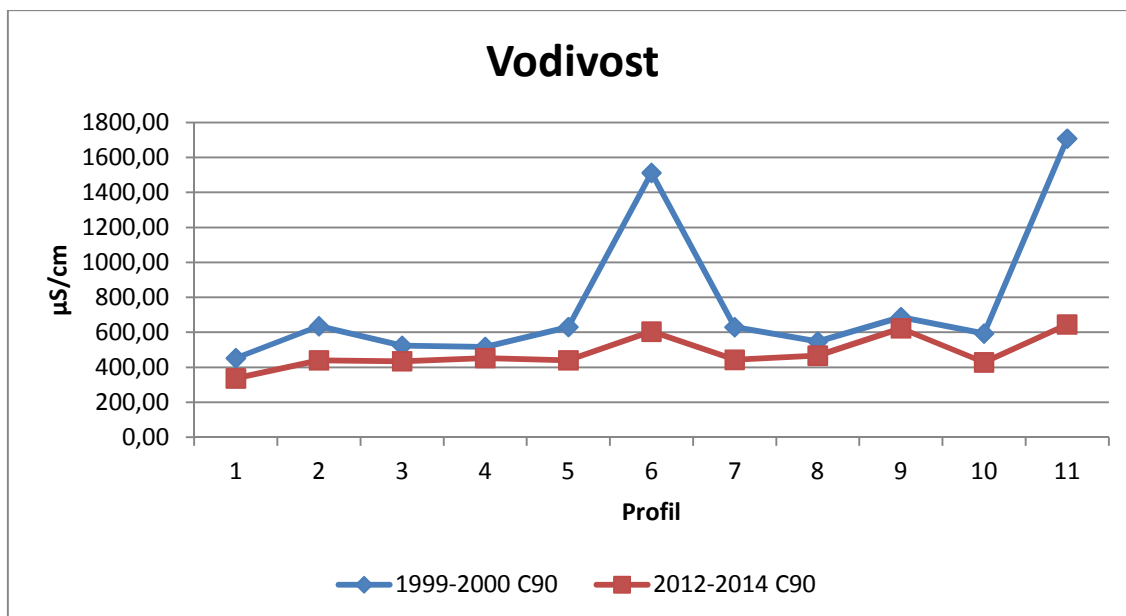


Graf 20: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, pH C90

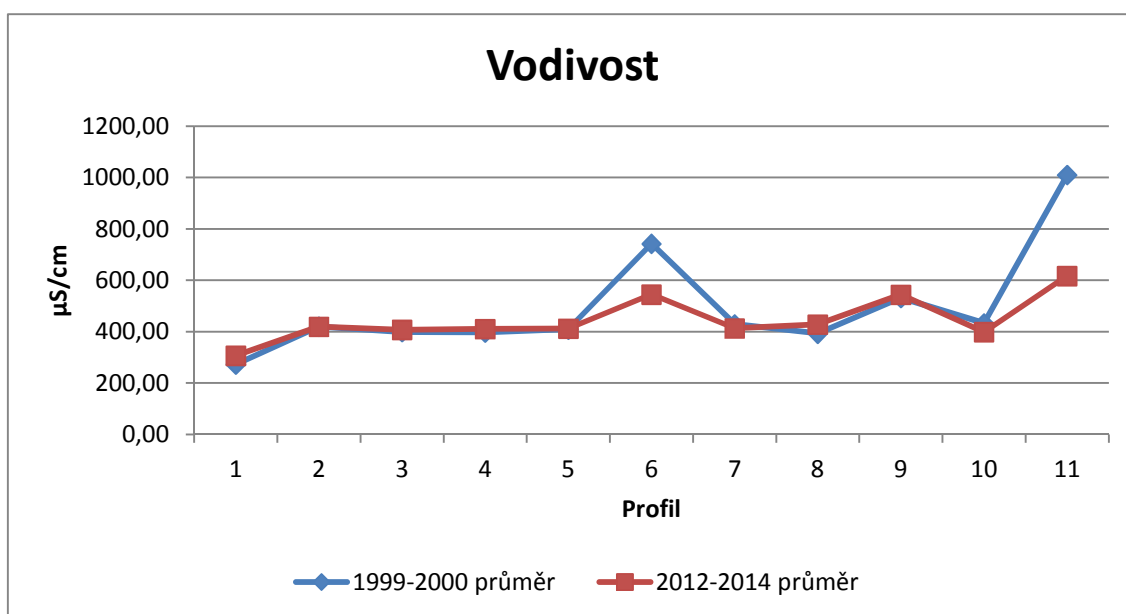


Graf 21: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, pH průměr

Jak je vidět z hodnot C90 i z průměrných hodnot, pH se v průběhu let výrazněji nezměnilo. K minimálnímu poklesu došlo u většiny profilů jen u hodnot C90.

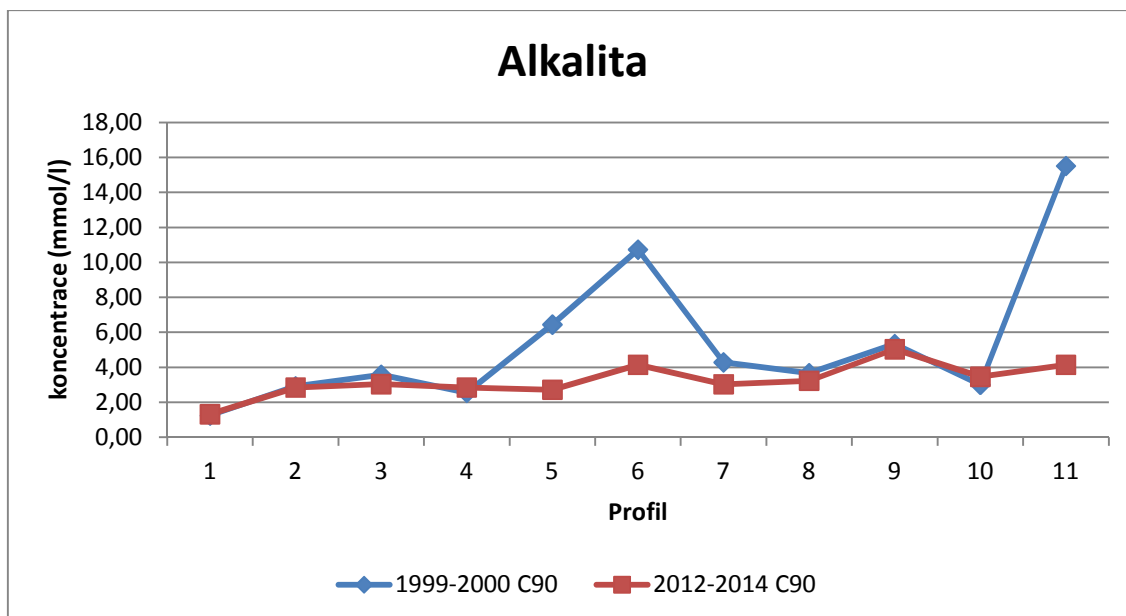


Graf 22: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, vodivost C90

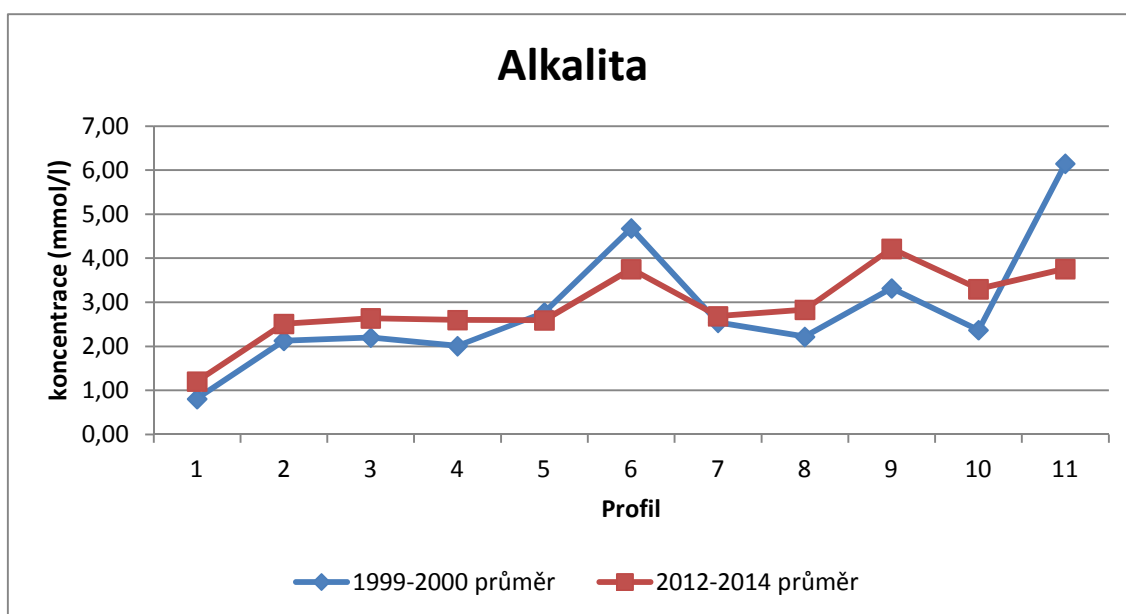


Graf 23: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, vodivost průměr

U vodivosti neboli konduktivity došlo k výraznějším změnám. Pokles hodnot nastal u profilů 6 a 11. Nejvyšší hodnoty patří profilům 6, 9 a 11. Profil 6 je značně ovlivněn obcí Mladotice, profil 9 obcí Žihle a profil 11 zemědělskou aktivitou v okolí, případně i velkovýkrmnou prasat ve Velké Černé Hati. Nejméně zatíženou lokalitou je stále pramenná oblast.

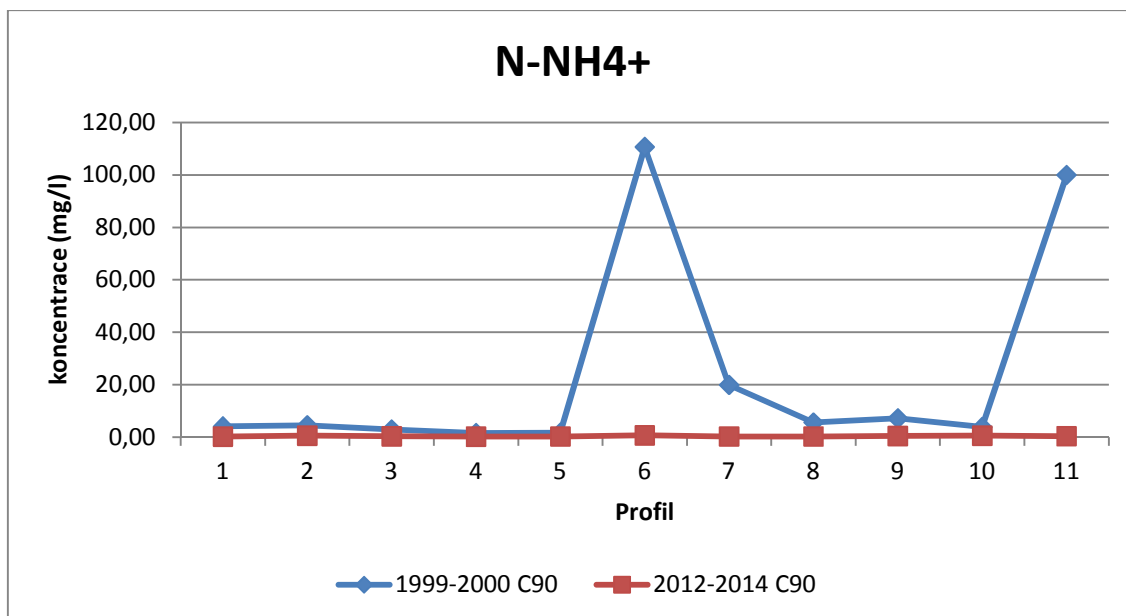


Graf 24: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, alkalita C90

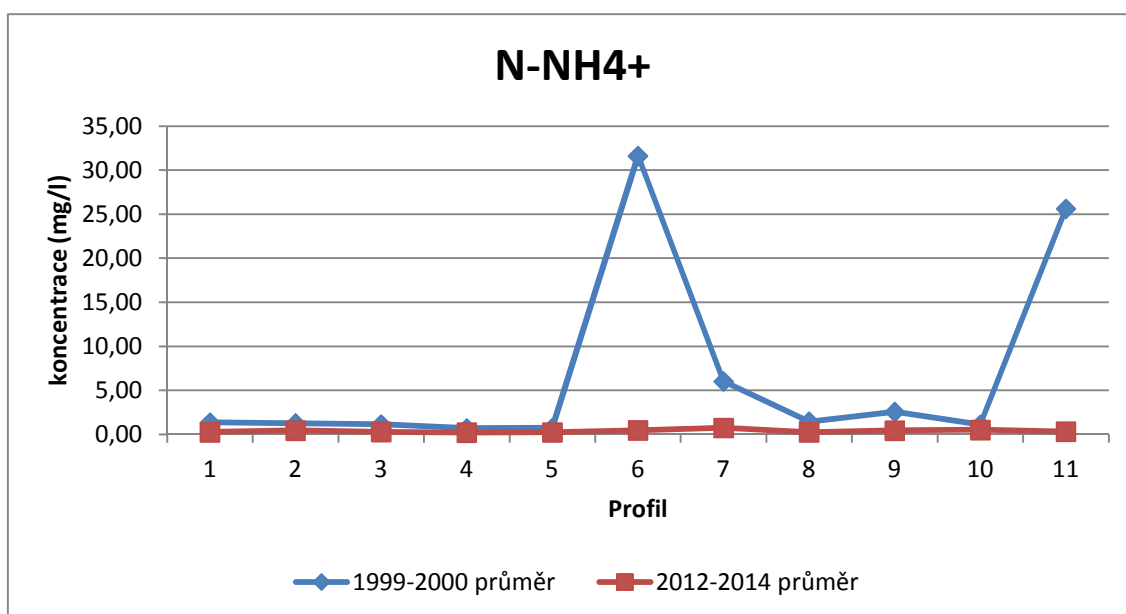


Graf 25: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, alkalita průměr

U alkality došlo k výraznému poklesu na profilech 5, 6 a 11. Na ostatních profilech k výrazným změnám nedošlo. Profil s nejmenší alkality je stále Mladotický potok pramen.

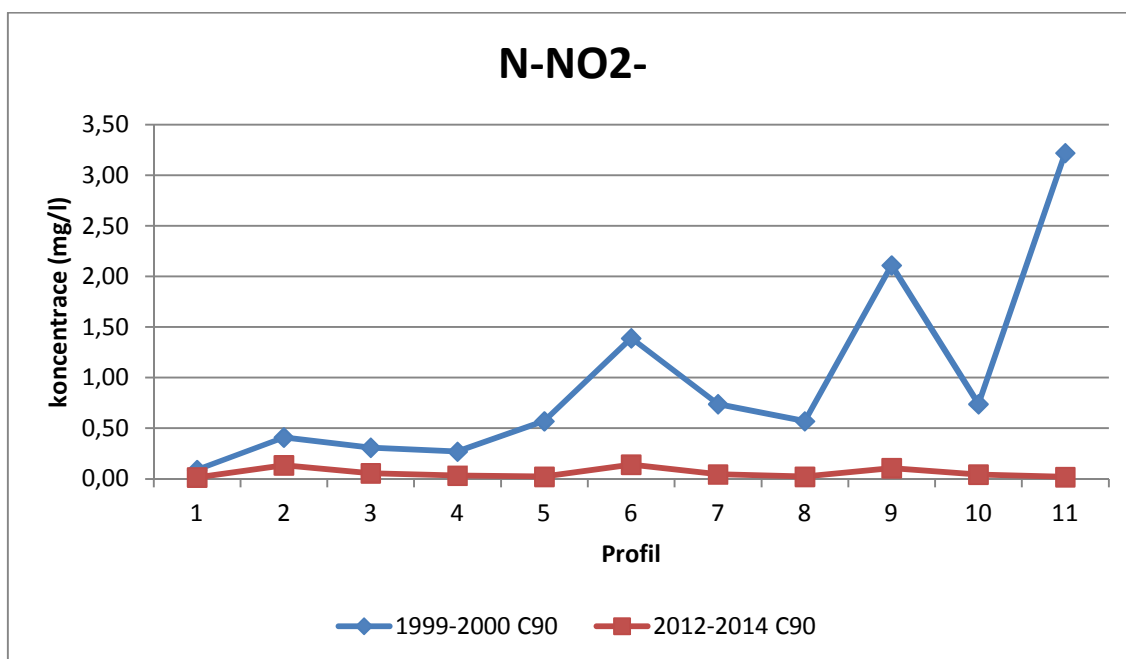


Graf 26: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NH₄⁺ C90

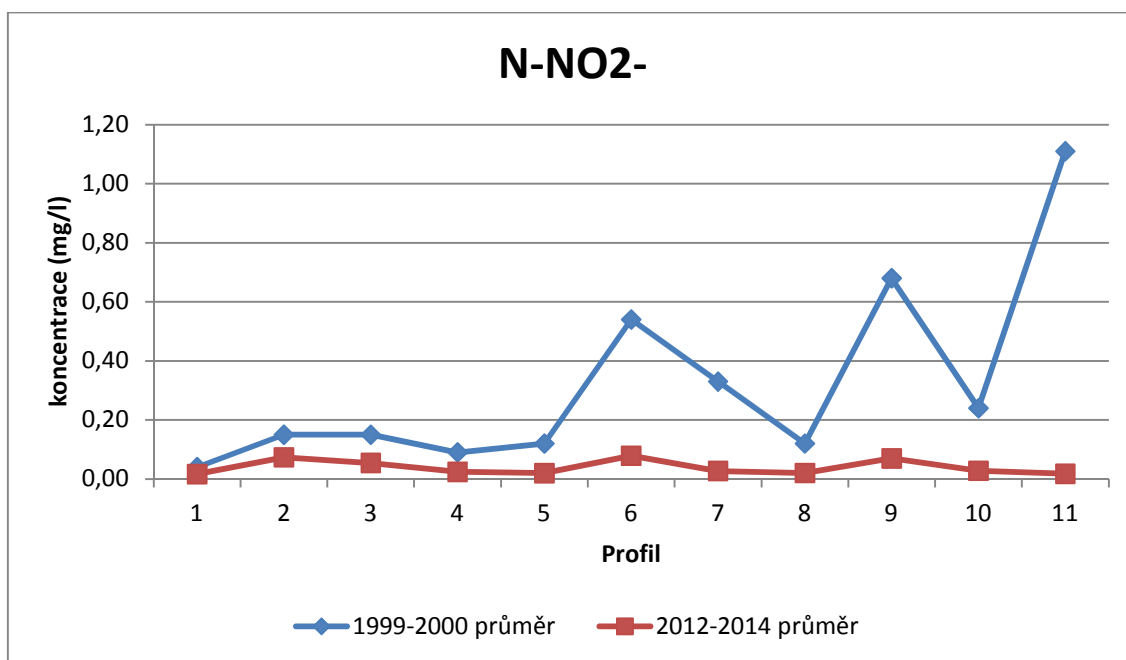


Graf 27: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NH₄⁺ průměr

Koncentrace amonných iontů se výrazně snížila na profilech 6 a 11. Patrný je i pokles na profilu 7.

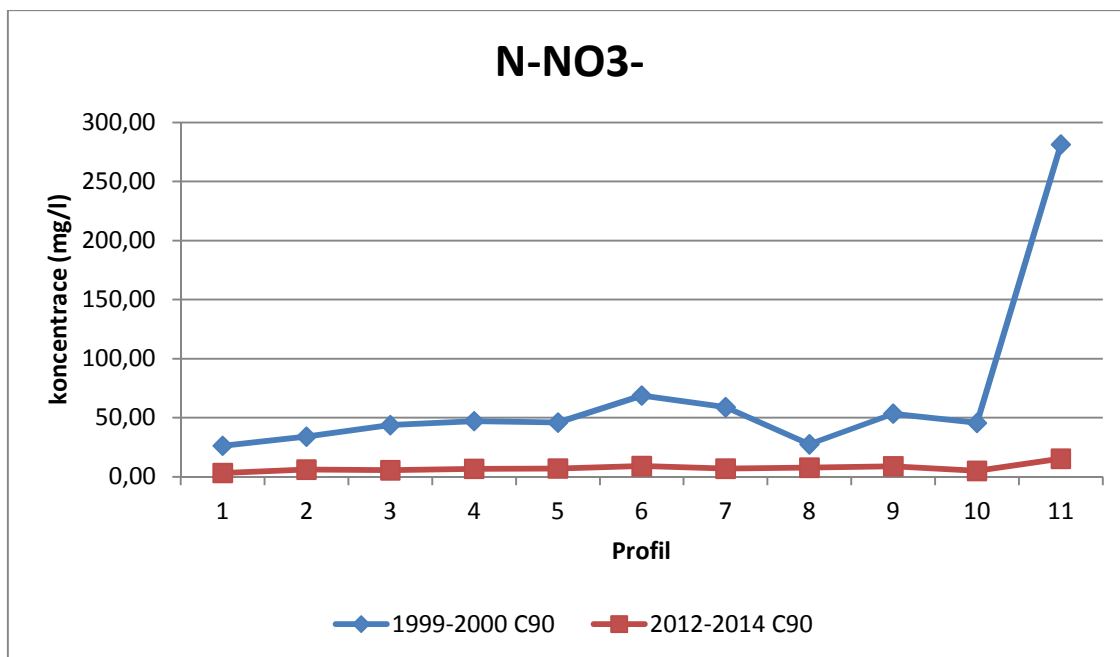


Graf 28: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO₂⁻ C90

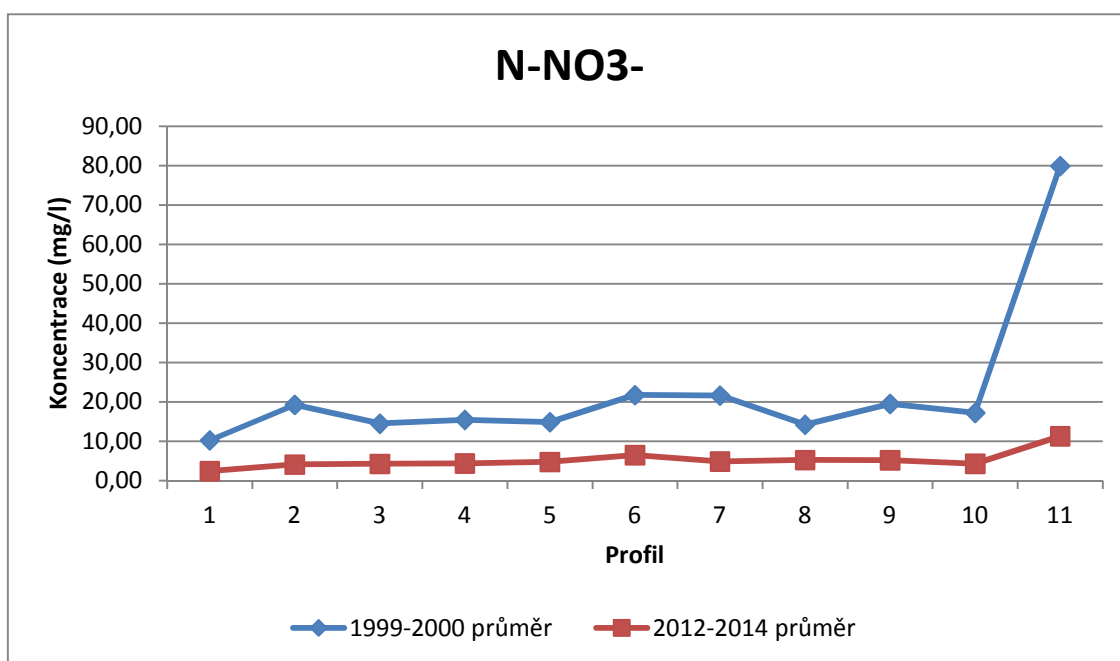


Graf 29: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO₂⁻ průměr

U dusitanů došlo ke zlepšení, tedy ke snížení koncentrací, na všech profilech. K opravdu rapidním změnám došlo na původně nejvíce zatížených profilech 6, 9 a 11.

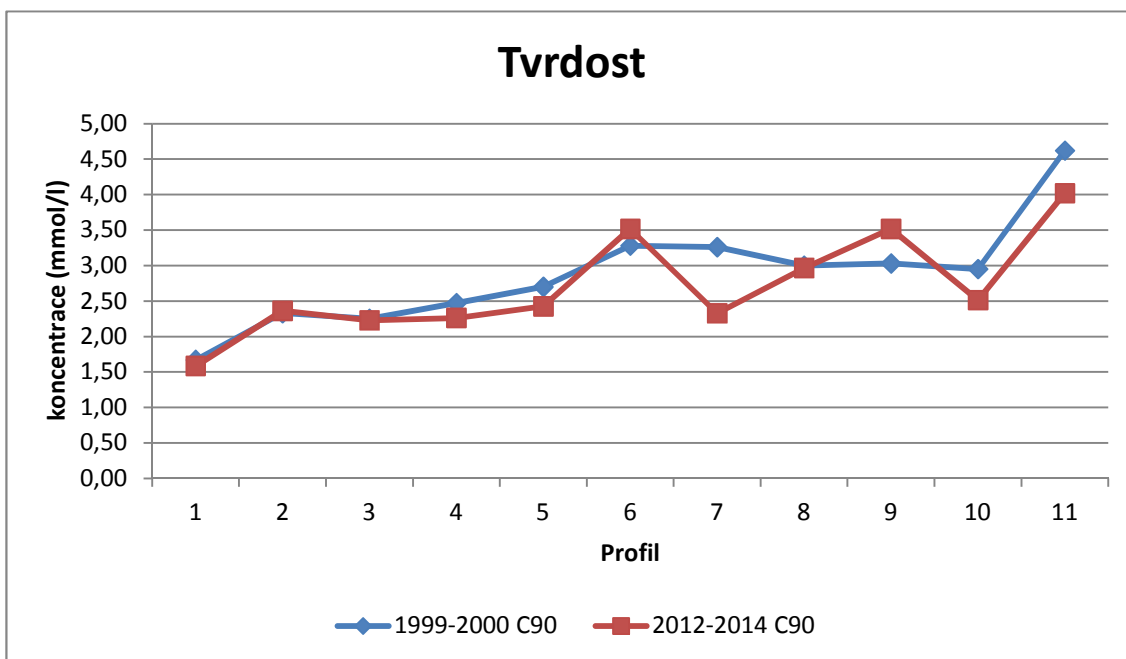


Graf 30: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO₃⁻ C90

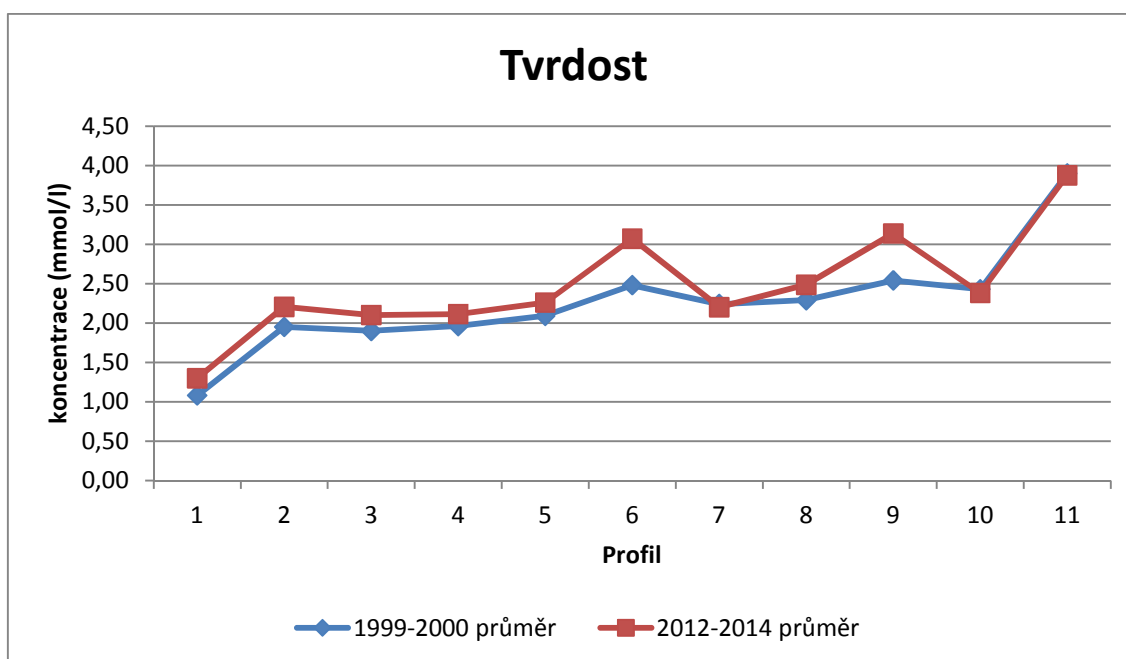


Graf 31: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, N-NO₃⁻ průměr

U dusičnanového dusíku došlo stejně jako u dusitanů ke zlepšení na všech profilech, k nejvíce patrné změně došlo na profilu 11. U tohoto profilu jsou patrné pozitivní změny, k nimž došlo ve velkovýkrmně prasat ve Velké Černé Hati. Jedná se zřejmě o zamezení průsaků kejdy z odstavných nádrží.

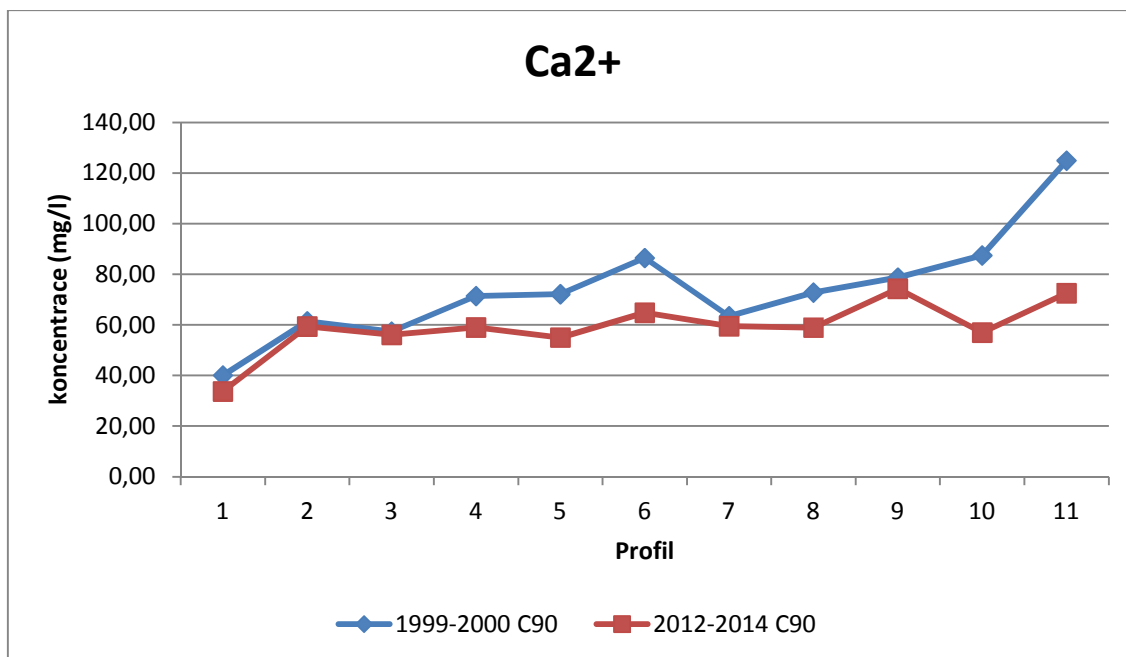


Graf 32: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, tvrdost C90

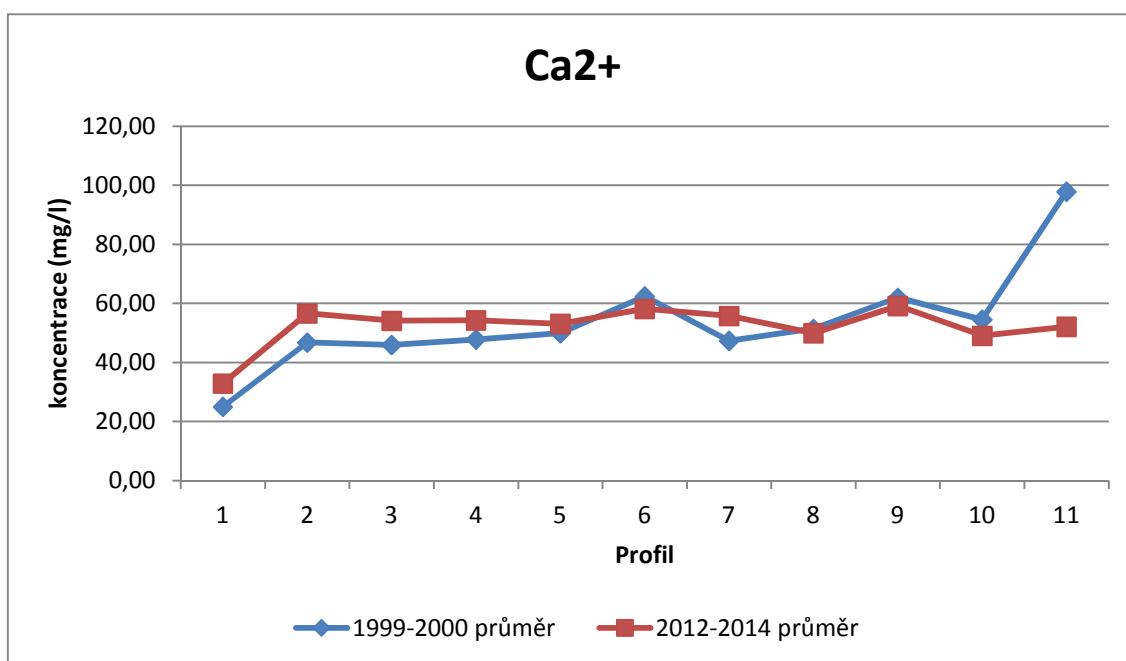


Graf 33: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, tvrdost průměr

Tvrđost vody se v průběhu let nijak výrazně nezměnila, není pozorován žádný trend.

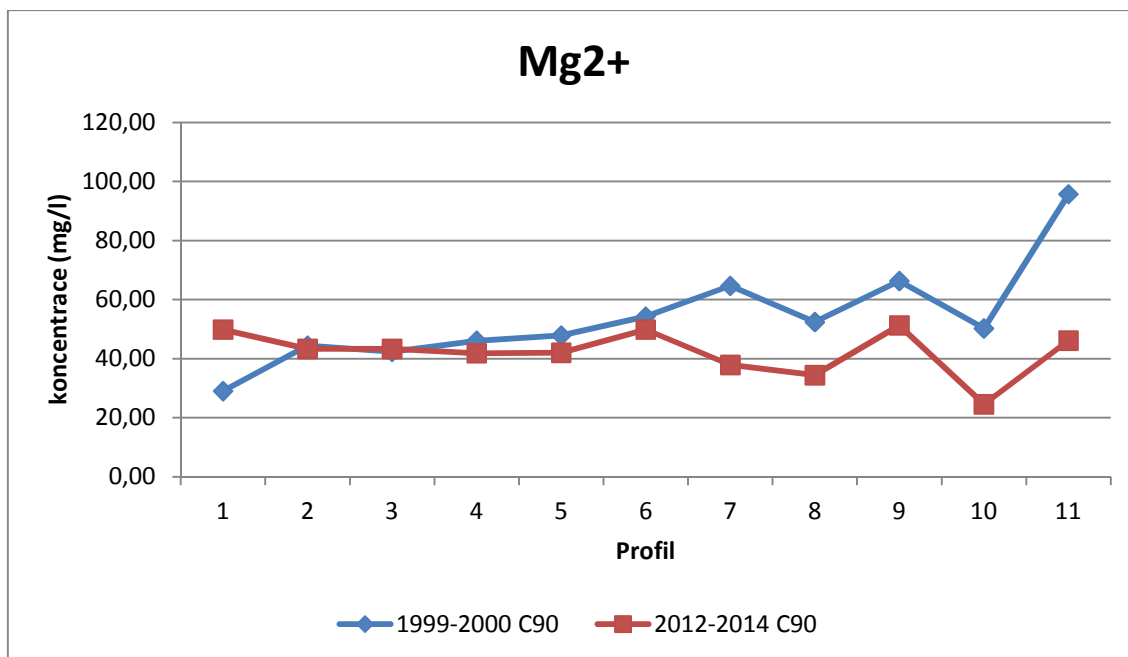


Graf 34: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Ca²⁺ C90

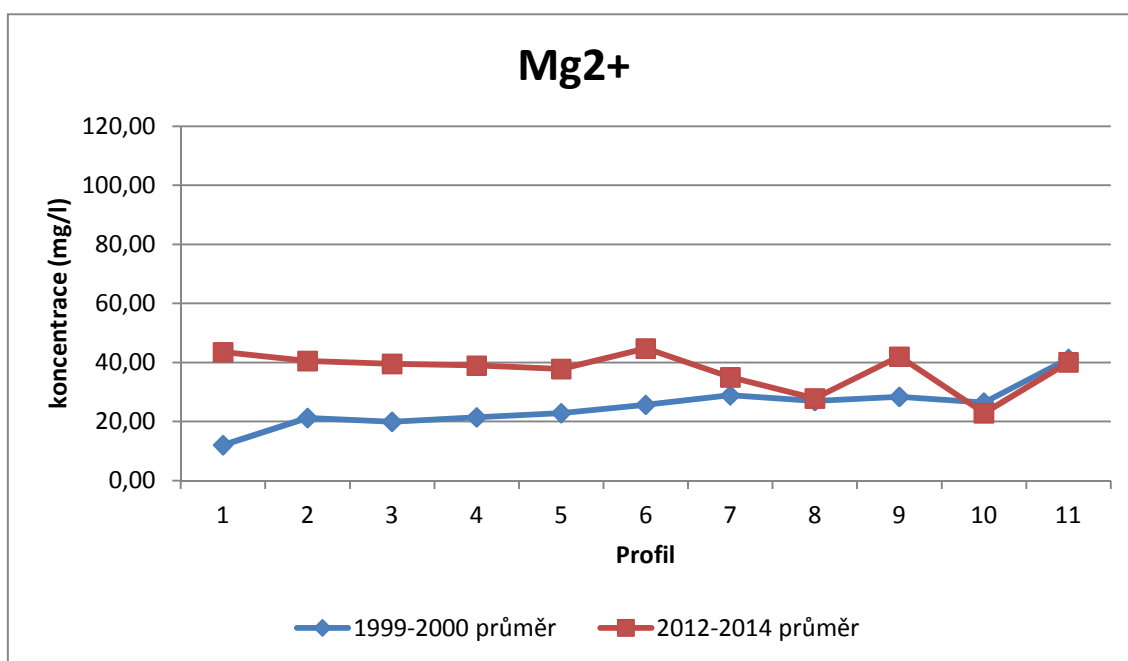


Graf 35: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Ca²⁺ průměr

Obsah vápenatých iontů výrazněji poklesl jen na profilu číslo 11. Na ostatních profilech jsou změny nepatrné.

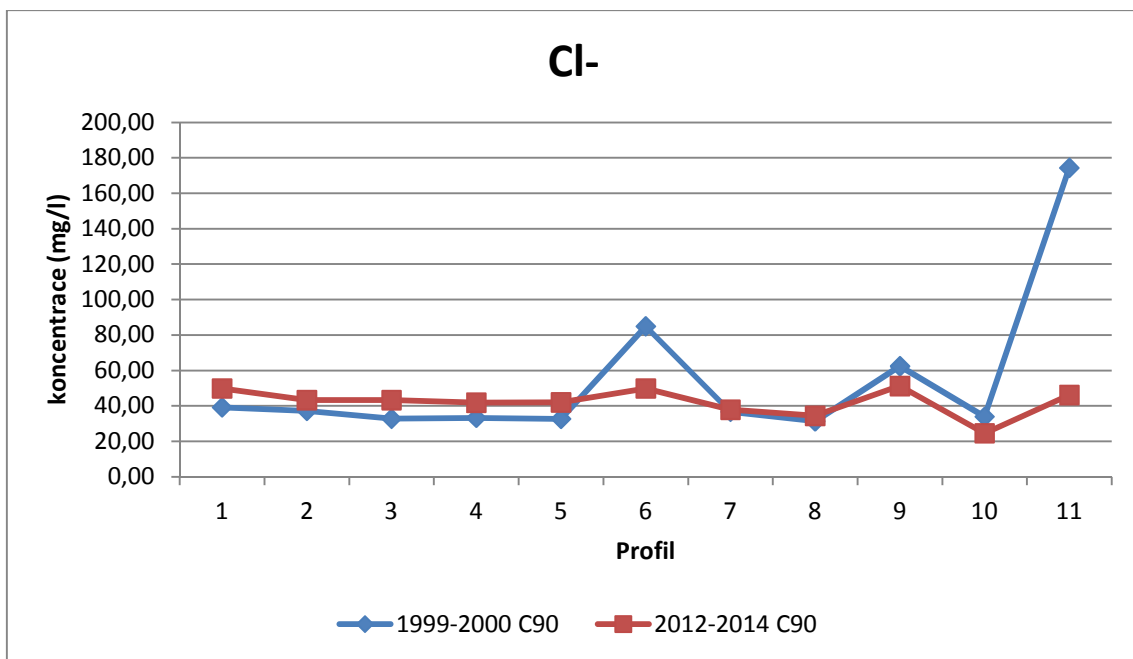


Graf 36: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Mg²⁺ C90

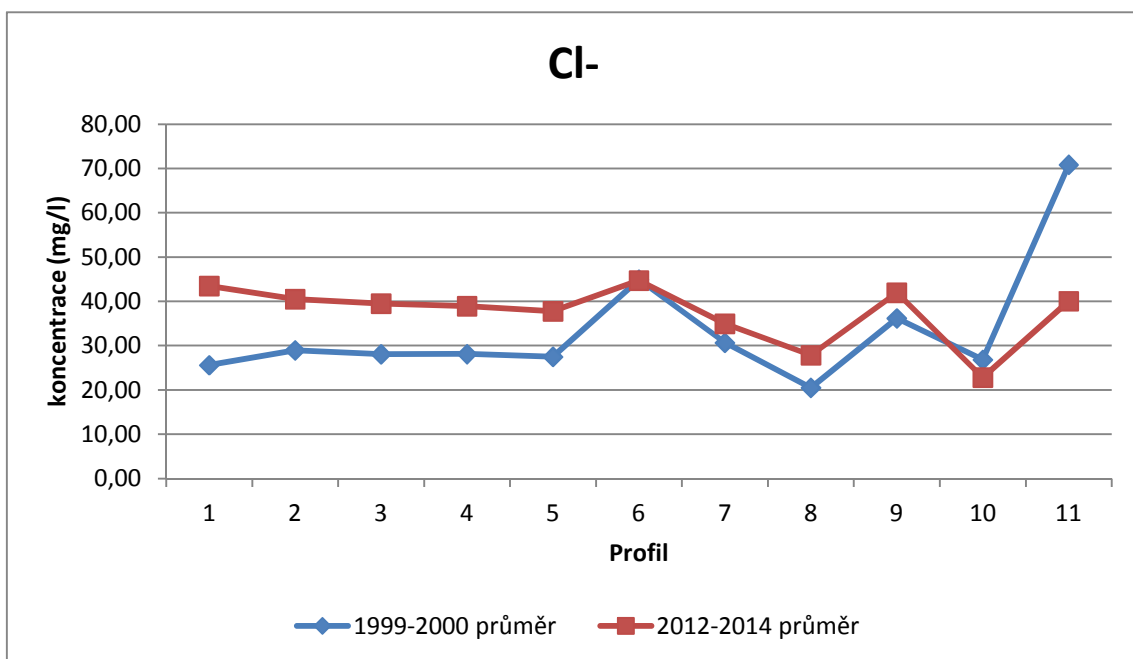


Graf 37: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Mg²⁺ průměr

U hořečnatých iontů došlo u hodnot C90 k poklesu koncentrací u profilů 7-11, u průměrných hodnot se koncentrace zvýšila u všech profilů kromě profilů 8 a 10.

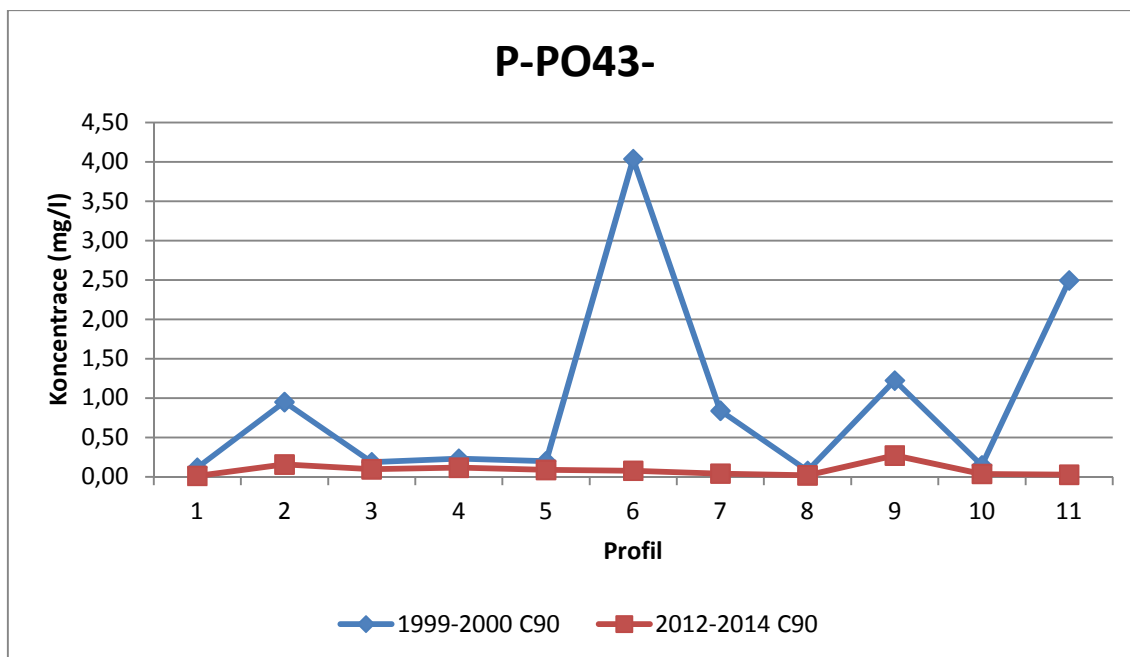


Graf 38: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Cl⁻ C90

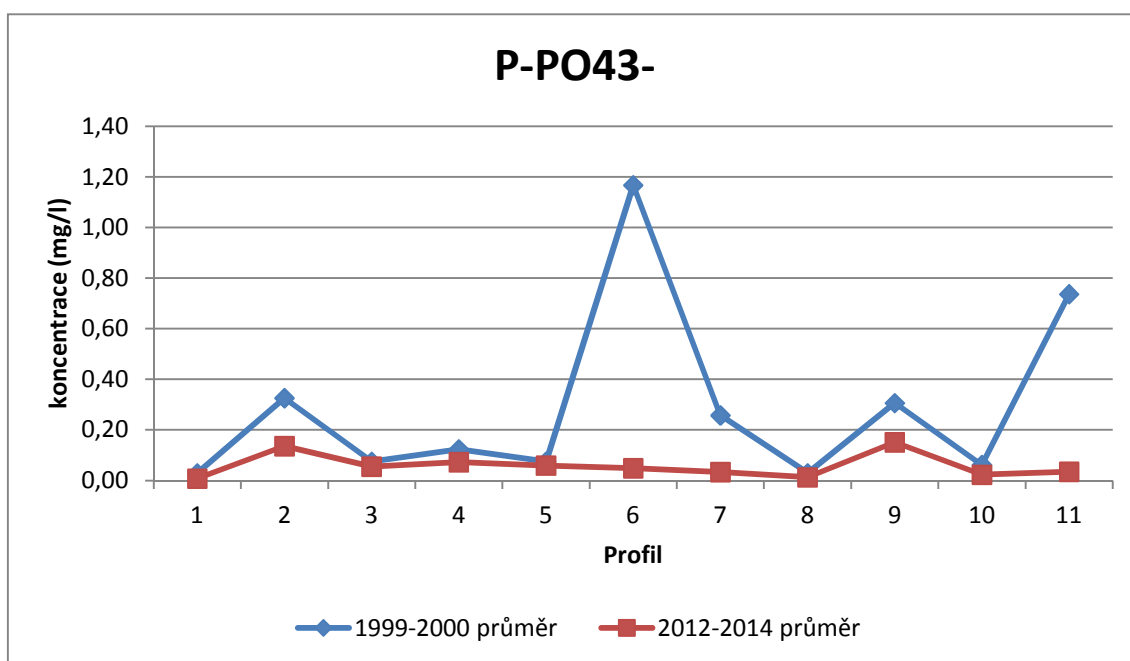


Graf 39: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Cl⁻ průměr

Hodnoty chloridů C90 jsou ve všech profilech mírně vyšší kromě profilů 9 a 10, kde jsou naopak mírně nižší. Výrazněji nižší hodnoty C90 najdeme u profilů 6 a 11. U průměrných hodnot se koncentrace chloridů nepatrně zvýšily, nebo zůstaly přibližně stejné, až na profil 11, kde došlo ke snížení.

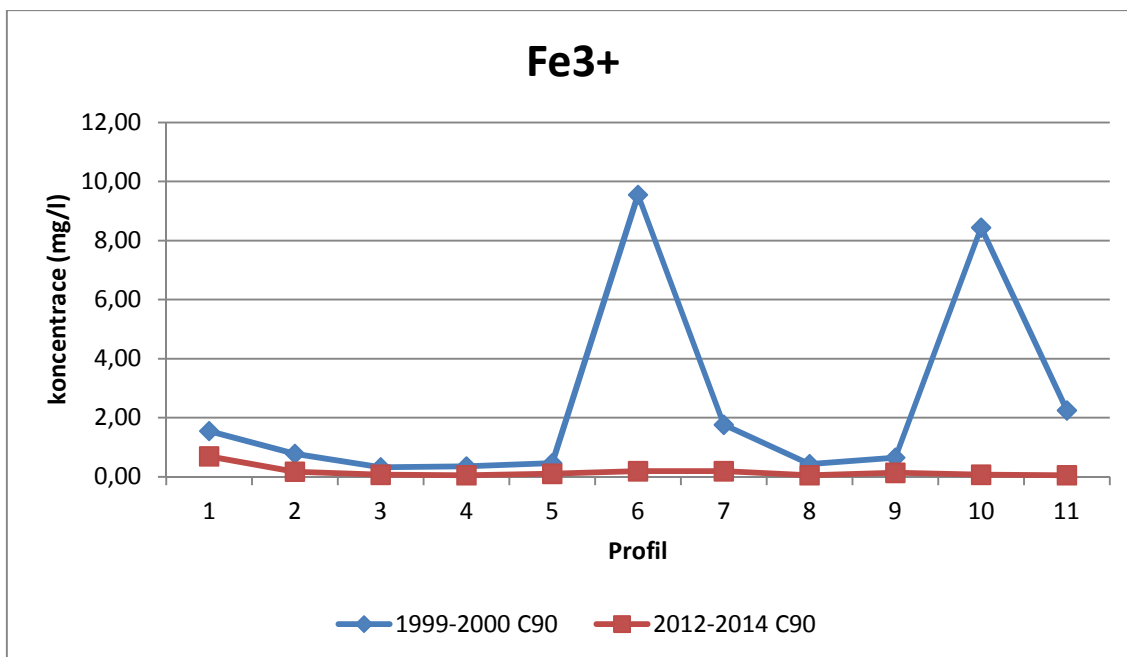


Graf 40: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, P-PO₄³⁻ C90

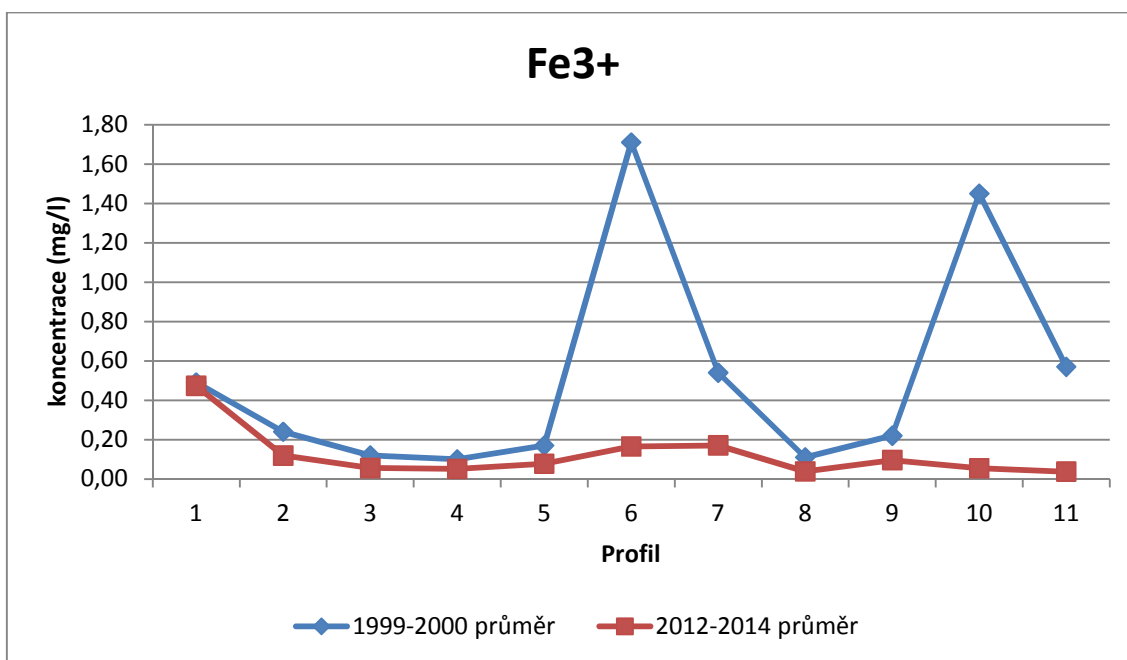


Graf 41: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, P-PO₄³⁻ průměr

Fosforečnanové hodnoty C90 i hodnoty průměrné vykazují výrazné zlepšení na profilech 2, 6, 7, 9 a 11. Největší změna nastala na profilu číslo 6.

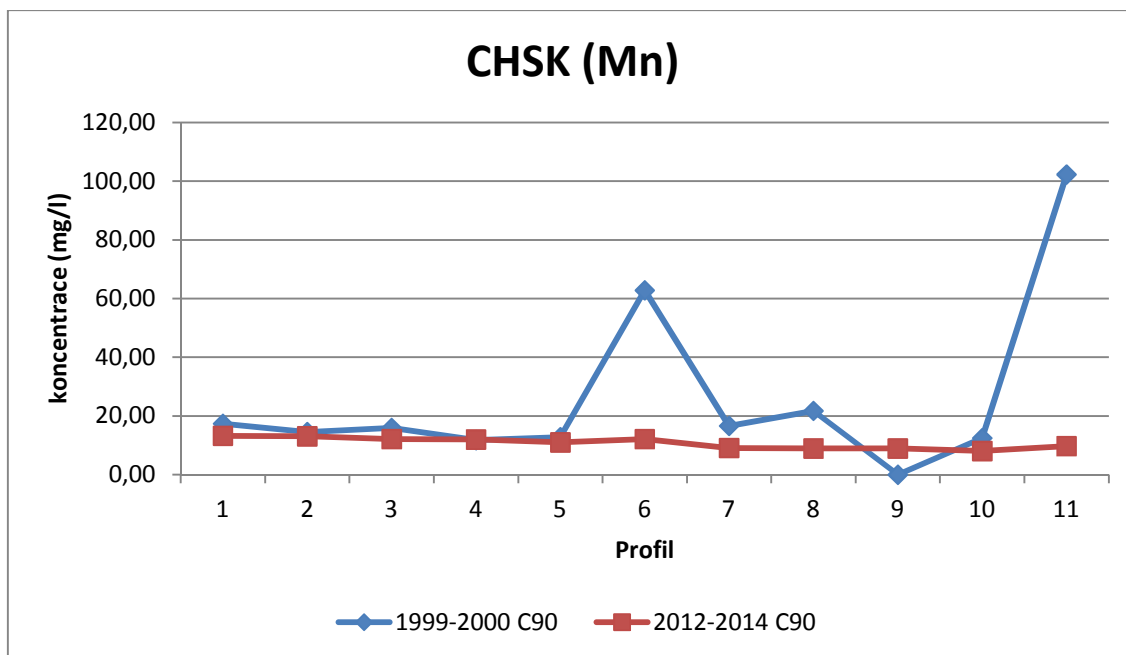


Graf 42: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Fe³⁺ C90

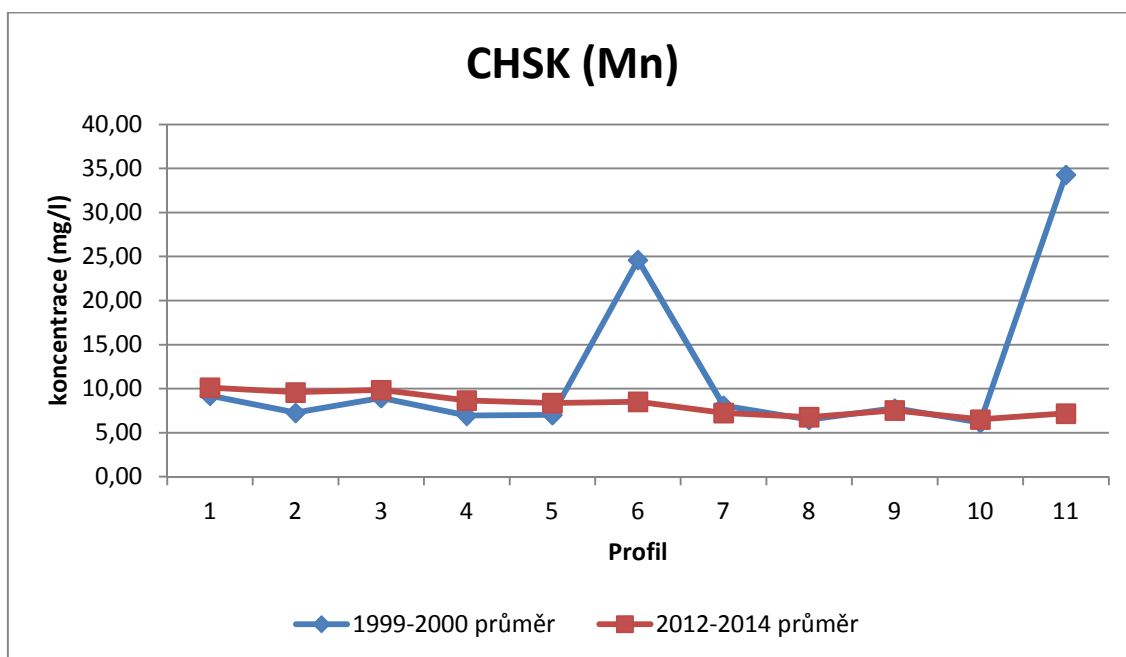


Graf 43: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, Fe³⁺ průměr

Z hodnot C90 i z průměrných hodnot je znatelný velký pokles koncentrace železitých iontů na profilech 6, 7, 10 a 11. Největší změna nastala na profilu 6.

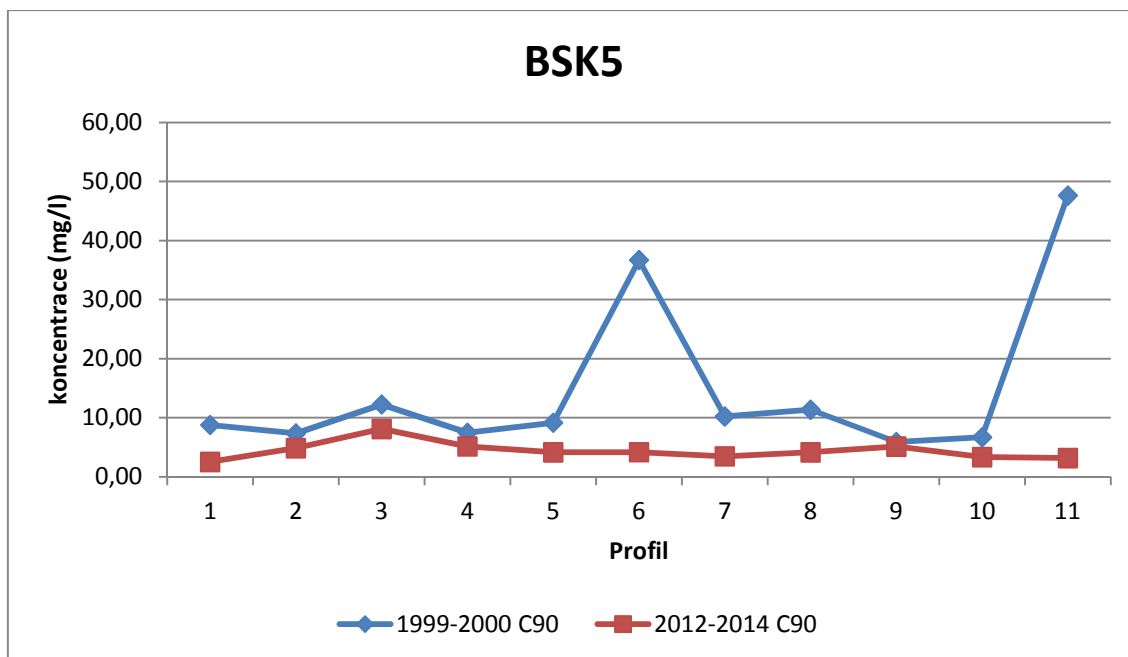


Graf 44: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, CHSK (Mn) C90

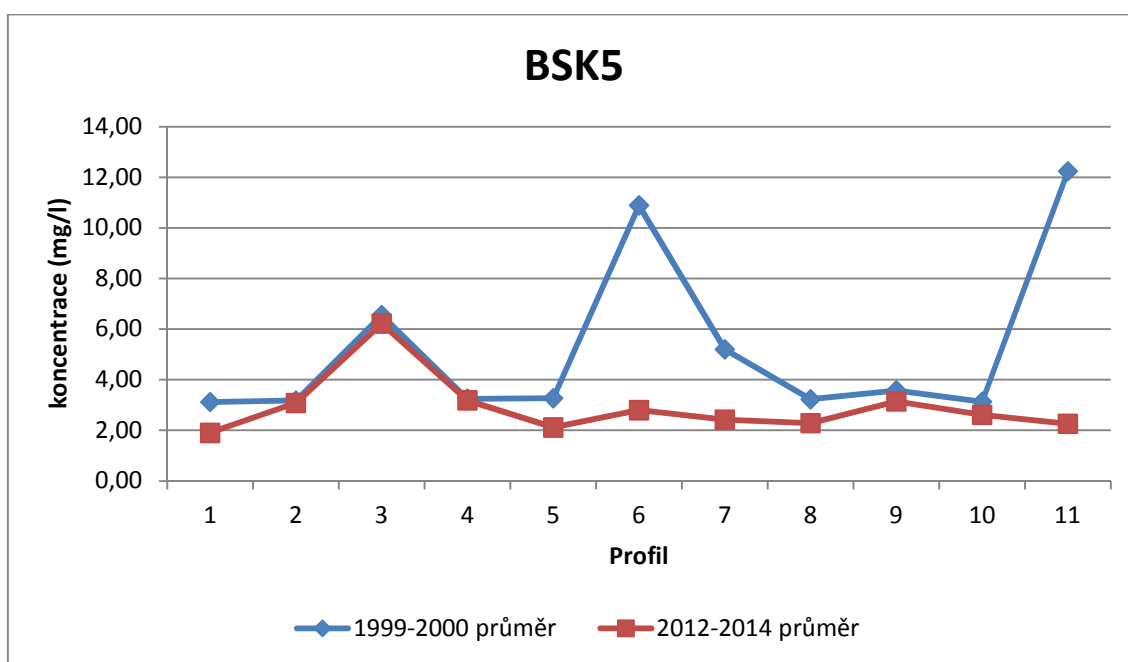


Graf 45: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, CHSK (Mn) průměr

U chemické spotřeby kyslíku došlo k výraznému poklesu na profilech 6 a 11. Ostatní profily se nijak významně nezměnily.



Graf 46: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, BSK5 C90



Graf 47: Grafické porovnání výsledků z 2012-2014 s daty z 1999-2000, CHSK (Mn) průměr

U biochemické spotřeby kyslíku došlo ke zlepšení, snížení koncentrací, na všech profilech. K nejvýraznějším změnám došlo na profilech 6 a 11.

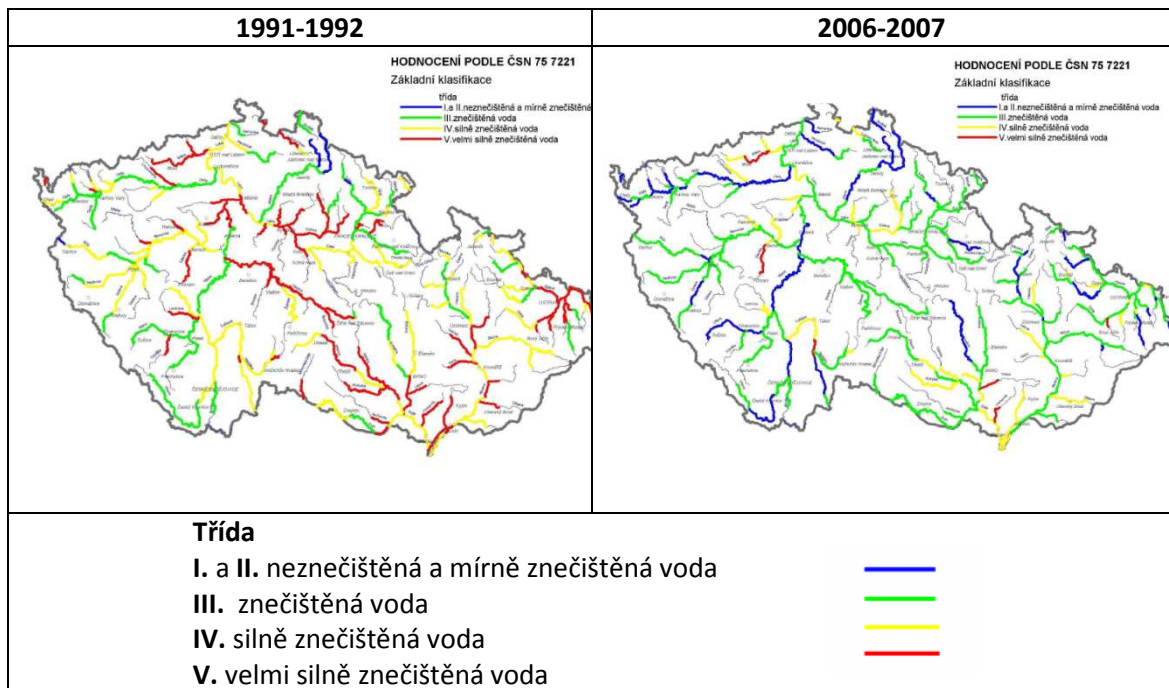
8 Diskuse

Z výsledků je více než patrný vliv lidský sídel Přehořov, Mladotice a Žihle na kvalitu vody v povodí Mladotického potoka. Plošné zdroje znečištění, jako jsou splachy ze zemědělských ploch, jsou také patrné, a to hlavně na profilu Chrášťovického potoka, který svými hodnotami koncentrací dusičnanů spadá až do poslední páté jakostní skupiny. Pravděpodobným důvodem bude přehnojování půdy kejdou, případně úniky odpadních vod či výluhů ze zemědělských odpadů pocházejících ze zemědělského podniku ve Velké Černé Hati. Ovšem hodnoty amonných iontů, které by měly značit fekální znečištění v oblasti, na stejném profilu spadají svými koncentraci jen do druhé jakostní třídy, což z velké části vyvrací úvahu o úniku odpadních vod ze zemědělské výroby. Vysoké hodnoty dusičnanů budou pravděpodobně způsobeny hlavně intenzivními splachy z okolní zemědělské půdy. [31]

Z porovnání dat z let 1999-2000 a novodobých dat 2012-2014 se dá usuzovat zlepšení nebo stagnace všech ze sledovaných ukazatelů. K největším změnám došlo na profilech 6 (pod obcí Mladotice) a 11 (Chrášťovický potok) a to především v hodnotách konduktivity, amonných iontů, dusitanového dusíku, dusičnanového dusíku, fosforečnanů, CHSK a BSK. Zlepšení všech profilů bylo zaznamenáno u dusitanů, dusičnanů, fosforečnanů a BSK, které jsou jedny z nejzákladnějších ukazatelů kvality vody v zemědělských oblastech. U profilu na Chrášťovickém potoku zlepšení stavu dokumentuje jednak pokles počtu chovaných prasat, přičemž v roce 2000 docházelo k vyvážení enormního množství kejdy na zemědělskou půdu. Dalším důvodem je zlepšení stavu odstavných nádrží. V případě profilu Mladotice pod obcí je prokazatelné, že na konci 90. let došlo ke snížení dávek hnojiv do zemědělské půdy. Obec však stále nemá čistírnu odpadních vod, avšak došlo k likvidaci četných přímých výpustí splaškových vod z domácností.

Podle údajů z Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M. došlo od roku 1991-1992 do roku 2006-2007 k významnému zlepšení situace kvality vody v celé České republice, což je patrné z následujícího grafického zobrazení. Data jsou uvedena pouze do roku 2007, není to tedy srovnatelné časové období, jako bylo porovnáváno v diplomové práci, ale je zde přehledně vidět trend zlepšení kvality vody, který

v časovém rozpětí nastal. Dá se tedy s vysokou pravděpodobností usuzovat, že kvalita vody v České republice od roku 2007 nadále stoupala a výsledky, kterých bylo dosaženo v diplomové práci tento fakt jen potvrzují. [35]



Obr. 16: Vývoj kvality vody v ČR od 1991-1992 do 2006-2007, Zdroj: [35]

K obdobné situaci zlepšení kvality vody od 90. let došlo i v zahraničí, konkrétně v severním Polsku. Zde byl prováděn výzkum na kvalitu vody v letech 1975-2003 na řece Bytowa. Výsledky ukazují výrazné zlepšení od 80. let do roku 2003. To je zapříčiněno hlavně výstavbou nových ČOV, snížením hnojících dávek a zmenšením zemědělských ploch. Došlo tedy k poklesu zatížení toků jak z bodových zdrojů pocházejících z lidských sídel, tak i z plošných zdrojů ze zemědělství. [36]

9 Závěr

Výsledky chemických rozborů z povodí Mladotického potoka z let 2012-2014 a jejich porovnání s daty z let 1999-2000 z diplomové práce Gabriely Šťastné potvrzují hypotézu z úvodu práce, kde byl uveden předpoklad zvýšení kvality vody v malých tocích České republiky. Odhad byl potvrzen hlavně výsledky ze dvou profilů a to profilu číslo 6 (Mladotický potok pod obcí Mladotice) a 11 (Chrástovický potok), kde ve většině ukazatelů došlo k rapidnímu zlepšení. Tyto dva profily byly v minulosti znečištěny ve vysoké míře, hlavně Chrástovický potok byl v diplomové práci z roku 2000 vyhodnocen jako vůbec nejhorší. Na těchto dvou profilech dochází k rozdílnému typu znečištění. Na Mladotický potok pod obcí Mladotice působí jako bodový zdroj znečištění samotná obec, zatímco na profil Chrástovický potok působí jako plošný zdroj znečištění zemědělská činnost v dané oblasti. Oba dva tyto zdroje znečištění se od 90. let podařilo ve velké míře omezit. Je sice stále patrný vliv obce Mladotice na kvalitu vody v Mladotickém potoce, stejně tak se projevuje i vliv obce Přehořov a Žihle v celém povodí, ale od 90. let došlo k velkému zlepšení.

Do budoucna by se pravděpodobně měla jakost vody v malých tocích v České republice dále zvyšovat. Měly by se nadále budovat čistírny odpadních vod, a to díky dodržování směrnice o čištění městských odpadních vod (91/271/EHS), kterou se Česká republika zavázala vůči EU, a nadále by měl pokračovat i vývoj technologií nejen pro čištění komunálních odpadních vod, ale také v hospodářských odvětvích, které mají na kvalitu vody vliv.

Celkově hodnotím vývoj kvality vody v povodí Mladotického potoka od 90. let za velmi dobrý.

10 Literatura

- [1] CZUDEK, T. (1972): *Geomorfologické členění ČSR*. Studia geographica, Brno
- [2] FUČÍK, P., NOVÁK, P., ŽÍŽALA, D. (2014): *A combined statistical approach for evaluation of the effects of land use, agricultural and urban activities on stream water chemistry in small tile-drained catchments of south Bohemia*. Springer-Verlag, Berlin
- [3] HORÁK, J., LINHART, I., KLUSOŇ, P. (2004): *Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky*. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha
- [4] HORÁKOVÁ, M. A KOL. (2003): *Analytika vody*. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha
- [5] HUS, T., PULIKOWSKI, K. (2011): *Content of Nitrogen Compounds in Waters Flowing Out of Small Agricultural Catchments*. Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Wrocław, Poland
- [6] JANSKÝ, B. (1977): *Mladotické Hrazené jezero – morfografické a hydrografické poměry*. Acta Universitatis Carolinae – Geographica, Praha
- [7] JANSKÝ, B. (2003): *Mladotické jezero – vývoj jezerní pánve*. Geomorfologický sborník 2, ČAG, ZČU, Plzeň
- [8] JANSKÝ, B., SCHULTE, A., ČESÁK, J., RIOS ESCOBAR, V. (2010): *The Mladotice Lake, western Czechia: The unique genesis and evolution of the lake basin*. Geografie, 115, No. 3
- [9] JANSKÝ, B.: *Elektronické materiály k předmětu hydrologie*. PŘF UK, Praha [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<https://is.cuni.cz/studium/predmety/index.php?do=download&did=36467&kod=MZ330P61Z>>
- [10] JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): *Jezera České republiky, katedra fyzické geografie a geoekologie*, PŘF UK, Praha
- [11] JUDOVÁ, P., JANSKÝ, B. (2005): *Water quality in rural areas of the Czech Republic: Key study Slapanka River catchment*. ELSEVIER, Limnologica, Prague
- [12] KATEDRA ANALYTICKÉ CHEMIE (2014): *Elektronické materiály k předmětu analytická chemie*. PŘF UP, Olomouc [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://ach.upol.cz>>
- [13] KATEDRA ANALYTICKÉ CHEMIE, Univerzita Karlova v Praze (2004): *Základní praktika z analytické chemie*. PŘF UK, Praha
- [14] KATEDRA ANALYTICKÉ CHEMIE: *Elektronické materiály k předmětu environmentální chemie*. ČZU, Praha [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <http://knc.czu.cz/~vachm/ech/ECH_predn.pdf>
- [15] KOCUM, J., LANGHAMMER, J.: *Hydrometrie, Elektronické materiály k předmětu Hydrologie*. PŘF UK, Praha [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Kocum_Hydrometrie.pdf>

- [16] LANGHAMMER, J., RÓDLOVÁ, S. (2013): *Changes in water quality in agricultural catchments after deployment of wastewater treatment plant*. Environmental Monitoring & Assessment, Spain
- [17] LANGHAMMER, J.: *Klasifikace jakosti vody, legislativa a program ochrany vod, Elektronické materiály k předmětu kvalita povrchových vod*. [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/prezentace/WQ_11_klasifikace_jakosti_vody_a_legislativa.pdf>
- [18] LANGHAMMER, J., KLIMENT, Z. (2006): *Změna kvality vody v zemědělských oblastech Česka*. Geografie sborník ČGS, Praha
- [19] MAŠKOVÁ, E. (2007): *Oblast kvality vody*. Web povodí Odry [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <http://www.pod.cz/planovani/soubory/koncepce_MSK/oblast_kvality_vody.pdf>
- [20] METODIKA ÚŽP UK (2011): *Pracovní materiály Laboratoře ochrany vod*. ÚŽP PŘF UK, Praha
- [21] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, (1991): *Směrnice 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod* [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice_odpadni_vody/\\$FILE/OOV-91_271_EHS-19910530.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/smernice_odpadni_vody/$FILE/OOV-91_271_EHS-19910530.pdf)>
- [22] MORAVCOVÁ, J. (2006): *Biologicky aktivní přírodní látky*. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha
- [23] NAVRÁTILOVÁ, Z.: *Elektronické materiály k předmětu analytická chemie*. PŘF OU, Ostrava [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <www1.osu.cz>
- [24] PITTER, P. (2009): *Hydrochemie*. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha
- [25] PUNČOCHÁŘ, P., DESORTOVÁ, B. (2003): *Informace o stavu trofie našich vodních zdrojů pro veřejnost*. Sovak, roč. 12, č. 5
- [26] QUITT, E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. Studia geographica, Brno
- [27] SCHULTE, A., ALBRECHT, M., DAUT, G., WALLNER, J., JANSKÝ, B. and VAN GELDERN, R. (2006): *Analyses and assessment of the sedimentary record of Lake Mladotice (western Czech Republic) in relation to flood events and pre- to postcommunist change in land use*. Zeitschrift für Geomorphologie. Suppl. Berlin. Stuttgart.
- [28] SMITH, V.H., TILMAN, G.D., NEKOLA, J.C. (1999): *Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems*. Environmental pollution
- [29] ŠÍMOVÁ, M. (2011): *Jakost povrchových a podzemních vod v zemědělsky využívaných oblastech*. Bakalářská práce, PŘF UK, Praha
- [30] ŠOBR, M.: *Hydrografie povodí, Elektronické materiály k předmětu Metody ve fyzické geografii I*. PŘF UK, Praha [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z:

- <<https://www.natur.cuni.cz/geografie/fyzicka-a-geoekologie/sobr/pedagogicka-cinnost/metody-ve-fg-i/hydrografie-povodi>>
- [31] ŠŤASTNÁ, G. (2000): *Hodnocení kvality povrchových vod v povodí Mladotického potoka*. Diplomová práce, PŘF UK, Praha
- [32] TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V., (1992): *Voda v zemědělské krajině*. Zemědělské nakladatelství Brázda ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí ČR, Praha
- [33] URBANOVÁ, H. (1991): *Hydrologický režim a výzkum povrchových vod v povodí Mladotického potoka*. Diplomová práce, PŘF UK, Praha
- [34] ÚSTAV INŽENÝRSTVÍ OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (2012): *Elektronické materiály k předmětu Technologie vody*. FT UTB, Zlín [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://uiozp.ft.utb.cz/studmat/2013820142334/T7TV072012.pdf>>
- [35] VOLAUFOVÁ, L.: *Kvalita povrchových vod v České republice a její vývoj*. CENIA [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <[http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/mzpsmft33psn/\\$file/vody.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/mzpsmft33psn/$file/vody.pdf)>
- [36] WITEK, Z., JAROSIEWICZ, A. (2009): *Long-term ganges in nutrient status of river water*. Pomeranian University in Słupsk, Institute of Biology and Environmental Protection, Słupsk, Poland
- [37] ZACHAR, D., JŮVA, K. A KOL. (1987): *Využití a ochrana vod ČSSR z hlediska zemědělství a lesního hospodářství*. Academia, Praha
- [38] BÍLOVSKÁ ZEMĚDĚLSKÁ Web [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://www.rostlinnavyroba.cz/>>
- [39] BIOPROJECT CONSTRUCTION Web [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://www.bioproject.cz/bioplynova-stanice.php?ID=16>>
- [40] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD Web [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://www.czso.cz/>>
- [41] REGIONÁLNÍ INFORMAČNÍ SERVIS Web [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://www.risy.cz/cs>>
- [42] ZEMĚDĚLSKÉ DRUŽSTVO MLADOTICE Web [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://zdmladotice.zihlenet.cz/>>
- [43] ŽIHELSKÝ STATEK Web [online][cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <<http://zihelsky-statek.sluzby.cz/>>