

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

**Zhodnocení účinnosti kořenové čistírny
odpadních vod**

Bakalářská práce

Markéta Kejhová

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Gabriela Šťastná, Ph.D.

Květen 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Kejhová</u>	Jméno: <u>Markéta</u>	Osobní číslo: <u>380729</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra zdravotního a ekologického inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Vodní hospodářství</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Zhodnocení účinnosti kořenové čistírny odpadních vod</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Assessing of the root wastewater treatment plant effectiveness</u>	
Pokyny pro vypracování: Předmětem bakalářské práce je vyhodnocení účinnosti kořenové čistírny odpadních vod.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Mgr. Gabriela Šťastná, Ph.D</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>22.2.2016</u> Termín odevzdání bakalářské práce: <u>22.5.2016</u>	
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Zhodnocení kořenové čistírny odpadních vod" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.5.2015

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní Mgr. Gabriela Šťastná, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce a za čas, který mi věnovala. Dále patří velké díky pánům prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc., Ing. Jaroslavu Kršňákovi, Ing. Petru Pelikánovi, Ing. Josefovi Mácovi, Ph. D., Ing. Jindřichu Jindřichovi a Janu Majerovi za odborné konzultace a poskytnutá data.

Anotace

Předmětem bakalářské práce je zhodnocení účinnosti kořenových čistíren. Posouzení funkčnosti na odstraňování organických a nerozpuštěných látek z odpadní vody. Dále pak na odstranění amoniakálního znečištění a fosforu. V práci se nejprve uvádí, jaké je znečištění odpadních vod a jaká je jejich kvalita a množství. Dále se zabývá rozdílem mezi čištěním odpadní vody v klasických čistírnách a kořenových čistírnách. Zaměřuje se na ekonomická i funkční hlediska a důvody, kdy je vhodné volit kořenové čistírny odpadních vod. V další části se potom podrobně rozebírají jednotlivé části a procesy probíhající v kořenové čistírně odpadních vod. Jednotlivá konstrukčního uspořádání a vliv na čistící proces a výsledné hodnoty znečištění. Podrobněji jsou popisovány a vyhodnocovány dvě kořenové čistírny odpadních vod ve Spáleném Poříčí a v Čisté u Rakovníka. Součástí zhodnocení kořenové čistírny ve Spáleném Poříčí je plánovaná rekonstrukce kořenové čistírny. V poslední části je porovnání poznatků z obou čistíren.

Klíčová slova

Kořenová čistírna, odpadní voda, filtrační pole, účinnost čištění

Annotation

The matter of this bachelor thesis is to evaluate the efficiency of constructed wetlands, assessment of removal of organic and insoluble substances from waste water, further elimination of ammonium pollution and phosphorus. There is first mentioned what is waste water polluted with, what is their quality and quantity. Later the thesis deals with the difference between waste water treatment in conventional waste-water treatment plant and in constructed wetlands. It focuses on economical and functional aspects and arguments when it is appropriate to choose constructed wetlands. Individual steps and processes in constructed wetlands, particular structural arrangements and effect on treating process and outflow pollution value are discussed in detail in the next part. Also two constructed wetlands in Spálené Poříčí and in Čistá u Rakovníka are described and evaluated in detail. Part of the assessment of constructed wetland in Spálené Poříčí is planned reconstruction. Knowledge from both constructed wetlands are compared at the end of thesis.

Key words

Constructed wetlands, waste water, filtration bed, cleaning efficiency

Obsah

1. Úvod	11
2. Rešerše	12
2.1 Odpadní vody	12
2.1.1 Zdroje znečištění.....	12
2.1.2 Množství odpadní vody	12
2.1.3 Kvalita odpadních vod	13
2.2 Kořenová čistírna odpadních vod (KČOV)	14
2.3 Jednotlivé části KČOV	16
2.3.1 Předčištění	16
2.3.2 Distribuce odpadní vody do filtračního lože.....	16
2.3.3 Filtrační lože	16
2.3.4 Vegetace	18
2.3.5 Odvádění vody z filtračního lože	18
2.3.6 Fungování kořenových čistíren v zimním období.....	18
2.3.7 Zápach kořenové čistírny.....	19
2.4 Typy KČOV a jejich popis	20
2.4.1 Kořenové čistírny s horizontálním průtokem	20
2.4.2 Kořenové čistírny s vertikálním průtokem	22
2.5 Látky čištěné na KČOV	26
2.5.1 Organické látky	27
2.5.2 Nerozpuštěné látky (NL)	27
2.5.3 Fosfor	27
2.5.4 Dusík	28
2.5.5 Bakteriální znečištění.....	28
2.5.6 Těžké kovy	29
2.7 Účinnost čištění	30
2.8 Provoz a údržba	31
2.9 Investiční a provozní náklady	32
2.10 Stav kořenových čistíren v České republice	33
3. Sledované kořenové čistírny odpadních vod.....	34
3.1 KČOV ve Spáleném Poříčí	34
3.1.1 Konstrukční údaje.....	34
3.1.2 Vyhodnocení v letech 1992 – 2010	35

3.1.3	Rekonstrukce současného stavu	39
3.1.4	Vyhodnocení účinnosti KČOV a plnění norem v letech 2008 – 2015	42
3.2	KČOV v Čisté u Rakovníka	62
3.2.1	Konstrukční údaje	62
3.2.2	Provozní údaje	63
3.2.3	Odstranění BSK ₅ v letech 1995-2010	63
3.2.4	Vyhodnocení účinnosti a plnění norem v letech 2009-2015	64
4.	Porovnání	75
5.	Závěr	76
6.	Použité zdroje	77

1. Úvod

V České republice se jejich vývoj začal rozvíjet v devadesátých letech minulého století, kdy stavba klasických aktivačních čistíren byla v malých obcích finančně nákladná. Kořenové čistírny odpadních vod díky svým vysokým účinnostem při odstraňování rozpuštěného a nerozpuštěného organického znečištění jsou vhodnou alternativou ke klasickým čistírnám především v malých sídlech. Ovšem ve světě existují i čistírny větších rozměrů.

Díky procesům, které přirozeně probíhají v kořenové čistírně odpadních vod, je velmi vyhledávaným způsobem čištění odpadní vody, hlavně v místech, kde není vybudovaná kanalizace. Další výhodou je její možné použití i pro jednotlivé domy.

V dnešní době jsou zkoumány i jejich další varianty, které vedou ke zlepšení účinnosti v odstraňování fosforu a dusíku a těžko odstranitelných látek jako jsou zbytky léčiv a hormonální látky.

Pro tuto práci byly vybrány dvě čistírny s kapacitou pro 800 EO a 1500 EO, které vznikly obě v 90. letech 20. století. V první části jsou popsány hlavní části kořenové čistírny odpadních vod a látky, které jsou schopné odstraňovat a jak. Jejich srovnání s klasickými čistírnami a jejich provoz a údržba. Druhá část už je zaměřená na konkrétní dvě čistírny a vyhodnocení jejich účinností a vzájemné porovnání s výhledem do budoucna.

2. Rešerše

2.1 *Odpadní vody*

2.1.1 Zdroje znečištění

Voda je nezbytnou potřebou člověka, používá ji, ale z velké části nespotřebuje. Největší část použité vody odtéká jako voda odpadní. Městské odpadní vody se liší stupněm znečištění a svým složením především v závislosti na typu sídla, druhu průmyslu a taktéž na stupni nařazení srážkovými a balastními vodami vstupujícími do systému. Objem a složení odpadních vod se ve stejném místě mění v průběhu času, a to během dne, týdne a roku. Množství a kvalita odpadní vody jsou jednou z nejdůležitějších vstupních návrhových parametrů pro dimenzování a výstavbu čistírny odpadních vod. [1]

2.1.2 Množství odpadní vody

Specifické množství odpadní vody (množství vyprodukované jedním ekvivalentním obyvatelem=1EO za den) je přímo úměrné stupni vybavenosti obce (nemocnice, kulturní domy, hotely, služby, průmysl atd.) a domácnosti (vodovod, přívod teplé vody, koupelna, sprcha, myčka, spořič vody na toaletě atd.). Specifická spotřeba pitné vody (q) se v roce 2004 v evropských zemích pohybovala mezi 150-200 l/osobu/den. V současné době je specifická spotřeba pitné vody v České republice na 100-120 l/osobu/den. [1]

Vypouštění odpadních vod je proměnlivé, ale přesto lze vysledovat určitou pravidelnost průtoku v závislosti na životním rytmu města, obce či výrobních procesech nebo rodiny. Pro kvantifikování proměnlivosti daného parametru (průtoku) za určité časové období se zavádí koeficienty nerovnoměrnosti hodinové k_{hi} a nerovnoměrnosti denní k_{dn} . Nejrozšířenější použití mají koeficienty popisující maximální a minimální průtoky v daném časovém období. Hodnota koeficientu má statistický charakter a takto musí být i posuzována. Kolísání průtoků odpadní vody je charakterizováno špičkou maxima průtoku (ranní a večerní) a nočním minimem. Velikost koeficientů závisí na velikosti zdroje znečištění. [1]

Výpočet množství splaškových vod

Průměrný bezdeštný přítok Q_{24} se vypočítá podle:

$$Q_{24} = EO * q \text{ (m}^3\text{/den)}$$

kde:

EO...počet ekvivalentních obyvatel

q...specifická spotřeba na 1 obyv. (l/osobu/den)

Maximální bezdeštný denní přítok Q_d pak podle vzorce:

$$Q_d = Q_{24} * k_d + Q_B \text{ (m}^3\text{/den)}$$

kde:

k_d ...koeficient denní nerovnosti

Q_B ...balastní vody (m³/den), uvažujeme 10-15 % Q_{24}

Pro maximální bezdeštný hodinový přítok Q_h lze použít vzorec:

$$Q_h = Q_{24} * k_d * k_h / 24 \text{ (m}^3\text{/hod)}$$

kde:

k_h ...koeficient maximální hodinové nerovnosti

V návrhu je nutné zohlednit i průmyslové vody splaškové a odpadní.[1]

2.1.3 Kvalita odpadních vod

Základním měřítkem pro vyjadřování znečištění je tzv. ekvivalentní obyvatel (EO). Jedná se o znečištění vyprodukované 1 obyvatelem za den. Při stanovení potřebného výkonu čistírny, zejména biologické části, se počet připojených obyvatel na čistírnu udává v EO. Nejvýznamnějšími složkami pro posuzování kvality splaškových vod jsou parametry BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku), CHSK (chemická spotřeba kyslíku), N_{celk} (celkový dusík), P_{celk} (celkový fosfor), pH. [1]

Významnou vlastností odpadní vody je i její teplota, která ovlivňuje rychlost biochemických reakcí. Průměrná roční teplota vody protékající čistírnou odpadních vod se v našich

zeměpisných podmínkách pohybuje od 10°C do 20°C. Ve srovnání s městskou čistírnou odpadních vod jsou malé čistírny odpadních vod mnohem citlivější na kolísání teplot, což má negativní vliv na čistírenské procesy a s touto skutečností je třeba počítat (např. snížení nitrifikačních pochodů v zimním období). [1]

Látky obsažené ve splaškových vodách mohou ohrožovat životní prostředí, proto je nutné je před vypouštěním do vodního toku z vody odstranit. Tyto látky mají původ v:

- pitné vodě, kterou je zásobeno obyvatelstvo
- produktech metabolismu živých organismů
- produktech lidské činnosti v domácnosti (zbytky jídel, prací a čisticí prostředky atd.)
- produktech průmyslové a zemědělské činnosti
- odpadních vodách splaškových
- balastních vodách [1]

2.2 Kořenová čistírna odpadních vod (KČOV)

Jakost vody v tocích a nádržích má zásadní význam pro ekologickou hodnotu krajiny. Výstavba klasických čistíren pro menší sídla je záležitost velmi nákladná, jak pro vlastní výstavbu, tak pro následný provoz a údržbu. Vhodnou alternativou pro malé obce do 2000 EO je využití pro čištění odpadní vody právě kořenových čistíren odpadní vody. [2]

Kořenové čistírny využívají pro čištění odpadních vod přírodní procesy, které probíhají například v mokřadech a vodních nádržích při využívání biologického samočisticího efektu. Jejich výhodou je především to, že mohou čistit i silně naředěné odpadní vody s nízkou koncentrací BSK₅. Zatímco klasické aktivační čistírny vyžadují určitou minimální koncentraci organických látek (cca > 50-80 mg/l), KČOV se vypořádají i s koncentracemi nižšími. Jelikož většina obcí v České republice má jednotnou kanalizace, koncentrace organických látek jsou často velmi nízké. [2,8]

Pro umístění kořenových čistíren odpadních vod sice potřebují větší zábor půdy než klasické čistírny, ovšem je možné k jejich realizaci využít i pozemky s půdní plochou nevhodnou k jiným účelům. [2]

Kořenové čistírny odpadních vod využívají účinné fyzikální, chemické a biologické samočisticí procesy, které probíhají v porézním půdním prostředí plně nasyceném vodou. Rostliny, hlavně makrofyta, poskytují prostor pro bakteriální oživení filtru, přispívá k aktivní kyslíkové bilanci přívodem kyslíku do kořenové zóny makrofyt, odběru části mineralizovaných rostlinných živin z odpadních vod. Jedná se tedy v podstatě o umělý mokřad s výsadbou vhodných makrofyt. [3]

KČOV mají vhodné využití při čištění:

- Splaškové vody
 - Domovní
 - Městské
 - Jednotná kanalizace
 - Oddílná kanalizace
- Zemědělské vody (kravíny, vepřiny, drůbežárny, mléčnice)
- Průmyslové vody
 - Potravinářský průmysl (mlékárenský včetně výroby sýrů, cukrovary, zpracování ryb, škrobárny, jatka, lihovary, výroba vína, zpracování brambor, zpracování zeleniny)
 - Důlní drenážní vody (uhlí, železné rudy)
 - Těžký průmysl (rafinérie ropy, výroba hnojiv, polymerů, výbušnin, chemikálií, farmaceutik, papíru a papíroviny)
- Splachové vody
 - Městské splachy, dálnice, parkoviště, letiště (včetně rozmrazovacích prostředků), železniční depa, čerpací stanice (včetně myček aut), skleníky, zahradnictví, zemědělské plochy
- Průsaky ze skládek pevného odpadu
- Stabilizace a mineralizace čistírenských kalů [3]

Díky tomuto spektru možných využití pro čištění různé druhy odpadních vod je tedy možné KČOV použít pro:

- Jednotlivé domy, případně menší skupiny domů
- Splaškové odpadní vody u hotelů, restaurací a jiných rekreačních zařízení
- Menší obce do 1000 EO (v příznivých podmínkách i více)
- Školní zařízení a různé sociální ústavy

- Dočištění za malými mechanicko-biologickými čistírnami
- Malé průmyslové závody, pokud neobsahují toxické látky [2]

2.3 Jednotlivé části KČOV

2.3.1 Předčištění

Před vlastní kořenovou čistírnou, aby nedošlo k případnému ucpání filtračního lože KČOV, je nezbytné zařadit mechanické předčištění, které zachytí hrubé nečistoty. Kvalitní mechanické předčištění odpadních vod je nezbytnou součástí každé kořenové čistírny. Před nátokem do kořenového pole musí být odpadní voda zbavena mechanických nečistot a musí proběhnout anaerobní proces předčištění v septiku. U obecních kořenových čistíren se před vtokem do samotného kořenového pole používají česle, lapáky písku, tuků a šterbinové nádrže. U domů, restaurací a hotelů se využívá čtyřkomorový septik. Voda zbavena hrubých nečistot, šterku, písku je přiváděna na centrální část KČOV, kde je nezbytné ji rovnoměrně rozdělit po celé ploše filtračního lože. [3,6]

2.3.2 Distribuce odpadní vody do filtračního lože

Původně se odpadní voda odváděla do rozvodné zóny přes otevřené žlaby. Nevýhodou bylo v zimním období zamrzání a v letním zápach. Nyní se používají plastové trubky s velkými otvory, aby nedošlo k ucpávání. Jsou uloženy buď pod, nebo nad úrovní filtračního lože. Regulace výšky vodní hladiny se provádí v odtokové šachtě na konci čistírny. [3]

2.3.3 Filtrační lože

Hlavní část čistírny představuje filtrační lože, které je většinou 60 až 80 cm hluboké. Musí splňovat dvě hlavní podmínky. Filtrační náplň musí být dostatečně hydraulicky vodivá, aby nedocházelo k ucpávání a následnému povrchovému odtoku. Dříve se používaly těžké jílové zeminy, které sice nesnižovaly čistící efekt, avšak docházelo k hygienickým problémům (zápach). Proto se dnes používá především písek, šterkopísek a šterk. Druhou důležitou podmínkou filtračního lože je umožnit růst mokřadní vegetace. Při provozu KČOV se udržuje

hladina vody 10-15 cm pod povrchem filtračního lože, což je nutné kvůli zabránění zamrznutí v zimním období a líhnutí komárů v období letním. [3,4]

Ve filtračním loži dochází k hlavním čistícím procesům hlavně pomocí bakterií na povrchu filtrační náplně. Povrchová úprava svahů kořenových filtrů se řeší obkladem kameny nebo zatravněním. Dno kořenové čistírny je vystláno speciální izolační fólií z polyetylenu nebo syntetického kaučuku. Tato fólie je z obou stran chráněna geotextilií. Izolační vrstva je vyložena praným drceným kamenivem do mocnosti cca. 80 cm. Odpadní voda natéká zabudovaným potrubním do kořenového pole, kde se rovnoměrně rozděluje po celé jeho šířce a poté pomalu prochází celým objemem kořenového filtru směrem k výtoku. K tomu slouží rozdělovací potrubí a rozdělovací šterkový pás. Hladina vody se udržuje přibližně 5-10 cm pod povrchem šterku.[5,6]

Dimenzování filtračních polí

KČOV jsou téměř vždy navrhovány na dostatečné odstranění organických a nerozpuštěných látek. Plocha kořenových polí je navrhována podle rovnice:

$$A_h = Q_d * (\ln C_o - \ln C_t) / K_{BSK}$$

kde:

A_h ...plocha filtračních polí (m²)

Q_d ...prům. denní přítok odpadní vody (m³/d)

C_o ...koncentrace BSK₅ na přítoku (mg/l)

C_t ...požadovaná koncentrace BSK₅ na odtoku (mg/l)

K_{BSK} ...rychlostní konstanta (m/d)

Tato rovnice byla navržena v první polovině 70. let 20. stol. A je s úspěchem používána dodnes. Změnila se pouze rychlostní konstanta K_{BSK} , která se původně uvažovala 0,19 m/d. Ukázala se ovšem jako nedostačující a v současné době se uvažuje 0,075-0,085 m/d pro zajištění kvalitního čištění. [8]

V 90. letech minulého století byla rovnice modifikována s využitím koncentrace C^* , což je koncentrace pozadí a reprezentuje koncentraci BSK₅, která se vytvoří ve vlastním mokřadu (např. rozkladem rostlinné biomasy).[8]

$$A_h = Q_d * \ln((C_t - C^*) / (C_o - C^*)) / K_{BSK}$$

Pro městské a domovní splašky u nás vychází potřebná plocha přibližně 5m² na 1 EO. Avšak existují i čistírny s menší 1-3 m²na 1 EO, nebo větší 8-10 m²plochou. [3]

2.3.4 Vegetace

Funkce mokřadních rostlin má doplňující význam pro čištění. Jejich přítomnost je důležitá hlavně pro přivádění vzdušného kyslíku do hlubších částí filtračního pole. To umožňuje vytvoření aerobních prostředí v okolí kořenů a je důležité pro další procesy čištění. Tento kyslík je důležitý zejména pro bakterie a mikroorganismy, které žijí na kořenech a v jejich blízkosti a které vykonávají významnou část čistícího procesu. Rostliny také přispívají k zateplení povrchu filtračního lože v zimním období. Nejvíce se používá *Rákos obecný* a *Chrastice rákosovitá*. Někdy se používají k osázení i okrasné rostliny jako například orobinec a kosatec. Rostliny se vysazují v hustotě 4-8 na 1m² přímo do štěrkového lože.[3,4]

Účinnost kořenových čistíren neovlivňuje totiž až tolik doba zdržení vody ve filtračním loži, ale množství dostupného kyslíku pro bakterie, které ho využívají pro metabolické procesy. [5]

2.3.5 Odvádění vody z filtračního lože

Voda zbavená odpadních látek se vypouští do blízké vodoteče, nebo je sběrnou drenáží zasakována do půdního profilu. V tomto případě je nutné, aby místo vsakovacího příkopu bylo propustné. Případně je možné ji zachytávat a využívat jako vodu na zalévání nebo splachování toalet. [6,8]

2.3.6 Fungování kořenových čistíren v zimním období

Odpůrci kořenových čistíren tvrdí, že během zimního období rostliny nerostou a tedy ani kořenová čistírna nefunguje. Důležité je ale si uvědomit, že kořenová čistírna primárně nečistí vodu pomocí rostlin. Celkový odběr živin rostlinami se pohybuje pouze mezi 5-10% dusíku a fosforu. Hlavním podíl na čištění odpadní vody mají biochemické mikrobiální procesy, které zajišťují bakterie a ty přežívají celoročně. Jediný rozdíl tedy oproti vegetačnímu období je v tom, že bakterie snižují svůj metabolismus úměrně s teplotou. Účinnost čistírny se snižuje tímto vlivem o 10-30%. Na tento fakt je tedy nutno myslet již v návrhu kořenové čistírny. Dostatečné funkce i v zimním období se dosahuje zejména zvětšením plochy filtračních polí. Obecně by se dalo říci, čím více jsme na sever, tím větší kořenové čistírny jsou. V subtropích

například na kořenovou čistírnu stačí plocha 1-2 m² na EO, v našem podnebí je potřeba 3-4 m² na EO. [5,6]

Teplota dle výzkumů ovlivňuje hlavně odstraňování různých forem dusíku, na ostatní druhy znečištění (BSK, NL a další) nemá teplota výrazný vliv. Pro splnění limitů na BSK by se tedy mohla čistírna navrhnout menší, ale čistírna se navrhuje tak, aby vyhověla i na odstranění amoniakálního dusíku. [5]

V České republice se pohybuje teplota ve filtračním loži ve vegetačním období (květen-říjen) mezi 13-15°C a 6-8°C v nevegetačním období. Kořenová pole jsou také dobře izolovaná rostlinami. Omezení průběhu nitrifikace, a tudíž odstranění amoniaku, bylo prokázáno, ale z (Tab. 1) je vidět, že to tak nemusí být ve všech případech. [8]

Tab. 1 účinnost odstraňování BSK₅ a N-NH₄⁺ ve vegetačním a nevegetačním období [8]

Lokalita	Období	BSK ₅		N-NH ₄ ⁺	
		VEG	NEVEG	VEG	NEVEG
Jimlíkov	1998-2010	3,5	3,0	3,7	2,8
Čistá	1995-2010	2,8	2,8	4,8	4,8
Machová	2001-2009	4,0	4,9	6,7	5,0
Zásada	1995-2010	9,6	17,6	14,4	19,6
Ondřejov	1991-2004	24	15,2	19,6	21,1
Spálené Poříčí	1992-2010	5,1	4,0	10,5	8,1
Němčovice	2005-2011	13	9		
Ptenín	1998-2011	15,4	9,3	20,5	20,2

2.3.7 Zápach kořenové čistírny

Dalším argumentem odpůrců proti kořenovým čistírnám je zápach. V případě dobře navržené a postavené kořenové čistírny, stejně tak jako u kanalizačních objektů jiných typů čistíren odpadních vod, se tento jev dá prakticky vyloučit. Což je důležité zejména u kanalizačních šachet a u septiků, kde probíhají anaerobní procesy, které vytvářejí zápach. Někdy, pokud se mění atmosférické tlaky např. po dešti, se můžeme se zápachem setkat i u dobře udělané kanalizační sítě. [5]

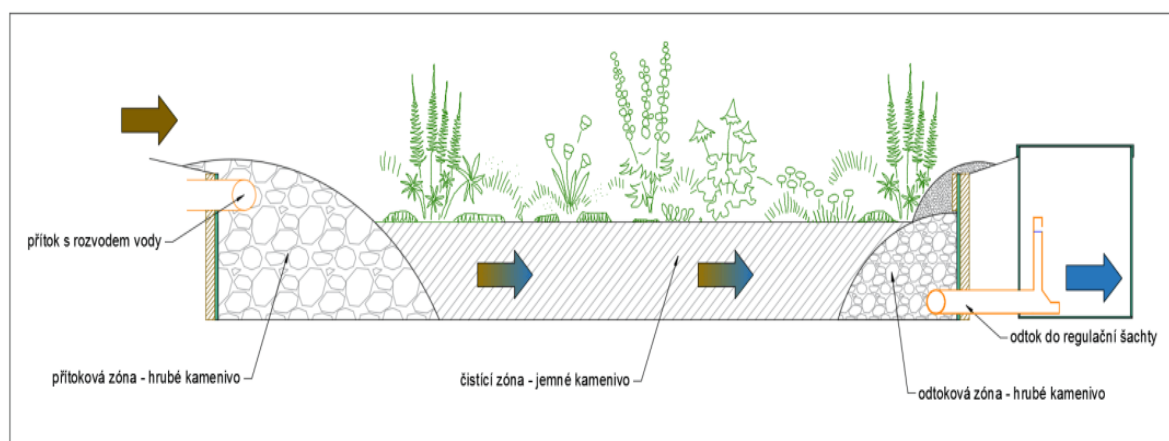
2.4 Typy KČOV a jejich popis

Podle směru proudění dělíme kořenové čistírny na dva základní typy:

- KČOV s horizontálním prouděním
- KČOV s vertikálním prouděním

2.4.1 Kořenové čistírny s horizontálním průtokem

Kořenová čistírna s horizontálním průtokem je nejčastěji používaný typ u nás. Tento typ je tvořen mechanickým předčištěním (např. septikem). Odpadní voda prochází dále horizontálně z jedné strany filtračního pole na druhou a tvoří souvislou hladinu, jejíž výška se reguluje pomocí zařízení v regulační šachtě na konci čistírny. Schéma průtoku odpadní vody je zobrazeno na obr. 1. [5]



Obr. 1 Schéma KČOV s horizontálním průtokem [5]

Mezi hlavní mechanismy čištění odpadní vody patří filtrace, sedimentace a mikrobiální aktivita. V tomto typu čistírny probíhají mikrobiální procesy v anaerobním nebo aerobním prostředí. Aerobní prostředí se nachází hlavně poblíž kořenů rostlin a při povrchu filtračního lože. Tento typ čistírny zvládá velice dobře redukci nerozpuštěných látek, organického znečištění (BSK_5) a patogenů. Vzhledem k převaze anaerobního prostředí není však vhodný k redukci amoniakálního dusíku. [5]

Z hlediska potřebné plochy pro dostatečné snížení organického znečištění se jedná o typ relativně náročný na plochu s potřebou $5m^2$ na EO a více. Pokud bychom vzali v úvahu i redukci amoniakálního dusíku, potřebná plocha by převyšovala hodnotu $10m^2$ na EO. Takováto čistírna by byla z hlediska investičních nákladů nereálná, a proto je lepší používat

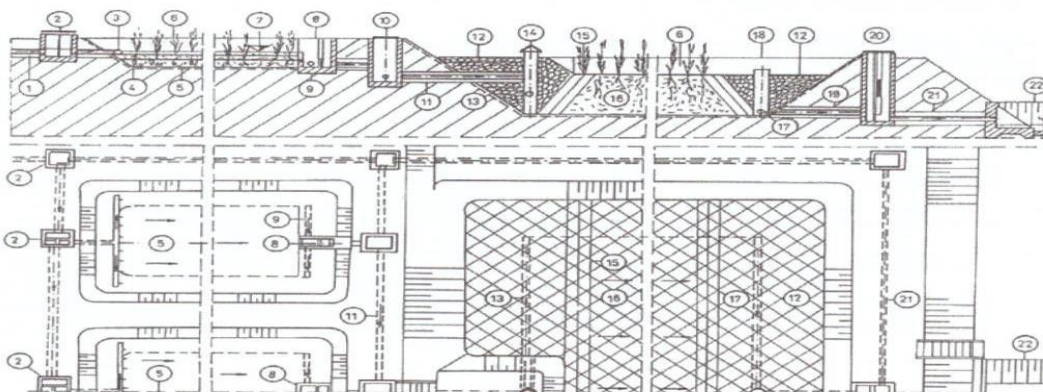
tento typ pouze ve spojení s účinnějšími druhy kořenových čistíren nebo pro méně znečištěnou odpadní vodu (např. šedá voda). [5]

2.4.1.1 KČOV s horizontálním povrchovým průtokem

Povrchový tok vody je charakteristický velmi malými průtočnými rychlostmi v nízké vrstvě vody, a tím zapříčiňují intenzivní sedimentaci usaditelných částic na počátku půdního filtru. Snížení průtočné rychlosti napomáhají vlhkomilné, mokřadní a vodní rostliny. Při tenké vrstvě vody dochází k dostatečnému styku vodního prostředí s ovzduším a k dobrému okysličování vody. Příznivé podmínky urychlují proces čištění a nitrifikace, tím se výrazně snižuje amoniakální znečištění.

Z hlediska kvalitního čistícího účinku se navrhuje minimálně délka povrchově protékaného pole 20 m, poměr stran 1:8 až 1:10. Navrhují se minimálně dvě paralelně zapojená pole. Toto uspořádání umožňuje krátkodobé odstavení jednoho pole, vysušení, vytěžení i s makrofyty a zkompostování tohoto materiálu. V našich klimatických podmínkách se doporučuje navrhovat kombinace vegetačních kořenových čistíren s povrchovým a podpovrchovým průtokem.

V zimním období je nutno zvýšit hladinu vody, která pak proudí pod ledem a v půdním prostředí. Při velkých mrazech se odpojí povrchová sekce a veškerá odpadní voda se čistí pouze ve vegetační kořenové čistírně s podpovrchovým průtokem. Konstruktivní uspořádání KČOV s povrchovým a podpovrchovým průtokem je zobrazeno na obr. 2. [7]



Obr. 52 Uspořádání kombinace VKČ s povrchovým a podpovrchovým průtokem: 1 – přívod, 2 – rozdělovací šachtice, 3 – rozdělovací potrubí, 4 – těsnění, 5 – geotextilie, 6 – vegetace, 7 – přerónové pole, 8 – regulační šachtice, 9 – sběrný drén, 10 – šachtice, 11 – rozvod vody, 12 – rozdělovací štěrkový pás, 13 – rozdělovací potrubí, 14 – šachtice, 15 – filtr, 16 – porézní filtrační prostředí, 17 – sběrný drén, 18 – šachtice, 19 – odpadní potrubí, 20 – regulační šachtice, 21 – odpadní potrubí, 22 – odpad

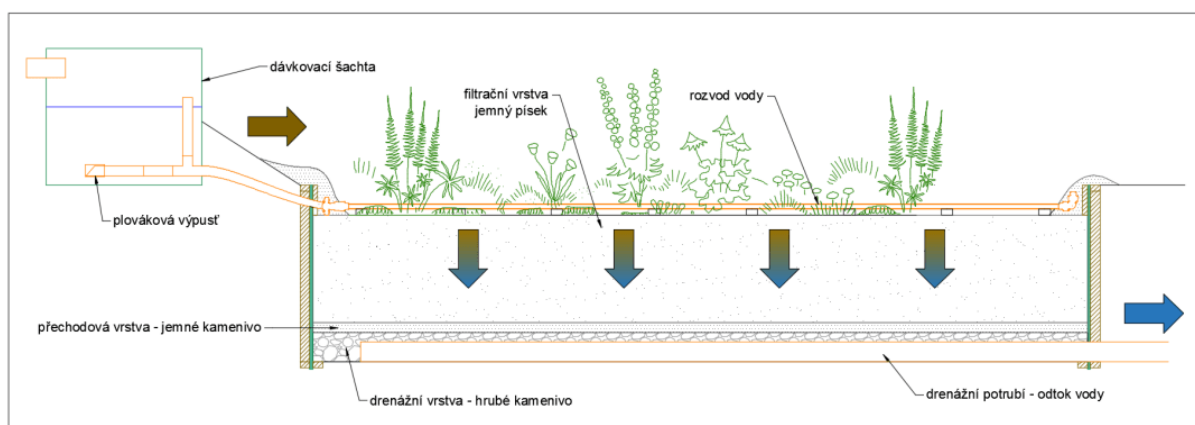
Obr. 2 Uspořádání kombinace KČOV s povrchovým a podpovrchovým průtokem [7]

2.4.1.2 KČOV s horizontálním podpovrchovým průtokem

Tento typ čistíren tvoří těsnící jímka, naplněná filtračním materiálem a osázená mokřadními nebo vlhkomilnými rostlinami. Mechanicky čistěná odpadní voda se rovnoměrně rozděluje po celé šířce filtračního pole, protéká půdním filtrem a je odváděna sběrnou drenáží. Výška hladiny se reguluje speciálním zařízením. [7]

2.4.2 Kořenové čistírny s vertikálním průtokem

Kořenová čistírna s vertikálním průtokem je stavebně obdobná jako kořenová čistírna s horizontálním průtokem, avšak je zde rozdíl v tom, že voda proudí (infiltruje se) z celého povrchu filtračního lože do jeho spodní části, odkud je odváděna drenážním potrubím. Také hloubka filtračního lože je větší většinou 1-1,2 m. Schéma průtoku odpadní vody je na obr. 3. [5,8]



Obr. 3 Schéma KČOV s vertikálním průtokem [5]

Ve filtračním loži není tedy stálá hladina vody. To je důležité pro dobrý přístup vzduchu do vnitřku filtračního lože, který je potřebný pro dobré fungování bakteriálních nárostů (biofilmu). Čistírna tedy pracuje v aerobním režimu a to je velmi důležité pro její zvýšenou účinnost oproti kořenové čistírně s horizontálním průtokem. [5]

Tento typ čistírny nepracuje v kontinuálním režimu, ale v takzvaném pulzním (dávkovém) režimu. To znamená, že odpadní voda v potřebném množství se nejprve shromáždí v nádrži (dávkovací šachtě) a poté se najednou vypustí na celý povrch filtračního lože. To lze zajistit pomocí speciálních zařízení v podobě sifonů, plovákových výpustí apod., které ale potřebují dostatečné převýšení mezi nátokem a odtokem. Pro stejný efekt je možné využít čerpadlo. Voda se dávkuje na filtrační lože v takovém množství, aby mohla zaplavit celé filtrační lože

a aby počet dávek během jednoho dne byl v rozmezí 4-12. Tedy tak, aby před každou následující dávkou voda stihla vždy odtéct a do filtračního pole se opět dostal vzduch. [5]

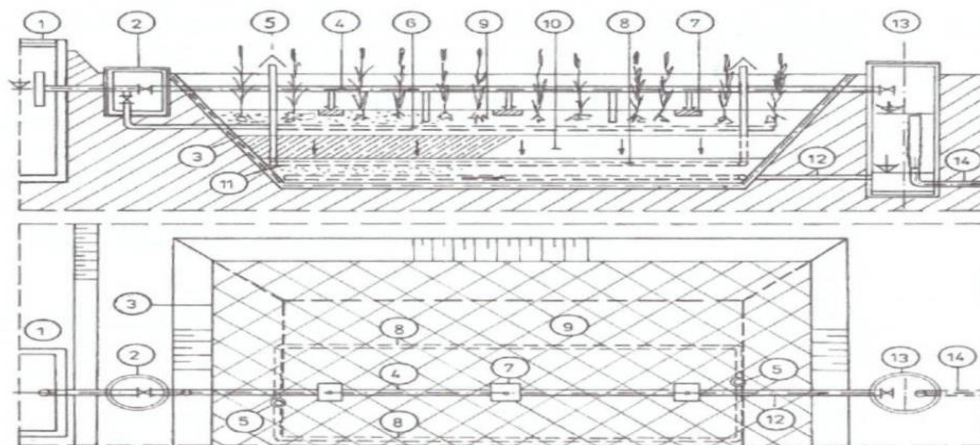
Díky dostatečné saturaci kyslíkem se oproti kořenové čistírně s horizontálním průsakem dosahuje vyšší účinnosti čištění pro organické znečištění a hlavně pro amoniakální dusík, což umožňuje zmenšení plochy čistírny na 3-4m² na EO. Vzhledem k aerobnímu režimu ale čistírna sama o sobě není určena pro snížení celkového dusíku (obdobně jako strojní aktivační čistírny).[5]

Dělení kořenové čistírny odpadních vod s vertikálním prouděním:

- KČOV s vertikálním prouděním směrem dolů
- KČOV s vertikálním prouděním směrem vzhůru

2.4.2.1 KČOV s vertikálním prouděním směrem dolů

U tohoto typu kořenové čistírny se odpadní voda přivádí na povrch nebo mělce pod povrch vegetační čistírny. Jsou zde dvě rozvodná potrubí v různých výškách. V zimním období při teplotách klesajících pod nulu se přivádí voda do rozdělovacího potrubí, které je umístěné v nezámrazné hloubce. Schéma je zobrazeno na obr. 4. [7]



Obr. 64 Schéma VKČ s vertikálním prouděním odpadní vody směrem dolů: 1 – přívod odpadní vody s vyrovnávací nádrží, 2 – armaturní šachtice, 3 – těsnění, 4 – nadzemní rozdělovací potrubí, 5 – větrací šachtice, 6 – podzemní rozdělovací potrubí, 7 – makrofyta, 8 – provzdušovací drén, 9, 11 – filtr, 10 – filtrační prostředí, 12 – odvod odpadní vody, 13 – regulační šachtice, 14 – odpad

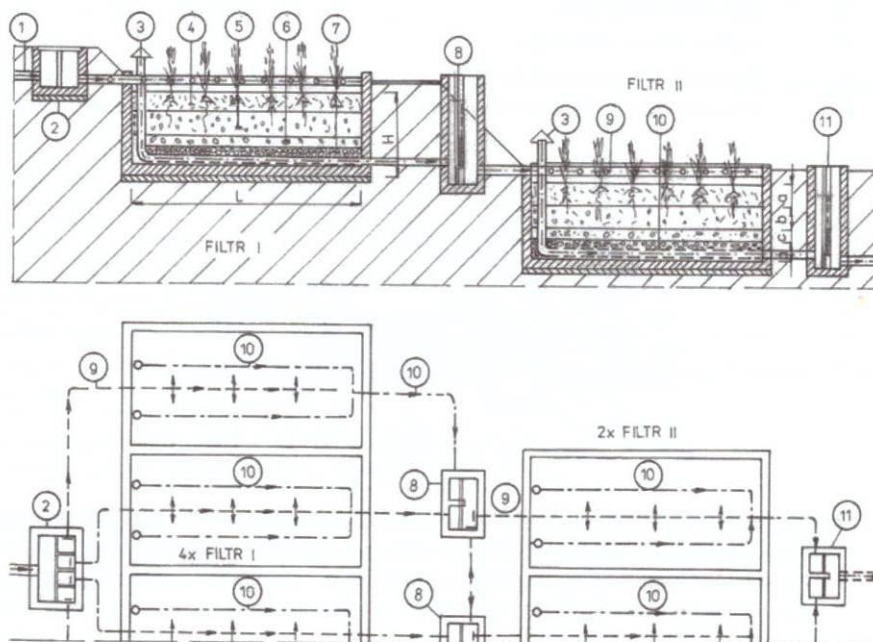
Obr. 4 Schéma KČOV s vertikálním prouděním směrem dolů [7]

Odpadní voda filtrována porézním prostředím je odváděna sběrným drénem, který se nachází na dně těsnící jímky. Jímky se navrhují zemní a těsní se folií, jílovým těsněním, případně se umísťují do speciálních nádrží. V extrémních klimatických podmínkách se vegetační čistírna před zimou zatopí, povrch zátopy se nechá zamrznout a odpadní voda se přivádí pod led. [7]

Kaskádové uspořádání KČOV s vertikálním prouděním směrem dolů (obr. 5)

Z provozního hlediska výhodná uspořádání:

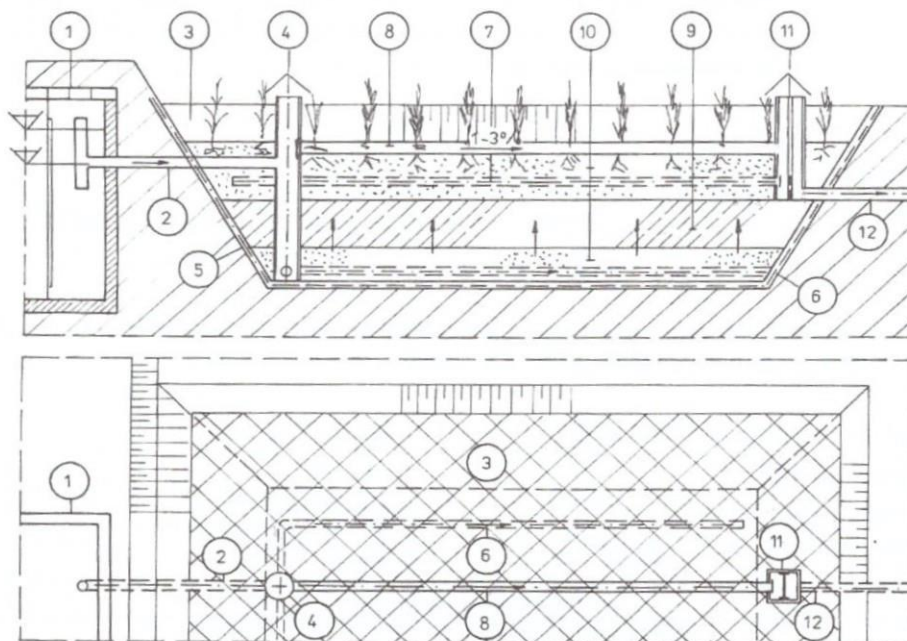
- rozdělit pole do více filtračních sekcí, což umožní jejich střídavý provoz, krátkodobé provzdušnění, a tím i regeneraci filtrační náplně
- pokud to sklon terénu umožní, uspořádat jednotlivá pole vegetační čistírny kaskádovitě
- využít předností impulzního plnění a prázdnění filtračního lože, nebo provzdušňovací přelivy v regulační šachtici [7]



Obr. 67 Kaskádové uspořádání vegetační kořenové čistírny: 1 – přívod odpadní vody, 2 – rozdělovací šachtice, 3 – větrací komínky, 4 – filtrační prostředí, 5 – rostliny, 6 – obrácený filtr, 9 – rozdělovací potrubí pro letní a zimní provoz, 10 – jímací potrubí, 11 – regulační šachtice

Obr. 5 Schéma kaskádové uspořádání KČOV [7]

2.4.2.2 KČOV s vertikálním prouděním směrem vzhůru (obr. 6)



Obr. 65 Schéma vegetační kořenové čistírny s vertikálním prouděním směrem vzhůru: 1 – vyrovnávací nádrž, 2 – přívod odpadní vody, 3 – jímka, 4 – revizní a regulační šachtice, 5 – těsnění, 6 – geotextilie, 8 – sběrný žlábek, 9 – filtrační prostředí, 10 – filtr, 11 – regulační šachtice, 12 – kontrolní šachtice, 13 – odpad

Obr. 6 Schéma KČOV s vertikálním prouděním směrem vzhůru[7]

Odpadní voda se přivádí k těsněnému dnu vegetační čistírny do rozdělovacího potrubí, příp. pod perforované dno, filtruje se přechodovým filtrem a filtračním prostředím směrem vzhůru. Na povrchu přepadá do sběrného žlábků, resp. je odváděna sběrným drénem uloženým pod povrchem, při celoročním provozu v hloubce, kde nedochází k jejímu zamrznutí. Tato hloubka se určí individuálně se zřetelem na půdní druh, množství a teplotu přitékající odpadní vody a vegetační kryt. Tento způsob uspořádání se využívá u zařízení s letním provozem. Při celoročním použití jsou nezbytná opatření na ochranu před zamrznutím vhodným tepelným izolačním krytem, odvodem jímacím potrubím uloženým pod terénem, zatopením filtru a odváděním čištěné odpadní vody z vrstvy pod ledem apod. [7]

Výhody KČOV:

- jsou schopny čistit odpadní vody s nízkou koncentrací organických látek, což je u klasických čistíren problém
- dobře se vyrovnávají s kolísáním množství a kvality odpadní vody
- mohou pracovat přerušovaně, což klasické čistírny nemohou
- vyžadují minimální (ale pravidelnou) údržbu

- nevyžadují elektrickou energii
- mají menší náchylnost k havárii systému
- dobře zapadnou do krajiny a stávají se její součástí, případně mohou plnit i okrasnou funkci

Nevýhody KČOV:

- ve srovnání s klasickými čistírnami jsou náročnější na plochu
- nejsou vhodné pro odstraňování amoniaku a fosforu
- na odtoku se někdy objevuje bílý povlak tvořený elementární sírou, tvořící se oxidací sirovodíku, který může (ale nemusí) vznikat při anaerobních poměrech ve filtračních ložích
- strojní čistírny mají lepší předpoklady pro řízení čistícího procesu, pro analýzu případných problémů a pro aplikaci nápravných opatření [3]

2.5 Látky čištěné na KČOV

KČOV jsou navrhovány a dimenzovány především pro odstranění rozpuštěných organických a nerozpuštěných látek. [3]

Pro lepší následnou představu rozdílu účinnosti odstraňování látek na KČOV a ČOV jsou v tab. 2 uvedeny účinnosti odstraňování látek na 23 KČOV v České republice pro 300-10 000 EO a jedné s kapacitou 428 000 EO z roku 2015, které provozuje Vodárna Plzeň a.s [13].

Tab. 2 Účinnost odstranění látek na klasické ČOV v roce 2015 [13]

účinnost čištění na klasické ČOV			
	23 ČOV	prům. 23 ČOV	prům. 1 ČOV
BSK ₅	94.2-99.5%	98.40%	99.30%
CHSK	81-96.9%	94.20%	96.80%
NL	90.6-98.1%	97%	99%
N-NH ₄	49.5-99.9%	94.70%	97%
N _{celk.}	24.1-89.3%	64.60%	85.90%
P _{celk.}	30.1-82.5%	69.90%	97.90%
kaliformní bakterie	-	-	-
fekální steptokoky	-	-	-

2.5.1 Organické látky

Tyto látky jsou stanovovány jako BSK₅ a CHSK. Jejich odstraňování se dá považovat za velmi efektivní, u BSK₅ 85% a u CHSK 75%. Proces probíhá na filtračním poli jednak aerobně, ale především anaerobně. Rozpuštěný kyslík se nachází pouze v těsné blízkosti podzemních orgánů rostlin, proto převážná většina filtračního pole zůstává anoxická, nebo anaerobní. Účinnost odstraňování organických látek je prakticky nezávislá na ročním období a na koncentraci přítoku. Průměrné povrchové zatížení filtračních polí kořenových čistíren v České republice činí BSK₅ 41,4 kg ha⁻¹ d⁻¹ a CHSK 99 kg ha⁻¹ d⁻¹. [3,6]

2.5.2 Nerozpuštěné látky (NL)

Tyto látky se odstraňují velmi efektivně filtrací a sedimentací ve filtračním loži. Účinnost odstranění NL dosahuje 85%. Většina NL se zachycuje na začátku filtračního pole, což může vést při nedokonalém předčištění k ucpávání lože a následnému povrchovému odtoku. Na celkový výsledek čištění to nemá vliv, avšak mohou se objevit hygienické problémy (zápach, komáři). [3.6]

Pokud dojde k ucpání, jedná se většinou o úzký pruh, tedy náprava odstraněním postižené části se dá považovat za finančně a časově nenáročnou. Průměrné látkové zatížení filtračních polí KČOV v České republice je 40,5 kg ha⁻¹ d⁻¹. [3]

2.5.3 Fosfor

Fosfor se v KČOV odstraňuje především adsorpcí (zachycení na povrchu) a srážením ve filtračním poli, případně absorpcí (zachycení dovnitř) rostlinami a následná sklizeň nadzemní biomasy. Účinnost odstraňování dosahuje asi pouze 50%, protože materiál ve filtračním poli (kačírek, šterk, drcené kamenivo) má pouze malou sorpční kapacitu. [6]

Zlepšení sorpční kapacity se provádí přidáním např. kalcitu, který se vyznačuje vysokou sorpční schopností. Další možnosti jsou zeolit, apatit a různé druhy odpadního materiálu jako je struska z vysokých pecí. Jelikož u nás u čistíren do 2000 EO neexistují limity pro koncentrace fosforu na výtok z KČOV, nejsou zatím tyto materiály využívány. V zemích (Norsko, Estonsko nebo Portugalsko), kde jsou přísné limity pro vypouštění fosforu jako

filtrační materiál, se používá termicky expandovaný jííl, čímž dosahují až 95% odstranění fosforu. Sorpční kapacita všech materiálů je však limitována, po čase musí být tedy náplň filtračního lože vyměněna. Navíc cena těchto filtračních materiálů je výrazně vyšší než u běžně používaných. [3,4]

Fosfor zadrženy v nadzemních částech rostlin tvoří většinou jen malou část (<5%) z odstraněného množství. Z tohoto důvodu se považuje sklizení biomasy za účelem odstranění fosforu a dusíku za neefektivní při čištění splaškových odpadních vod. Průměrné látkové zatížení je 3,2 kg ha⁻¹ d⁻¹. [3]

2.5.4 Dusík

Další velmi problematický na odstranění se považuje dusík, celkové odstranění dusíku nepřesahuje 50% a eliminace amoniakálního dusíku se nejčastěji pohybuje jen mezi 20-40%. Za hlavní příčinu je považován nedostatek kyslíku ve filtračním loži. Ten omezuje oxidaci amoniaku (nitrifikace), který je ve velké míře obsažen ve splaškových vodách. Navíc organicky vázaný dusík se přeměňuje na amoniak, čímž se koncentrace amoniaku zvyšuje. Nitrifikace amoniaku probíhá v nejtěsnějším okolí kořenů, neboť v jejich blízkosti uniká kyslík. Vzniklé dusičnany jsou přeměňovány na plynné formy dusíku, které unikají do atmosféry. Pro zvýšení obsahu kyslíku se využívá například KČOV s kaskádovitým uspořádáním, což umožní větší provzdušnění a tím i lepší odstranění dusíku. Průměrné zatížení filtračních polí v České republice je 22,4 kg ha⁻¹ d⁻¹. [3]

2.5.5 Bakteriální znečištění

Mikrobiální čištění v KČOV probíhá velmi efektivně kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů. Nejvíce se uplatňuje přirozený úhyn, oxidace, působení antibakteriálních látek vylučovaných z kořenů mokřadních rostlin, predace a sedimentace. Ve většině KČOV se odstranění koliformních a termotolerantních koliformních bakterií >99% při čištění domovních a městských splaškových vod, redukce fekálních streptokoků je většinou >95%. [3]

2.5.6 Těžké kovy

Těžké kovy nepředstavují výrazný problém v odpadních vodách z malých sídel. Eliminace těžkých kovů v průměru dosahuje 80%, ale kolísá podle jednotlivých kovů. Největší část asi 90% se zadržuje v sedimentech a asi 10% se zachytí v nadzemní biomase. V listech a stoncích mokřadních rostlin jsou koncentrace oproti přirozeným lokalitám jen málo zvýšené.[3]

V aerobních podmínkách dochází k oxidaci železa a současně se sráží i ostatní kovy. V anaerobních se stává železo rozpustným za současného uvolňování dalších kovů. Může docházet k reakcím se sirovodíkem, který vzniká redukcí síranů za silně redukčních podmínek ve filtračním loži. Vzniklé sírany se ukládají ve filtračním loži, plynný sirovodík může unikát, což se projevuje nepříjemným zápachem. [3]

V poslední době ve světě velmi probíraným tématem představují zbytky léčiv v odpadních vodách. Klasické čistírny s jejich odstraňováním mají velké problémy. Podle nejnovějších výzkumů si právě kořenové čistírny odpadních vod poradí i se zbytky léků a hormonů. Výzkum v odstraňování zbytků léčiv v odpadních vodách ukázal, že takto znečištěné odpadní vody mohou představovat středně vysoké riziko pro živé organismy, a pokud by znečištění dosahovalo vysokých hodnot, může mít za následky trvalé toxické účinky. [14]

Vzhledem k různým chemickým a fyzikálním vlastnostem zbytků léčiv a různých provozních podmínek se výzkum v KČOV provádí pro omezený počet léčiv. Největší riziko pro oblasti životního prostředí představují tyto léčiva:

- Antibiotika
- Psychofarmaka (Diazepam)
- Analgetika
- Léky protizánětlivé (Ibuprofen)
- Regulátory lipidů [14]

Výzkumy z celého světa naznačují, že koncentrace v komunálních vodách se výrazně liší, tím se liší i účinnost čištění. Velmi dobrých výsledků dosahují kořenové čistírny v odstraňování hormonální antikoncepce. Dle výzkumů z roku 2014 byly sledovány látky estrogen, estriol, 17 β -estradiol, 17 α -ethinylestradiol, progesteron a testosteron. Všechny hodnocené sloučeniny byly pravidelně nalezeny na přítoku a na odtoku byly již neměřitelné kromě jednoho případu.

Umělé mokřady jsou vhodné pro efektivní odstranění hormonů. Nicméně stále je potřeba dalších výzkumů. [14]

2.7 Účinnost čištění

Kvalita vody vypouštěná s čistíren do vodotečí je limitována nařízením vlády č. 401/2015 Sb. (tab. 2-5). Toto nařízení udává nejvyšší přípustné koncentrace jednotlivých parametrů na odtoku. [8]

Kořenové čistírny jsou většinou dimenzovány tak, aby odstranily dostatečné množství organických látek (BSK₅, CHSK) a nerozpuštěných látek, což jsou parametry, které jsou limitovány ve velikostní kategorii čistíren do 500 EO. V tab. 6 jsou shrnuty roční průměry výsledků KČOV v České republice v období 1989-2010. [8]

Tab. 2 Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) Hodnoty „p“ mohou být překročeny v míře dané tímto Nařízením, hodnoty „m“ jsou nepřekročitelné. Tabulka je platná pro městské odpadní vody pro vypouštění do vod povrchových.

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m
< 500 EO	150	220	40	80	50	80		
500 – 2000 EO	125	180	30	60	40	70	20	40

Tab. 3 Emisní standardy: přípustná minimální účinnost vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v % (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.)

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺
< 500 EO	70	80	
500 – 2000 EO	70	80	50

Tab. 4 Přepočítání emisních standardů „p“ pro ukazatele BSK₅, CHSK a NL na roční průměry v mg/l (Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí ze dne 15.2. 2012)

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL
< 500 EO	105	23	28
500 – 2000 EO	88	17	23

Tab. 5 Dosažitelné hodnoty koncentrací (mg/l) pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie (BAT) v oblasti zneškodňování městských odpadních vod

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m
< 500 EO	110	170	30	50	40	60		
500 – 2000 EO	75	140	22	30	25	30	12	20

Tab. 6 Účinnost čištění odpadních vod v kořenových čistírnách v České republice za období 1989-2010. [8]

Parametr	Počet KČOV*	Koncentrace (mg.l ⁻¹)		Účinnost (%)**
		Přítok	Odtok	
BSK ₅	505 (78)	163	13,7	85,3
CHSK _{Cr}	478 (46)	355	51	75,3
NL	489 (75)	180	11,6	82,8
Celk. P	288 (58)	6,5	3,56	36,7
Celk. N	66 (23)	52,1	25,6	44,5
N-NH ₄ ⁺	339 (56)	30,1	17,4	34,2

*První číslo je počet ročních průměrů, číslo v závorce je počet kořenových čistíren.

**Průměrná účinnost jednotlivých čistíren.

Při porovnání výsledků z tab. 6 s limitními hodnotami, které jsou v tab. 2-5 vidíme, že průměrné koncentrace na odtoku z KČOV jsou nižší než limity dané vládním nařízením s výjimkou odstranění amoniakálního dusíku vyjádřeného v % (tab. 3). [8]

2.8 Provoz a údržba

Největší výhodou oproti klasickým čistírnám odpadních vod je nulová potřeba elektrické energie a žádné mechanické součásti, které by se mohly opotřebovat. Ovšem je zde nutná pravidelná kontrola, regulace výšky vodní hladiny a rozdělení nátoky odpadní vody. K regulaci hladiny se osvědčily regulační šachtové přelivy, které tvoří výškově nastavitelné flexibilní hadice zavěšené na nosné konstrukci a spodní část připojená na výpustné potrubí (obr. 7). Průměr hadic se stanovuje hydraulicky, případně odhadem na základě předchozích zkušeností. [3, 9]



Obr. 7 KČOV ve Spáleném Poříčí – flexibilní hadice na regulaci hladiny ve filtračním loži

Jedenkrát do roka je nutné posbírat nebo posekat suché části rostlin, nejlépe na konci zimního období, 1x za dva až pět let propláchnout tlakovou vodou potrubí (sběrné i rozdělovací), pravidelné vyvážení septiku nebo šterbinové nádrže v závislosti na jejich zanášení, čistit česle, lapáky písku a šterku, pokud jsou zařazeny do předčištění. [3, 10]

Většina KČOV funguje 20 let i více bez větších problémů. Pokud dojde k ucpání filtračního lože (kolmataci), jeho část se odtěží a nahradí se čistým šterkem. Většinou není problém s nadlimitním obsahem těžkých kovů a jiných polutantů, pokud není v KČOV čištěna voda z továren. Tento problém u obecních a domovních kořenových čistíren nebývá. [12]

2.9 Investiční a provozní náklady

V době, kdy se u nás začaly budovat KČOV byly investiční náklady asi 2-5x nižší než náklady na klasické čistírny. V současnosti se pohybují přibližně na stejné úrovni, ale KČOV mají specifické požadavky. Například pokud se stavba provádí na nevhodném místě (nedostatek vhodného filtračního materiálu, špatný přístup pro stavební techniku), projeví se to na ceně stavby. Na druhou stranu lze cenu snížit při volbě terénu s dostatečně nízkou propustností, kde se nemusí použít plastové folie. Stavba KČOV se odvíjí dle místních podmínek a dostupnosti stavebního materiálu, proto nelze jednoznačně určit přesnou cenu její výstavby. [3]

Z dostupných údajů lze konstatovat, že cena KČOV se pohybuje v rozmezí od 4 do 46 tisíc Kč na připojeného obyvatele. Průměr vychází na 17 272 Kč, medián 12 628 Kč. Pro domovní čistírny lze očekávat cenu vyšší, naopak pro obce nižší. [3, 11]

Náklady na předčištění jsou asi 25%, filtrační pole 60% a ostatní (šachty, rozvody) 15% z celkového nákladu na stavbu. 60% nákladů na filtrační pole tvoří 40% cena a doprava filtračního materiálu, cena a doprava folií 10%, zemní práce 5% a výsadba rostlin 5%. [3,11]

Jako příklad provozních nákladů kořenové čistírny může sloužit KČOV Spálené Poříčí, kde jsou k dispozici přesná data. Provozní náklady zahrnují úklid nadzemní biomasy 1x ročně, 2 hodiny denní údržby jednoho pracovníka a 2x ročně odvoz fekálních vozů kalu ze šterbinové nádrže. Mimo tyto náklady musí město zaplatit i rozbory vody, ochranné pomůcky pro obsluhu atd. Při velikosti ČOV 700EO činily v roce 2002 provozní náklady 131 Kč/EO za rok. Pro srovnání, jen náklady na elektrickou energii pro stejně velké klasické čistírny se

pohybují v rozmezí 100-300 Kč/EO za rok podle typu čistírny. Provozní náklady dle průzkumů v roce 2008 jsou 385 Kč/EO rok. [3, 11]

2.10 Stav kořenových čistíren v České republice

První kořenová čistírna byla uvedena do provozu v roce 1989, do konce roku 1991 další čtyři. Tehdejší vodohospodářské orgány nedoporučovaly další rozvoj. Po změně postojů bylo v letech 1992-1993 uvedeno do provozu 22 KČOV. [3]

Podle průzkumu z roku 2003 se nacházelo v České republice min. 155 KČOV a v roce 2004 160 KČOV, dnes je počet 280 KČOV, čímž se řadíme mezi státy s největším počtem kořenových čistíren. Nejsou ovšem započtené malé domovní KČOV, které se hlavně v tomto stolení rozšířily. Největší počet kořenových čistíren můžeme nalézt v Německu, a to především Dolní Sasko, Porýní-Vestfálsko a Bavorsko. Dalšími zeměmi s vysokým počtem KČOV jsou Rakousko, Velká Británie, Dánsko, Itálie a Polsko. V zemích s chladnějším klimatem je to Norsko a Estonsko.[3]

Největší KČOV u nás nalezneme ve Spáleném Poříčí (1500EO), kde první část pro 700EO byla uvedena do provozu v roce 1992 a druhá polovina pro 800EO o deset let později. Další velké KČOV máme v Osové Bítýšce (1000EO), Čisté u Rakovníka (800EO) a Obecnici u Příbrami (800EO). [3]

3. Sledované kořenové čistírny odpadních vod

3.1 KČOV ve Spáleném Poříčí

KČOV ve Spáleném Poříčí byla uvedena do provozu v listopadu 1992 jako třetí zařízení v České republice. Jedná se o největší kořenovou čistírnu u nás. Výhodnou pro obyvatele Spáleného Poříčí jsou nízké náklady na provoz KČOV, které se odrážejí na ceně vodného a stočného, které ve Spáleném Poříčí je 40 Kč, v ČR se pohybuje od 50 do 90 Kč. [15]

3.1.1 Konstruktivní údaje

Její velikost v roce 1992 byla zhruba pro 700 obyvatel. Plocha kořenové čistírny 2500 m² je rozdělena do čtyř polí o rozměrech 25 x 25 m. Jedná se o KČOV s horizontálním průtokem.[16]

Předčištění tvoří lapák písku, ručně stírané česle a štěrbínová nádrž. Jako filtrační materiál byl zvolen prosev kaolinových písků frakce 1-16 mm. Pro přítokové a odtokové zóny bylo použito kamenivo frakce 80 mm. Proti průsaku do podloží je kořenové lože opatřeno hydroizolační fólií PVC 803, kterou chrání z obou stran geotextilie NETEX. Do kořenového lože v pruzích byly vysazeny *Rákos obecný* a *Chrastice rákosovitá*. Po sedmi letech ovšem byla chrastice zcela vytlačena rákosem. Pro zachycení přívalových vod byla vybudována suchá nádrž (poldr) o objemu 420m³, kam je odlehčována voda z česlí. Na části kanalizace, která odváděla odpadní vodu z obce na tuto čistírnu, byly ponechány stávající septiky, a proto koncentrace znečištění na přítoku do čistírny byly velmi nízké. Neboť docházelo k částečnému předčištění již v původních septicích. [8]

V roce 2002 pak byla postavena další část přibližně pro dalších 800 obyvatel. Plocha nové části 2700 m² je rozdělena na dva paralelní filtry. Celková plocha čistírny je tedy v současné době 5200 m² a funguje pro 1500 EO. Jako filtrační materiál pro tuto část byl zvolen šterk o frakci 8-16 mm. Vegetace byla zvolena stejná a osázena kolmo na směr protékání vody. Nová část je připojena za hrubým předčištěním a má vlastní štěrbínovou nádrž. Odtok z filtračního pole je spojen s odtokem ze staré části a je zaústěn do recipientu Bradavy. Po napojení druhé části výrazně stouply vstupní koncentrace, neboť v této části kanalizace nejsou odpadní vody

v septicích. Neboť na této části kanalizace již budované septiky nebyly a odpadní voda je odváděna přímo. [8, 16]

3.1.2 Vyhodnocení v letech 1992 – 2010

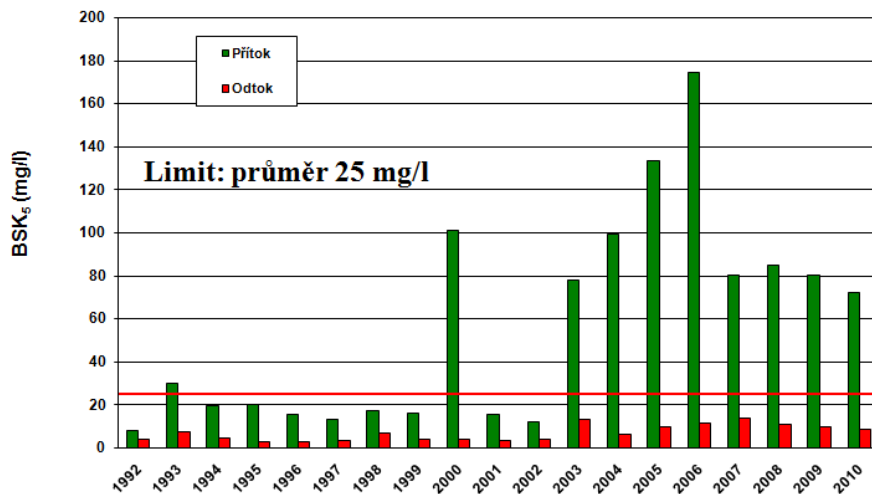
Během 20let provozu, bylo provedeno 647 rozborů kvality odtékající a přitékající vody. Naměřené hodnoty potvrzují výbornou účinnost KČOV a tedy i kvalitu vyčištěné vody viz (tab. 7). [8,11]

Tab. 7 Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Spálené Poříčí. N = počet odebraných vzorků, limity (mg/l), průměr = roční průměr, „m“ – nepřekročitelná koncentrace [8]

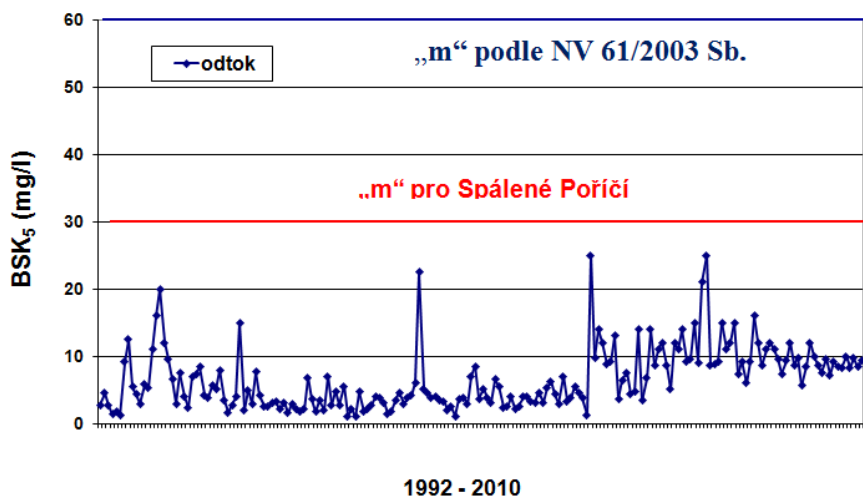
	Období	Přítok	Odtok	N	Limity/překročení	
		Průměr (mg.l ⁻¹)			Průměr	„m“
BSK ₅	1992-2010	48,7	6,6	192	25/0	30/0
CHSK _{Cr}	1993-2010	127	37	136	70/0	120/0
NL	1993-2010	73	7,1	164	20/0	30/2*
N-NH ₄ ⁺	1992-2010	15,2	11,9	155	20/0	30/1**
Celk. P	1993-2010	2,02	1,72	42	--	--

* poslední překročení v roce v lednu 2000 **"m" hodnota platí pouze pro období, kdy je teplota vody >12 °C. Jediné překročení bylo zaznamenáno v říjnu 2007, tj. v období, kdy teplota odpadní vody na odtoku již klesá pod 12 °C.

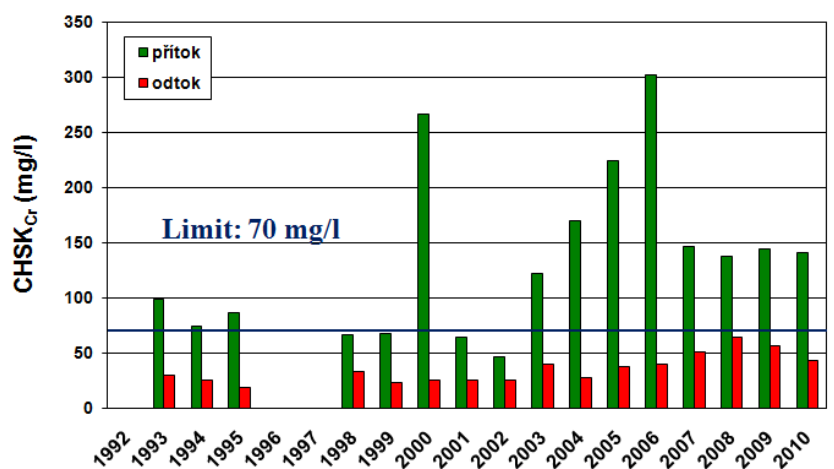
Limity pro průměrné hodnoty koncentrace znečištění nebyly překročeny ani jednou. Maximální koncentrace sledovaných parametrů byly překročeny třikrát, a to dvakrát pro obsah nerozpuštěných látek a jednou na N-NH₄. Tyto limity pro N-NH₄ jsou stanoveny pro období, kdy teplota na odtoku je vyšší než 12°C a překročení došlo v říjnu, kdy je teplota nižší. Nelze tedy tento výsledek považovat za nedodržení limitů pro vypouštění N-NH₄. Grafy 1-8 od Doc. Ing. Vymazala znázorňují průměrné koncentrace na přítoku a odtoku a účinnost odstraňování jednotlivých znečištění. Z grafů je čitelné i zvýšení koncentrací znečištění po roce 2002, kdy byla dostavěna druhá část čistírny a připojilo se více obyvatel. Rozbory pro obsah zbytků léčiv a hormonů nebyly prováděny. [11,15]



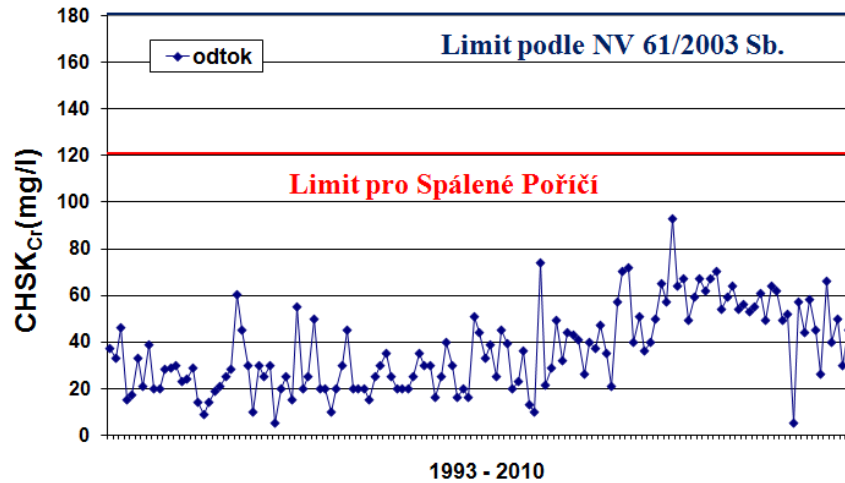
Graf 1 Průměrné hodnoty koncentrace BSK₅ na přítoku a odtoku v letech 1992-2010 [11]



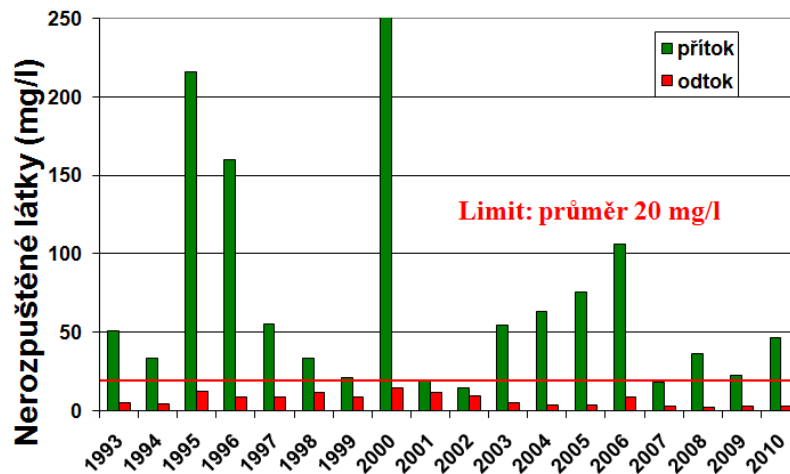
Graf 2 Průběh koncentrace BSK₅ na odtoku v letech 1992-2010[11]



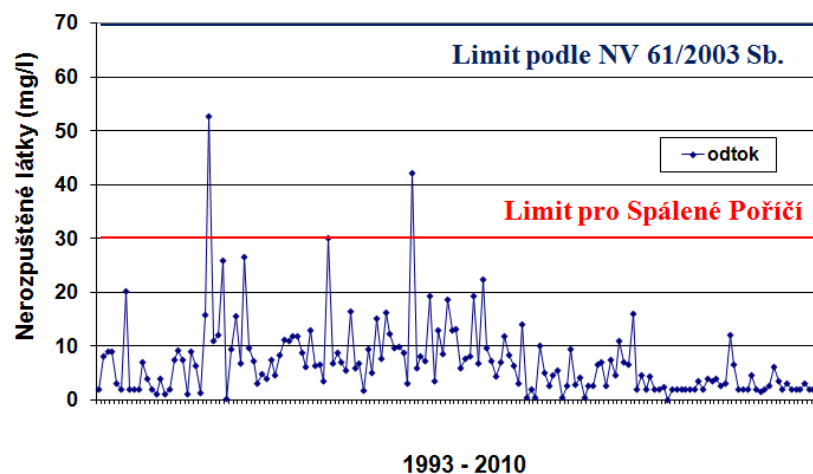
Graf 3 Průměrné hodnoty koncentrace CHSK na přítoku a odtoku v letech 1992-2010[11]



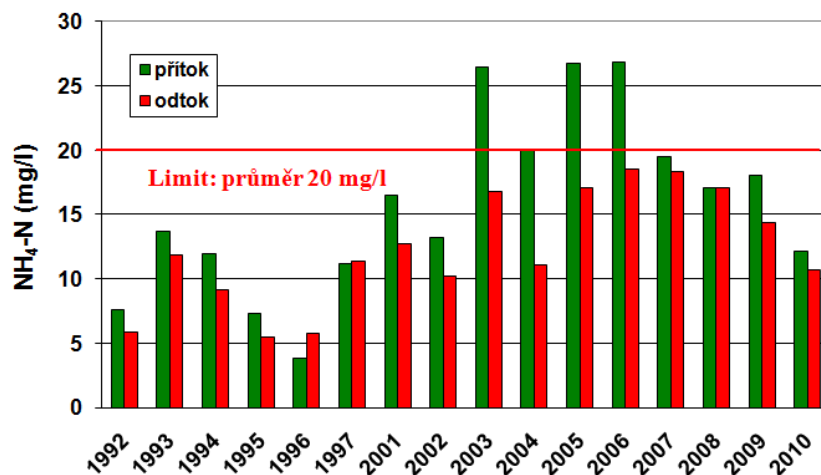
Graf 4 Průběh koncentrace CHSK_{5na} na odtoku v letech 1992-2010 [11]



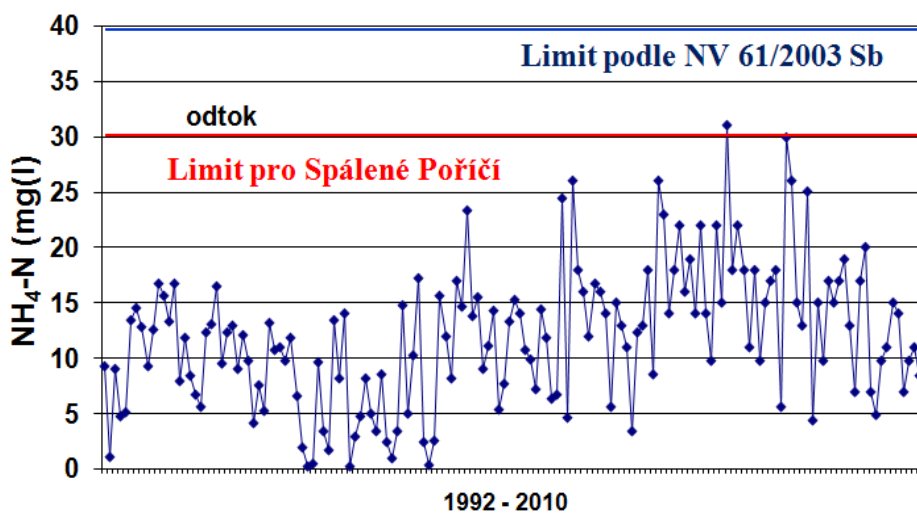
Graf 5 Průměrné hodnoty koncentrace NL na přítoku a odtoku v letech 1992-2010 [11]



Graf 6 Průběh koncentrace NL na odtoku v letech 1992-2010 [11]



Graf 7 Průměrné hodnoty koncentrace N-NH₄ na přítoku a odtoku v letech 1992-2010 [11]



Graf 8 Průběh koncentrace N-NH₄ na odtoku v letech 1992-2010 [11]

Na filtračních polích se již několik let objevuje na části z roku 2002 povrchový odtok (obr. 8), ale na účinnost čistírny to prakticky nemá žádný vliv. Povrchový odtok se objevuje, pokud materiál ve filtračním loži již neumožňuje průtok skrz. V extrémních případech, pak voda protéká povrchovým odtokem a nedochází k čištění. Důležité je, v jak velkém rozsahu k tomuto jevu dochází. Buď postačí odstranění části filtrační náplně, nebo musí být zcela vyměněna. Jelikož životnost filtračních náplní je 20-30 let, příčinou částečného povrchového odtoku bude v tomto případě, pravděpodobně fakt, že bude brzy vyčerpána sorpční kapacita filtračního materiálu. Průměrný přítok na čistírnu v letech 1993-2010 činil 212 m³/den, což představuje hydraulické zatížení 7,1 cm/den. [8,17]



Obr. 8 KČOV ve Spáleném Poříčí-povrchový odtok

3.1.3 Rekonstrukce současného stavu

V současné době je problémem zanedbaná pravidelná údržba česlí, což má za následek vzdouvání hladiny na přítoku a přepad vody na obtoku i v době, kdy nejsou srážky. Oddělená voda odtéká do poldru (obr. 9), který v současné době plní funkci jakési fakultativně anaerobní nádrže s těžko definovatelným účinkem. [8]



Obr. 9 KČOV ve Spáleném Poříčí-poldr

V roce 2012 byla zpracována studie proveditelnosti se třemi variantami úprav a dostaveb pro zlepšení funkce a intenzifikaci KČOV. Autoři jsou ing. Jaroslav Kršňák a ing. Michal Douša. Bylo zvoleno jako nejvhodnější postupné přebudování současné čistírny na tzv. II. generaci

kořenových čistíren. To znamená KČOV s horizontálním → vertikálním → horizontálním podpovrchovým průtokem odpadní vody. [17]

Při rekonstrukcích starších čistíren je kladen důraz hlavně na kvalitní mechanické předčištění (lapáky písku, ručně stírané česle a štěrbínové nádrže). Dále je nutné na jednotných kanalizacích zdokonalit funkci dešťových odlehčovacích objektů. Následně místo klasického uspořádání KČOV s horizontálního podpovrchovým průtokem. Dochází ke spojení výhod horizontálně a vertikálně protékaných systémů, což je umožněno kaskádovitým uspořádáním filtračních polí s různým směrem průtoku odpadní vody. Jako první jsou umístěny HFK1 (horizontálně podpovrchově protékaný kořenový filtr), jehož funkce spočívá v kvalitním mechanicko-biologickém předčištění. Následuje impulsní plnění do VKF (vertikálně podpovrchově protékaný kořenový filtr), kde dojde hlavně ke kvalitní nitrifikace (odstranění NH_4) a adsorpci tenzidů a dalších zatím nesledovaných látek. Následný průtok přes HFK2 zajistí kvalitní denitrifikaci (odstranění NO_2 a NO_3). Struskový objekt, který je umístěn uvnitř nebo na konci filtru, odstraní zbytkové množství fosforu. [17]

Takto řešená KČOV umožňuje snížení nároku na plochu na 3-4 m^2 na EO. Současně na této čistírně dochází k odbourávání některých druhů léčiv, hormonální antikoncepce, bakterie *Estecherie coli* atd. Pokud nedochází k dostatečným aerobním procesům na KČOV, není problém je doplnit umělou aerací s regulací jako u klasických čistíren. Nepředpokládá se, že by bylo výhodnější vybudování nové klasické aktivační čistírny místo kvalitní rekonstrukce stávající KČOV. Následně jsou uvedeny zjednodušeně tři možné varianty ze studie proveditelnosti z roku 2012 pro představu, jak se v budoucnu KČOV ve Spáleném Poříčí změní.[17]

I. Varianta úpravy

Kapacita je uvažována pro 1250 EO se zvýšeným odbouráním amoniakálního dusíku a fosforu. [17]

Stavební úprava dešťového odlehčení, umístěného před samotnou KČOV, zahrnuje výstavbu nové odlehčovací komory, která bude doplněna plovákovým regulátorem. Na odlehčovací trase bude vybudována vyrovnávací usazovací nádrž s regulovaným odtokem. Ze stávajícího poldru budou po vytěžení sedimentu, vytvořeny kalové a kompostovací pole.[17]

Úprava mechanického předčištění spočívá v nastavení nového regulátoru na max. průtočné množství 5l/s a dále budou upraveny štěrbínové nádrže a k úpravě rozvodného potrubí. [17]

Součástí úpravy kořenových filtrů bude výměna a úprava obslužných šachet. Stávající filtry z roku 2001 budou sloužit jako HKF1. Jejich úprava zahrnuje i výměnu zakolmatované náplně kořenového filtru. Dále bude uloženo nové rozdělovací potrubí. Oba VKF budou vybudovány na filtrech z roku 1992. Odpadní voda bude dopravována tlakovým potrubím. Čerpací šachta bude vybudována na odtoku z HKF1 a vybavena čerpadly na solární dobíjení a akumulací baterií. Staré kořenové filtry pod novým VKF budou zachovány ve stávající funkci a budou sloužit jako dočasný obtok při stavební úpravě HKF1 a dále pak budou sloužit jako HKF2. Jejich úprava bude znamenat částečnou výměnu náplně filtračního pole. Nová náplň bude provedena z drceného kameniva tříděné strusky, která bude zajišťovat odstranění zbytkového fosforu. [17]

Cenový odhad pořizovacích nákladů této varianty činil v roce 2012 částku 6 700 000 Kč. Provozní náklady 1 Kč/m³. [17]

II. Varianta úpravy

Kapacita je uvažována pro 1750 EO se zvýšeným odbouráním amoniakálního dusíku a fosforu. [17]

Součástí této varianty je i vybudování nové oddílné kanalizace. Tedy nemusí být vybudována odlehčovací komora s plovákovým regulátorem jako v I. variantě. Sedimentační dešťová nádrž může být využita jako další stupeň mechanického předčištění nebo může být zrušena. [17]

Díky oddílné kanalizace budou koncentrace na přítoku nižší než v současné době, nebude tedy nutné po rozšíření zkapacitňovat stávající šterbinovou nádrž. [17]

Nové podpovrchově protékané HKF1 budou umístěny na nových pozemcích o ploše 1800 m². Stávající západní část z roku 2001 bude v novém uspořádání sloužit jako HKF1. Další dva VKF budou vybudovány na níže uložených horizontálních kořenových filtrech z roku 1992. Odpadní vody budou dopravovány tlakovým potrubím. Čerpací šachta bude vybudována na odtoku z HKF1 a opět vybavena čerpadly na solární dobíjení a akumulací baterií. Staré kořenové filtry pod novým VKF budou zachovány se stávající funkčností a budou sloužit jako dočasný obtok při přestavbě. Stávající východní část kořenových filtrů z roku 2001 bude sloužit jako HKF2. Bude provedena částečná výměna náplně z tříděné strusky, která bude zajišťovat odstranění zbytkového množství fosforu. Dále budou nově navržena rozdělovací potrubí. [17]

Cenový odhad pořizovacích nákladů této varianty činil v roce 2012 částku 9 120 000 Kč. Provozní náklady 1 Kč/m³. [17]

III. Varianta úpravy

Tato varianta počítá se zrušením KČOV a nahrazením klasickou aktivační čistírnou. S čímž by byla spojená i nutnost předělání kanalizace. Vzhledem k finanční náročnosti stavby i následného provozu není ve studii více rozebírána.[17]

Cenový odhad pořizovacích nákladů této varianty činil v roce 2012 částku 18 360 000 Kč. Provozní náklady 20-30 Kč/m³. [17]

Prostým cenovým porovnáním je nová stavba aktivační čistírny dražším řešením. Nehledě na nutnost vybudování oddílné kanalizace, což je investice v řádech desítek milion korun. Při využití postupné úpravy stávající KČOV je možné změnu veřejné kanalizace realizovat etapově, dle finančních možností obce. Současně mohou nízké provozní náklady KČOV pomáhat ke splácení půjčky. [17]

Dalším důležitým faktorem je fakt, že se ukazuje schopnost mnohem účinnějšího odbourávání hormonálních látek, které jsou stále ve větších koncentracích v odpadních vodách a začínají být významným rizikem i pro jakost pitné vody, protože běžné aktivační procesy pro odbourání těchto látek jsou nedostatečné.[17]

V současné době ing. Kršňák pracuje na podrobnějším návrhu rekonstrukce čistírny, který má také vést ke zlepšení účinnosti odstraňování amoniakálního dusíku a fosforu.

3.1.4 Vyhodnocení účinnosti KČOV a plnění norem v letech 2008 – 2015

Pro následné vyhodnocování je použita průměrná účinnost KČOV pouze s HKF dle ČSN 75 6402. Pro jednotlivé parametry platí, že průměrná účinnost odstranění je u BSK₅ 65-95%, CHSK 70-90%, NL 85-95%, N-NH₄ 10-15% a P_c 5-25%. [17]

3.1.4.1 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2008

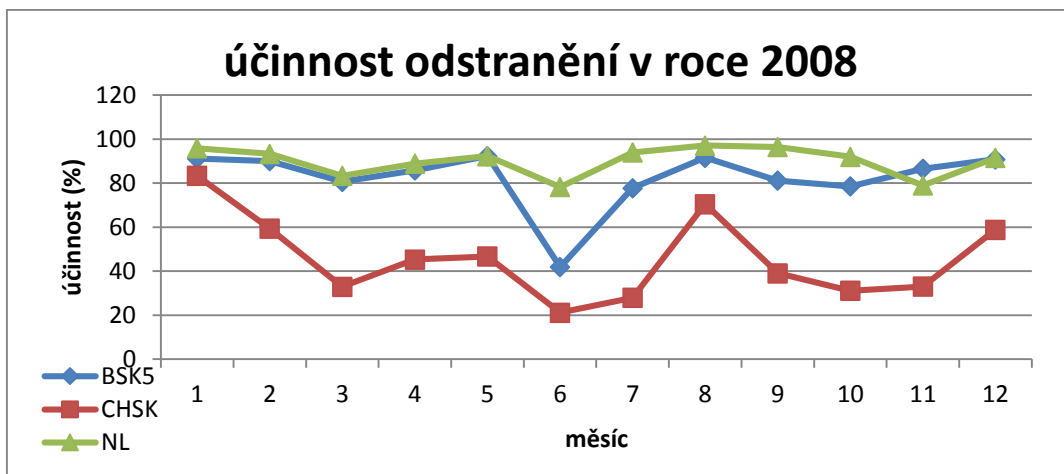
Účinnost odstranění BSK₅ se pohybovala vysoko, a to v rozmezí 77-92%, pouze v červnu klesla na cca 42%. Průměrná účinnost pro BSK₅ byla 82%. Účinnost u parametru CHSK kolísala výrazněji, v rozmezí 20-83% . Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce celkem nízká pouze 46%. Účinnost odstranění NL byla vyrovnaná, pohybovala se mezi 78-97%.

Průměrná účinnost odstranění NL byla vysoká 90%. K největším poklesům účinnosti došlo u všech sledovaných parametrů v červnu.

Možným vlivem na zvýšení koncentrace na odtoku v teplém období je částečné vypaření (evapotranspirace) vody před odtokem a tím zvýšení koncentrace znečištění. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou splněny u NL, CHSK. U těchto hodnot není vliv teploty na průběh čištění výrazný, hlavní je doba zdržení ve filtračním poli, proto jsou hodnoty i v lednu vysoké. Díky ponechané posekané vegetaci a skutečnosti umístění filtračního pole pod úroveň terénu, rozdíl mezi teplotami ve vegetačním a nevegetačním období v kořenovém loži, není tak velký jako rozdílné teploty vzduchu. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 9.

Tab. 8 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2008

rok 2008 (mg/l)											
	BSK ₅	BSK ₅	účín.		CHSK	CHSK	účín.		NL	NL	účín.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	170	15	91.2	1	300	50	83.3	1	58	2.4	95.9
2	110	11	90.0	2	160	65	59.4	2	30	2	93.3
3	62	12	80.6	3	85	57	32.9	3	12	2	83.3
4	106	15	85.8	4	170	93	45.3	4	18	2	88.9
5	95	7.3	92.3	5	120	64	46.7	5	26	2	92.3
6	16	9.3	41.9	6	85	67	21.2	6	9.2	2	78.3
7	27	6	77.8	7	68	49	27.9	7	33	2	93.9
8	110	9.3	91.5	8	200	59	70.5	8	69	2	97.1
9	85	16	81.2	9	110	67	39.1	9	98	3.5	96.4
10	56	12	78.6	10	90	62	31.1	10	25	2	92.0
11	64	8.6	86.6	11	100	67	33.0	11	19	4	78.9
12	120	11	90.8	12	170	70	58.8	12	41	3.5	91.5
prům.	85.08	11.04	82.36	prům.	138.2	64.17	45.77	prům.	36.52	2.45	90.16



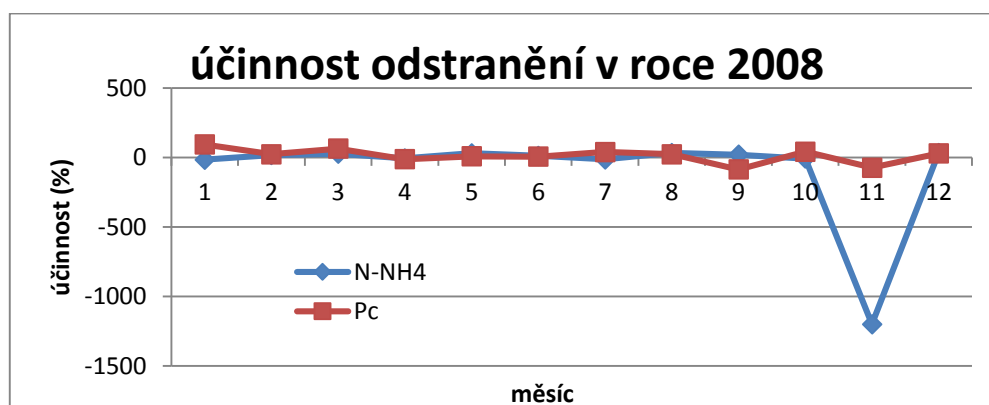
Graf 9 Průběh účinnosti odstranění BSK₅, CHSK a NL v roce 2008

Účinnost odstranění N-NH₄ se pohybovala do srpna od -10% do 40 %, výrazně klesla v listopadu dokonce na -1200%. Tato hodnota je však pravděpodobně ovlivněna chybou v měření nebo při zápisu výsledků. Porovnáním s ostatními hodnotami na přítoku je koncentrace 2mg/l nízká, pravděpodobnější by byla hodnota 20 mg/l. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla -89%, při nezapočtení listopadové hodnoty by byla účinnost 12%. Odstranění amoniakálního znečištění je závislé hlavně na dostatečném přísunu kyslíku pro průběh dalších chemických reakcí. Při těchto reakcích však dochází i ke vzniku amoniaku. Jelikož přísun kyslíku v horizontálně protékaném filtračním poli je prostřednictvím kořenů rostlin, které v zimě tvoří hlavně zateplení filtračního pole. Může docházet i k částečnému zamrznání na povrchu není přísun kyslíku k přeměně amoniaku dostatečný. Vlivem těchto skutečností je účinnost odstranění N-NH₄ nižší.

Účinnost u parametru P_c se pohybovala od 10% do 40%, k extrémům došlo -86% v září a -73% v listopadu. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce byla 13%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou u obou splněny, pokud tedy u N-NH₄ nebude uvažována listopadová hodnota. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 10.

Tab. 9 Naměřené hodnoty koncentrace N-NH₄ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2008

rok 2008 (mg/l)							
	N-NH ₄	N-NH ₄	účin.		P _c	P _c	účin.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	19	22	-15.8	1	0.93	0.06	93.5
2	22	18	18.2	2	0.93	0.71	23.7
3	15	11	26.7	3	1.9	0.69	63.7
4	17	18	-5.9	4	1.6	1.8	-12.5
5	14	9.8	30.0	5	1.2	1.1	8.3
6	17	15	11.8	6	1.5	1.4	6.7
7	15	17	-13.3	7	0.91	0.55	39.6
8	27	18	33.3	8	1.3	1	23.1
9	7	5.6	20.0	9	0.59	1.1	-86.4
10	28	30	-7.1	10	1.3	0.75	42.3
11	2	26	-1200.0	11	2.2	3.8	-72.7
12	22	15	31.8	12	2.4	1.7	29.2
prům.	17.08	17.12	-89.20	prům.	1.40	1.22	13.19



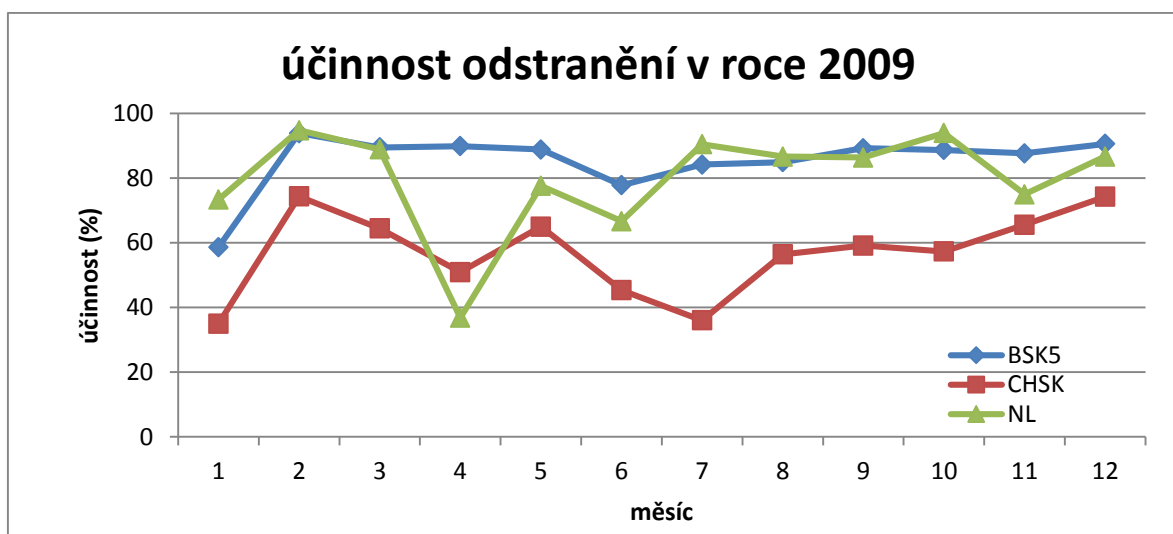
Graf 10 Průběh účinnosti odstranění N-NH₄ a P_c v roce 2008

3.1.4.2 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2009

Účinnost odstranění BSK₅ se pohybovala vysoko a to v rozmezí 84-94%, pouze v lednu klesla na 58% a v červnu na 78%. Průměrná účinnost pro BSK₅ byla 85%. Účinnost u parametru CHSK kolísala výrazněji, v rozmezí 35-75%. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce celkem nízká pouze 55%. Účinnost odstranění NL pohybovala se mezi 73-95% pouze v dubnu klesla na 37% a v červnu na 67%. Vliv na koncentraci nerozpuštěných látek mohly mít přívalové srážky. Průměrná účinnost odstranění NL byla 80%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou splněny u CHSK a NL. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 11.

Tab. 10 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2009

rok 2009 (mg/l)											
	BSK ₅				CHSK				NL		
měsíc	přítok	odtok	účin. %	měsíc	přítok	odtok	účin. %	měsíc	přítok	odtok	účin. %
1	29	12	58.6	1	83	54	34.9	1	15	4	73.3
2	180	11	93.9	2	230	59	74.3	2	48	2.5	94.8
3	91	9.6	89.5	3	180	64	64.4	3	27	3	88.9
4	73	7.4	89.9	4	110	54	50.9	4	19	12	36.8
5	84	9.4	88.8	5	160	56	65.0	5	29	6.5	77.6
6	54	12	77.8	6	97	53	45.4	6	6	2	66.7
7	55	8.7	84.2	7	86	55	36.0	7	21	2	90.5
8	65	9.8	84.9	8	140	61	56.4	8	15	2	86.7
9	53	5.7	89.2	9	120	49	59.2	9	33	4.5	86.4
10	75	8.5	88.7	10	150	64	57.3	10	33	2	93.9
11	97	12	87.6	11	180	62	65.6	11	6	1.5	75.0
12	106	10	90.6	12	190	49	74.2	12	15	2	86.7
prům.	80.17	9.68	85.30	prům.	143.8	56.67	56.98	prům.	22.25	3.67	79.77

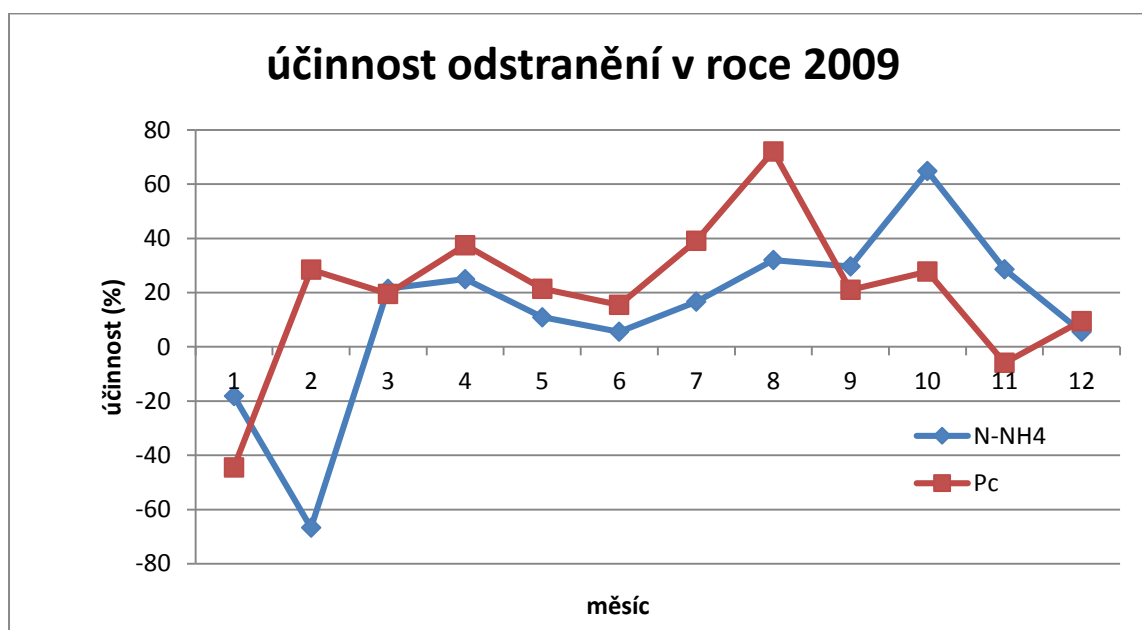


Graf 11 Průběh účinnosti odstranění BSK₅, CHSK a NL v roce 2009

Účinnost odstranění N-NH₄ velmi kolísala převážně mezi 5-30%, výrazně klesla v lednu na -20% a v únoru dokonce na -67%. Výrazně vyšší účinnosti dosáhla v říjnu, a to 65%. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla 13%. Snížení účinnosti odstranění amoniakálního znečištění je opět možný důsledkem nedostatečného provzdušnění. Účinnost u parametru P_c se pohybovala velmi podobně mezi 10-40%. Nejvíce klesla také v lednu, a to na -44%. Výrazně vyšší účinnosti dosáhla v srpnu, a to 72%. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce byla 20%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou u obou splněny. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 11 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 12.

Tab. 11 Naměřené hodnoty koncentrace N-NH₄ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2009

rok 2009 (mg/l)							
	N-NH ₄				P _c		
měsíc	přítok	odtok	účin. %	měsíc	přítok	odtok	účin. %
1	11	13	-18.2	1	1.8	2.6	-44.4
2	15	25	-66.7	2	1.3	0.93	28.5
3	5.6	4.4	21.4	3	0.87	0.7	19.5
4	20	15	25.0	4	1.6	1	37.5
5	11	9.8	10.9	5	1.4	1.1	21.4
6	18	17	5.6	6	1.1	0.93	15.5
7	18	15	16.7	7	2.3	1.4	39.1
8	25	17	32.0	8	2.4	0.67	72.1
9	27	19	29.6	9	1.9	1.5	21.1
10	37	13	64.9	10	0.36	0.26	27.8
11	9.8	7	28.6	11	1.7	1.8	-5.9
12	18	17	5.6	12	2.1	1.9	9.5
prům.	17.95	14.35	12.94	prům.	1.57	1.23	20.14



Graf 12 Průběh účinnosti odstranění N-NH₄ a P_c v roce 2009

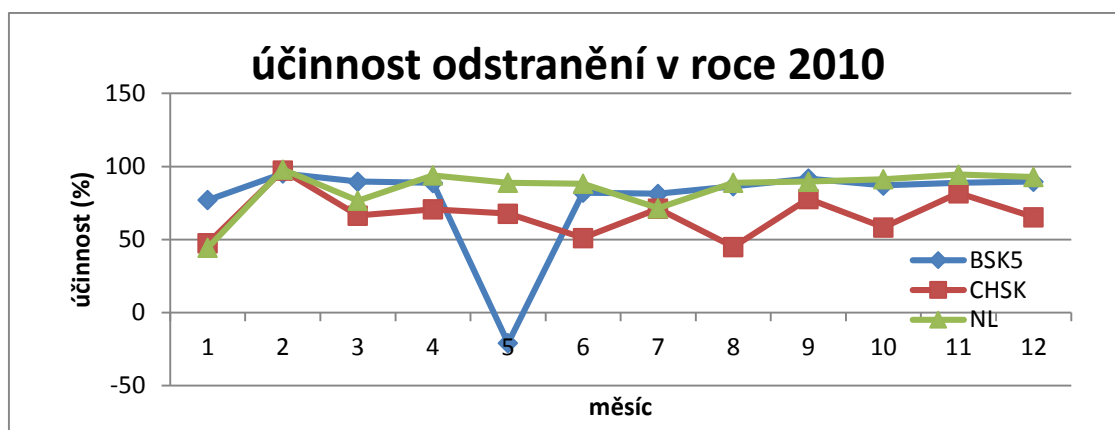
3.1.4.3 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2010

Účinnost odstranění BSK₅ se pohybovala vysoko, a to v rozmezí 77-95%, pouze v květnu klesla na -20%. Průměrná účinnost pro BSK₅ byla 78%. Účinnost u parametru CHSK se pohybovala v rozmezí 45-80%. Vyšší hodnoty dosáhla v únoru, kdy vzrostla k 95%. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce byla 78%. Účinnost odstranění NL byla vyrovnaná, pohybovala se mezi 78-98%. Pouze v lednu klesla ke 44%. Průměrná účinnost odstranění NL byla vysoká 85%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou

splněny pouze u CHSK, i když tentokrát jen těsně. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 12 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 13.

Tab. 12 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2010

rok 2010 (mg/l)											
	BSK5	BSK5	účin.		CHSK	CHSK	účin.		NL	NL	účin.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	38	8.7	77.1	1	99	52	47.5	1	4.5	2.5	44.4
2	160	7.6	95.3	2	190	5	97.4	2	300	6	98.0
3	93	9.6	89.7	3	170	57	66.5	3	15	3.5	76.7
4	64	7.2	88.8	4	150	44	70.7	4	33	2	93.9
5	7.7	9.3	-20.8	5	180	58	67.8	5	27	3	88.9
6	47	8.4	82.1	6	92	45	51.1	6	17	2	88.2
7	44	8.2	81.4	7	90	26	71.1	7	7	2	71.4
8	74	10	86.5	8	120	66	45.0	8	18	2	88.9
9	100	8.3	91.7	9	180	40	77.8	9	29	3	89.7
10	75	9.7	87.1	10	120	50	58.3	10	23	2	91.3
11	75	8.4	88.8	11	165	30	81.8	11	36	2	94.4
12	91	9.4	89.7	12	130	45	65.4	12	49	3.5	92.9
prům.	72.39	8.73	78.10	prům.	140.5	43.17	66.69	prům.	46.54	2.79	84.90



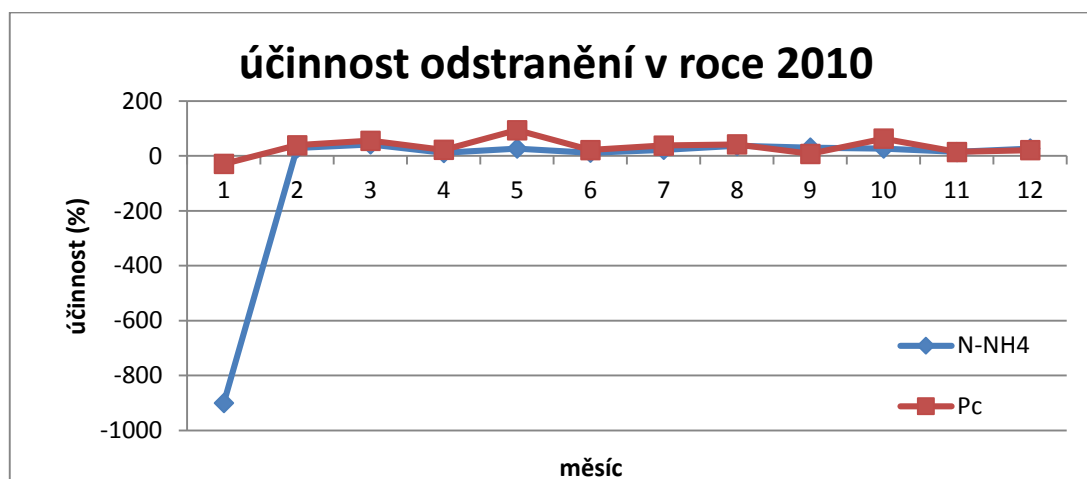
Graf 13 Průběh účinnosti odstranění BSK₅, CHSK a NL v roce 2010

Účinnost odstranění N-NH₄ byla velmi vyrovnaná v rozmezí od 20% do 40%. Pouze v lednu došlo k velmi výraznému skoku na -900%. Tato hodnota je však pravděpodobně ovlivněna chybou v měření nebo při zápisu výsledků. Pokud opět porovnáme koncentraci na přítoku v lednu s dalšími měsíci v roce je 2 mg/l velmi nízká a nepravděpodobná. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla -52%, pokud bychom neuvažovali hodnotu z ledna, byla by účinnost 25%. Účinnost u parametru P_c se pohybovala mezi 10% a 60%. K výkyvům došlo v lednu, kdy klesly k -30% a v květnu, kdy naopak vzrostla k 94%. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce

byla 32%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 byly u obou splněny, dokonce přesahovaly dané rozmezí, pokud tedy neuvažujeme lednovou hodnotu. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 13 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 14.

Tab. 13 Naměřené hodnoty koncentrace N-NH₄ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2010

rok 2010 (mg/l)							
	N-NH ₄	N-NH ₄	účin.		P _c	P _c	účin.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	2	20	-900.0	1	0.85	1.1	-29.4
2	9.8	7	28.6	2	3.1	1.9	38.7
3	8.4	4.9	41.7	3	1.2	0.54	55.0
4	11	9.8	10.9	4	3.2	2.5	21.9
5	15	11	26.7	5	3.1	0.2	93.5
6	17	15	11.8	6	2.8	2.2	21.4
7	18	14	22.2	7	4.5	2.8	37.8
8	11	7	36.4	8	4.3	2.5	41.9
9	14	9.8	30.0	9	2.8	2.6	7.1
10	15	11	26.7	10	1.3	0.48	63.1
11	9.8	8.4	14.3	11	1.4	1.2	14.3
12	15	11	26.7	12	2.4	1.9	20.8
prům.	12.17	10.74	-52.02	prům.	2.58	1.66	32.18



Graf 14 Průběhu účinnosti odstranění N-NH₄ a P_c v roce 2010

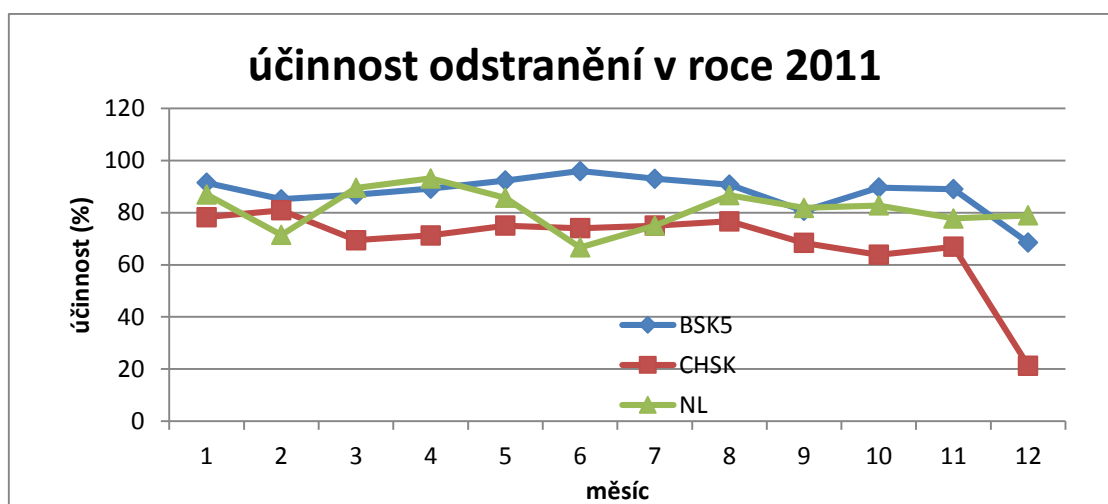
3.1.4.4 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2011

Účinnost odstranění BSK₅ se pohybovala po celý rok vyrovnaně v rozmezí 80-95%, pouze v prosinci klesla na cca 68%. Průměrná účinnost pro BSK₅ byla 88%. Účinnost u parametru CHSK byla také vyrovnaná v rozmezí 63-80%, pouze výrazně klesla v prosinci na 21%. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 68%. Účinnost odstranění NL měla také vyrovnaný průběh, a to 66-93%. Jinak se hodnoty účinnosti pohybovaly 70-98%. Průměrná

hodnota účinnosti pro NL byla 81%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou u CHSK a NL, v obou případech se jedná ale o těsný výsledek. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 14 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 15.

Tab. 14 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2011

rok 2011 (mg/l)											
	BSK ₅	BSK ₅	účín.		CHSK	CHSK	účín.		NL	NL	účín.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	97	8.3	91.4	1	170	37	78.2	1	23	3	87.0
2	39	5.8	85.1	2	110	21	80.9	2	7	2	71.4
3	84	11	86.9	3	180	55	69.4	3	19	2	89.5
4	85	9.2	89.2	4	160	46	71.3	4	29	2	93.1
5	95	7.3	92.3	5	160	40	75.0	5	21	3	85.7
6	88	3.6	95.9	6	150	39	74.0	6	6	2	66.7
7	98	6.9	93.0	7	160	40	75.0	7	16	4	75.0
8	81	7.5	90.7	8	180	42	76.7	8	15	2	86.7
9	32	6.2	80.6	9	98	31	68.4	9	11	2	81.8
10	78	8.1	89.6	10	130	47	63.8	10	29	5	82.8
11	100	11	89.0	11	160	53	66.9	11	9	2	77.8
12	27	8.5	68.5	12	61	48	21.3	12	9.5	2	78.9
prům.	75.33	7.78	87.69	prům.	143.3	41.58	68.41	prům.	16.21	2.58	81.36



Graf 15 Průběh účinnosti odstranění BSK₅, CHSK a NL v roce 2011

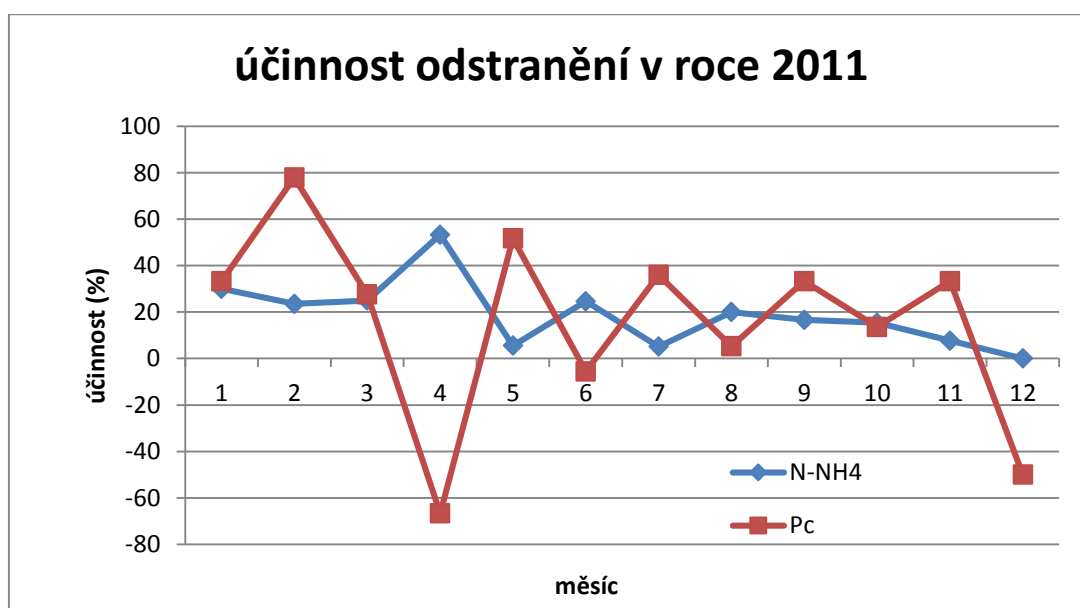
Účinnost odstranění N-NH₄ se pohybovala v rozmezí 0-30%. Výrazně vyšší byla pak v dubnu, kdy dosáhla 53%. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla -8%. Účinnost u parametru P_c se pohybovala mezi -5% a 40%. K výkyvům došlo v dubnu, kdy klesla účinnost na -67% a v prosinci, kdy klesla k -50%. Výrazně vyšší účinnosti dosáhla v únoru, a to k 78%

a v květnu a to k 50%. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce byla 16%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou u obou splněny.

Od tohoto roku dochází ke snižování účinnosti v odstraňování P_c , pravděpodobným důvodem bude naplňování sorpční kapacity filtrační náplně. Fosfor se tedy již nemá možnost navázat a zvyšuje se tedy jeho koncentrace na odtoku. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 15 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 16.

Tab. 15 Naměřené hodnoty koncentrace $N-NH_4$ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2011

rok 2011 (mg/l)							
	N-NH4	N-NH4	účín.		Pc	Pc	účín.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	14	9.8	30.0	1	1.8	1.2	33.3
2	17	13	23.5	2	3.8	0.84	77.9
3	20	15	25.0	3	4.7	3.4	27.7
4	21	9.8	53.3	4	2.1	3.5	-66.7
5	18	17	5.6	5	2.9	1.4	51.7
6	13	9.8	24.6	6	1.8	1.9	-5.6
7	39	37	5.1	7	1.5	0.96	36.0
8	15	12	20.0	8	1.9	1.8	5.3
9	8.4	7	16.7	9	1.8	1.2	33.3
10	13	11	15.4	10	2.2	1.9	13.6
11	9.1	8.4	7.7	11	1.8	1.2	33.3
12	14	14	0.0	12	1.2	1.8	-50.0
prům.	16.79	13.65	18.91	prům.	2.29	1.76	15.83



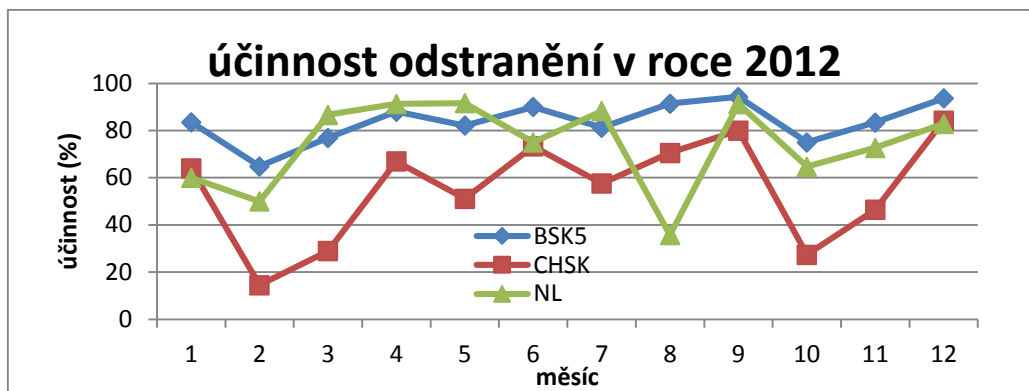
Graf 16 Průběhu účinnosti odstranění $N-NH_4$ a P_c v roce 2011

3.1.4.5 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2012

Účinnost odstranění BSK₅ se pohybovala po celý rok v rozmezí 75-95%, pouze v únoru klesla na 65%. Průměrná účinnost pro BSK₅ byla 84%. Účinnost u parametru CHSK byla rozkolísaná mezi 30-80%, výrazně klesla v únoru na 15%. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce byla 55%. Účinnost odstranění NL se pohybovala mezi 60-90%, pokles nastal v srpnu, a to účinnost klesla na 35%. Což mohlo být vlivem náhlých srážkových událostí, které přinesly více nerozpuštěných látek. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou u CHSK a NL. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 16 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 17.

Tab. 16 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2012

rok 2012 (mg/l)											
	BSK ₅	BSK ₅	účín.		CHSK	CHSK	účín.		NL	NL	účín.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	79	13	83.5	1	150	54	64.0	1	5	2	60.0
2	37	13	64.9	2	62	53	14.5	2	4	2	50.0
3	52	12	76.9	3	83	59	28.9	3	15	2	86.7
4	76	9.1	88.0	4	130	43	66.9	4	23	2	91.3
5	51	9.1	82.2	5	90	44	51.1	5	24	2	91.7
6	110	11	90.0	6	180	48	73.3	6	14	3.5	75.0
7	41	7.7	81.2	7	99	42	57.6	7	17	2	88.2
8	140	12	91.4	8	180	53	70.6	8	28	18	35.7
9	110	6.3	94.3	9	150	30	80.0	9	23	2	91.3
10	56	14	75.0	10	95	69	27.4	10	17	6	64.7
11	55	9.1	83.5	11	84	45	46.4	11	44	12	72.7
12	220	14	93.6	12	430	68	84.2	12	35	6	82.9
prům.	85.58	10.86	83.71	prům.	144.4	50.67	55.41	prům.	20.75	4.96	74.18



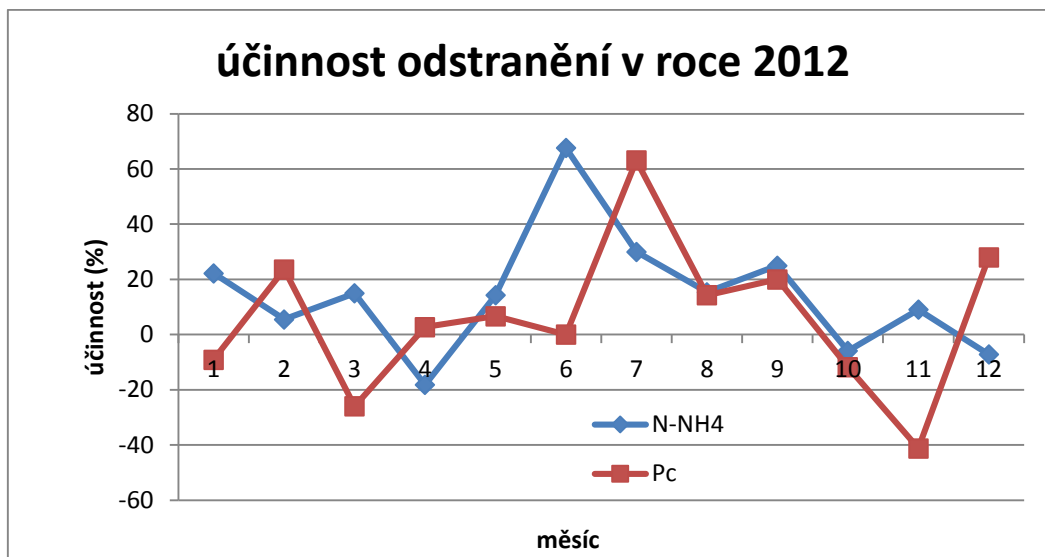
Graf 17 Průběh účinnosti odstranění BSK5, CHSK a NL v roce 2012

Účinnost odstranění N-NH₄ kolísala v rozmezí od -20% do 30%, výrazně vyšší účinnost byla naměřena v červnu, a to 68%. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla 14%. Účinnost u parametru P_c se pohybovala mezi -25% a 25%. K výraznému poklesu došlo v listopadu, kdy klesla k hodnotě -40%, naopak v červenci byla hodnota výrazně vyšší, a to 63%. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce byla 6%.

Nadále se projevuje snižování účinnosti odstraňování fosforu, vlivem životnosti filtrační náplně. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou u obou splněny, ale u fosforu se již pohybujeme na hranici. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 17 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 18.

Tab. 17 Naměřené hodnoty koncentrace N-NH₄ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2012

rok 2012 (mg/l)							
	N-NH ₄	N-NH ₄	účin.		P _c	P _c	účin.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	18	14	22.2	1	1.1	1.2	-9.1
2	18	17	5.6	2	1.1	0.84	23.6
3	20	17	15.0	3	2.7	3.4	-25.9
4	11	13	-18.2	4	3.6	3.5	2.8
5	14	12	14.3	5	1.5	1.4	6.7
6	34	11	67.6	6	1.9	1.9	0.0
7	14	9.8	30.0	7	2.6	0.96	63.1
8	13	11	15.4	8	2.1	1.8	14.3
9	24	18	25.0	9	1.5	1.2	20.0
10	17	18	-5.9	10	1.7	1.9	-11.8
11	22	20	9.1	11	0.85	1.2	-41.2
12	14	15	-7.1	12	2.5	1.8	28.0
prům.	18.25	14.65	14.41	prům.	1.93	1.76	5.87



Graf 18 Průběh účinnosti odstranění N-NH₄ a P_c v roce 2012

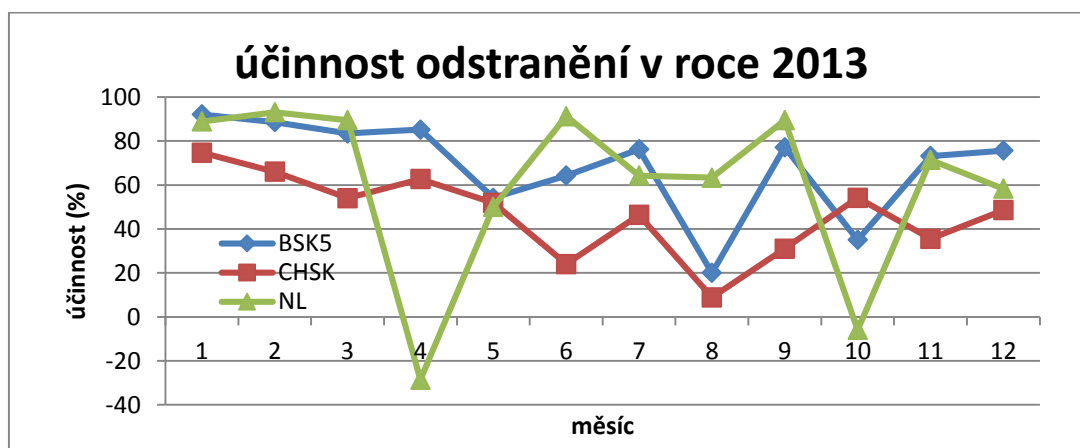
3.1.4.6 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2013

Účinnost odstranění BSK₅ se pohybovala po celý rok v rozmezí 75-95%, pouze v červenci klesla na cca 60%. Průměrná účinnost pro BSK₅ byla 84%. Účinnost u parametru CHSK, která klesla až na 35% v červenci. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 68%. Účinnost odstranění NL měla podobný průběh jako BSK₅, pokles nastal v květnu a v červenci, kdy byla účinnost cca 60%. Jinak se hodnoty účinnosti pohybovaly 70-98%.

K poklesům účinnosti došlo u všech sledovaných parametrů v červenci. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou splněny u CHSK a NL. Možným vlivem může být nedostatečná údržba a stáří objektů mechanického předčištění a rostoucí kolmatace filiačního pole. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 18 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 19.

Tab. 18 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2013

rok 2013 (mg/l)											
	BSK ₅				CHSK				NL		
měsíc	přítok	odtok	účin. %	měsíc	přítok	odtok	účin. %	měsíc	přítok	odtok	účin. %
1	100	7.9	92.1	1	150	38	74.7	1	18	2	88.9
2	105	12	88.6	2	150	51	66.0	2	29	2	93.1
3	53	8.8	83.4	3	87	40	54.0	3	19	2	89.5
4	81	12	85.2	4	150	56	62.7	4	3.5	4.5	-28.6
5	24	11	54.2	5	110	53	51.8	5	11	5.5	50.0
6	42	15	64.3	6	75	57	24.0	6	23	2	91.3
7	63	15	76.2	7	110	59	46.4	7	14	5	64.3
8	15	12	20.0	8	45	41	8.9	8	15	5.5	63.3
9	57	13	77.2	9	100	69	31.0	9	19	2	89.5
10	20	13	35.0	10	85	39	54.1	10	8.5	9	-5.9
11	41	11	73.2	11	76	49	35.5	11	7	2	71.4
12	30	7.3	75.7	12	68	35	48.5	12	4.8	2	58.3
prům.	52.58	11.50	68.74	prům.	100.5	48.92	46.47	prům.	14.32	3.63	60.43



Graf 19 Průběh účinnosti odstranění BSK₅, CHSK a NL v roce 2013

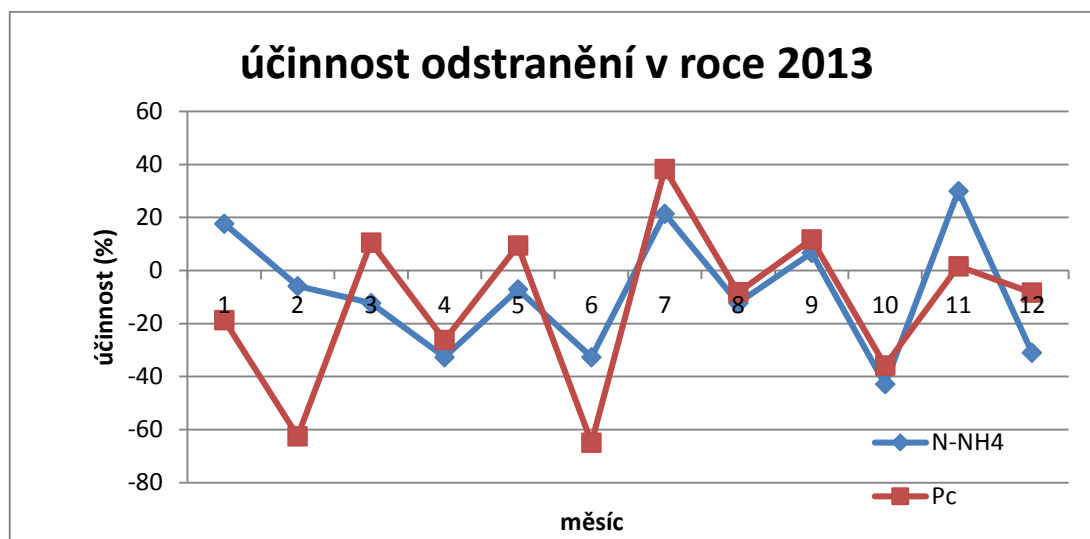
Účinnost odstranění N-NH₄ kolísala v rozmezí od -30% do 20%. K výraznějšímu poklesu došlo v říjnu, a to k -43%. Naopak výrazně lepší výsledek byl v listopadu, a to 30%. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla -8%. Kromě již zmiňovaného zhoršené účinnosti odstranění amoniaku v zimním období, může mít na zhoršené výsledky v červnu vliv evapotranspirace. Vlivem částečného odpaření vody může dojít ke zvýšení koncentrace na odtoku.

Účinnost u parametru P_c se pohybovala mezi -35% a 10%. K výkyvům došlo v únoru a červnu, kdy klesly lehce pod -60%. Vyššího výsledku účinnosti bylo dosaženo v červenci, a to 38%. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce byla -13%. I nadále se u odstranění fosforu

projevuje fakt snižování sorpčních schopností filtračního materiálu. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou u obou splněny. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 19 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 20.

Tab. 19 Naměřené hodnoty koncentrace $N-NH_4$ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2013

rok 2013 (mg/l)							
	N-NH4	N-NH4	účín.		Pc	Pc	účín.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	17	14	17.6	1	1.6	1.9	-18.8
2	17	18	-5.9	2	1.6	2.6	-62.5
3	9.8	11	-12.2	3	1.9	1.7	10.5
4	9.8	13	-32.7	4	0.61	0.77	-26.2
5	14	15	-7.1	5	0.85	0.77	9.4
6	9.8	13	-32.7	6	0.57	0.94	-64.9
7	14	11	21.4	7	4.7	2.9	38.3
8	9.8	11	-12.2	8	0.85	0.92	-8.2
9	15	14	6.7	9	1.7	1.5	11.8
10	9.1	13	-42.9	10	0.81	1.1	-35.8
11	20	14	30.0	11	0.62	0.61	1.6
12	8.4	11	-31.0	12	1.2	1.3	-8.3
prům.	12.81	13.17	-8.41	prům.	1.42	1.42	-12.76



Graf 20 Průběh účinnosti odstranění $N-NH_4$ a P_c v roce 2013

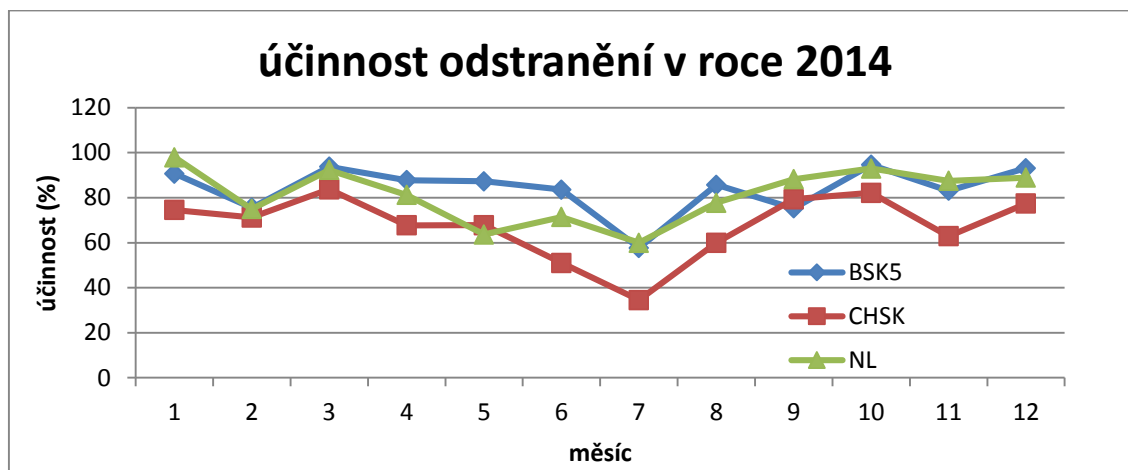
3.1.4.7 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2014

Účinnost odstranění BSK_5 se pohybovala po celý rok v rozmezí 75-95%, pouze v červenci klesla na cca 60%. Průměrná účinnost pro BSK_5 byla 84%. Účinnost u parametru $CHSK$, která klesla až na 35% v červenci. Průměrná účinnost pro $CHSK$ v tomto roce 68%. Účinnost odstranění NL měla podobný průběh jako BSK_5 , pokles nastal v květnu a v červenci, kdy byla

účinnost cca 60%. Jinak se hodnoty účinnosti pohybovaly 70-98%. K poklesům účinnosti došlo u všech sledovaných parametrů v červenci. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou u CHSK a NL, v obou případech se jedná o těsný výsledek. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 20 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 21.

Tab. 20 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2014

rok 2014 (mg/l)											
	BSK ₅	BSK ₅	účin.		CHSK	CHSK	účin.		NL	NL	účin.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	150	14	90.7	1	220	56	74.5	1	96	2	97.9
2	49	12	75.5	2	170	49	71.2	2	8	2	75.0
3	130	8.1	93.8	3	160	26	83.8	3	78	6	92.3
4	82	10	87.8	4	130	42	67.7	4	16	3	81.3
5	110	14	87.3	5	180	58	67.8	5	11	4	63.6
6	73	12	83.6	6	100	49	51.0	6	7	2	71.4
7	26	11	57.7	7	84	55	34.5	7	5	2	60.0
8	77	11	85.7	8	110	44	60.0	8	9	2	77.8
9	36	8.9	75.3	9	140	29	79.3	9	17	2	88.2
10	160	8.6	94.6	10	230	41	82.2	10	57	4	93.0
11	55	9.3	83.1	11	97	36	62.9	11	16	2	87.5
12	160	11	93.1	12	230	52	77.4	12	18	2	88.9
prům.	92.33	10.83	84.01	prům.	154.3	44.75	67.68	prům.	28.17	2.75	81.41



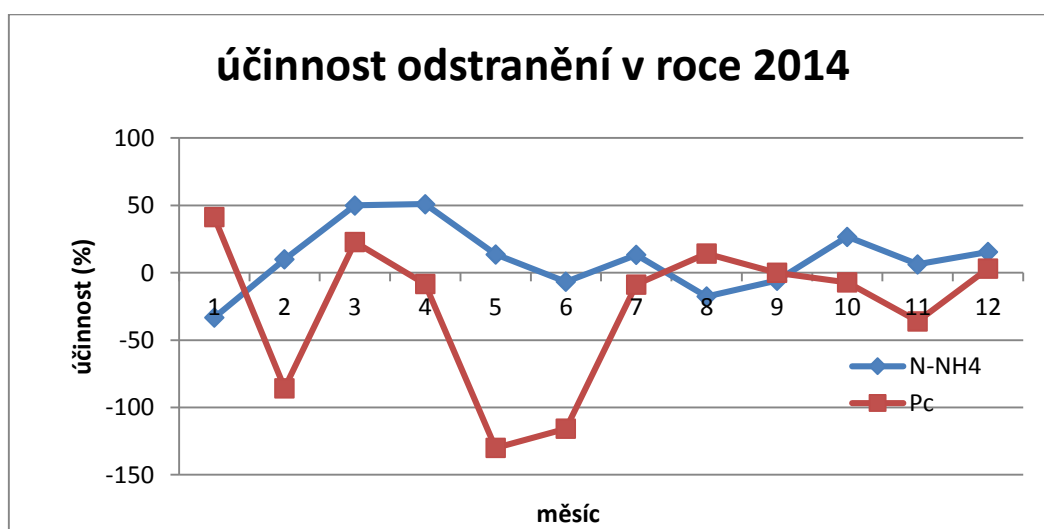
Graf 21 Průběh účinnosti odstranění BSK₅, CHSK a NL v roce 2014

Účinnost odstranění N-NH₄ se pohybovala v rozmezí od -10% do 50%, výrazně klesly v lednu na -33% a v srpnu na -17%. Naopak vyšších hodnot účinnosti dosahovala v březnu a dubnu kolem 50%. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla 10%. Účinnost u parametru P_c klesla výrazně v květnu na -130%, v červnu na -115% a v únoru na 85%. Za vyšší hodnotu by se dal

považovat pouze lednový výsledek cca 40%. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce byla -25%. Nadále se u odstranění fosforu projevuje fakt snižování sorpčních schopností filtračního materiálu. Hodnota pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 je splněna pro amoniakální znečištění, pro fosforu hodnoty opět již nevyhovuje. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 21 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 22.

Tab. 21 Naměřené hodnoty koncentrace $N-NH_4$ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2014

rok 2014 (mg/l)							
	N-NH ₄	N-NH ₄	účín.		P _c	P _c	účín.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	15	20	-33.3	1	2.9	1.7	41.4
2	20	18	10.0	2	2.1	3.9	-85.7
3	34	17	50.0	3	3.5	2.7	22.9
4	51	25	51.0	4	4.8	5.2	-8.3
5	22	19	13.6	5	2	4.6	-130.0
6	15	16	-6.7	6	1.9	4.1	-115.8
7	15	13	13.3	7	2.3	2.5	-8.7
8	17	20	-17.6	8	2.8	2.4	14.3
9	17	18	-5.9	9	1.1	1.1	0.0
10	15	11	26.7	10	1.4	1.5	-7.1
11	16	15	6.3	11	2.5	3.4	-36.0
12	13	11	15.4	12	3.2	3.1	3.1
prům.	20.83	16.92	10.23	prům.	2.54	3.02	-25.84



Graf 22 Průběh účinnosti odstranění $N-NH_4$ a P_c v roce 2014

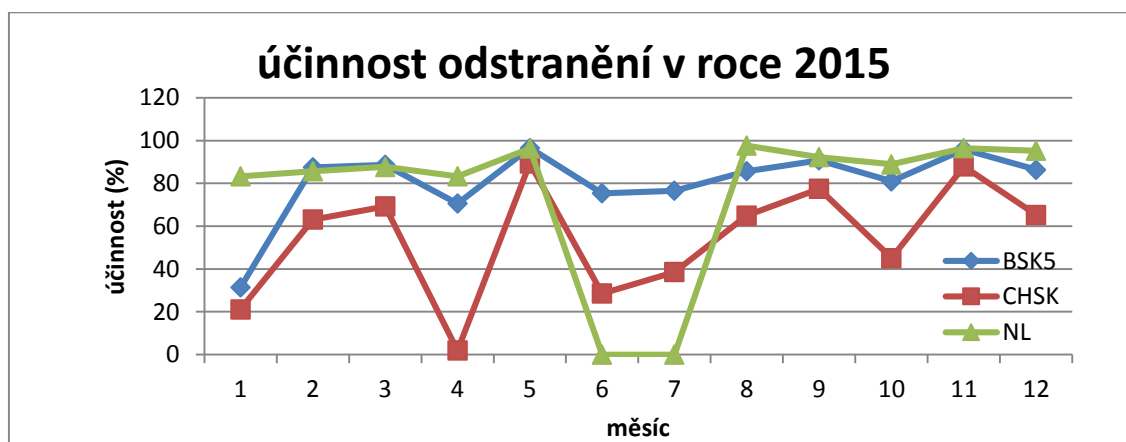
3.1.4.8 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2015

Účinnost odstranění BSK_5 se pohybovala po celý rok v rozmezí 75-95%, pouze v lednu klesla na cca 30%. Průměrná účinnost pro BSK_5 byla 80%. Účinnost u parametru $CHSK$ se výrazně

měníla, v dubnu klesla skoro dokonce na 0%, naopak nejvyšší hodnota dosahovala skoro 90%. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 54%. Účinnost odstranění NL byla celkem vyrovnaná až na výkyv v červnu a červenci, kdy byla účinnost nulová. Jinak se hodnoty účinnosti pohybovaly vysoko mezi 85-95%. K poklesům účinnosti došlo u všech v červnu a červenci. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou u CHSK a NL. Snižování účinnosti na odstranění NL jsou způsobeny zanedbáním a stářím objektů mechanického předčištění a možnými přivalovými srážkami. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 22 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 23.

Tab. 22 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2015

rok 2015 (mg/l)											
	BSK ₅	BSK ₅	účín.		CHSK	CHSK	účín.		NL	NL	účín.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	14	9.6	31.4	1	52	41	21.2	1	12	2	83.3
2	96	12	87.5	2	130	48	63.1	2	14	2	85.7
3	97	11	88.7	3	130	40	69.2	3	57	7	87.7
4	34	10	70.6	4	51	50	2.0	4	12	2	83.3
5	120	4.2	96.5	5	160	17	89.4	5	54	2	96.3
6	28	6.9	75.4	6	42	30	28.6	6	2	2	0.0
7	47	11	76.6	7	83	51	38.6	7	6	6	0.0
8	98	14	85.7	8	140	49	65.0	8	130	3	97.7
9	130	12	90.8	9	200	45	77.5	9	26	2	92.3
10	31	5.9	81.0	10	51	28	45.1	10	18	2	88.9
11	240	10	95.8	11	340	41	87.9	11	56	2	96.4
12	30	4.1	86.3	12	49	17	65.3	12	42	2	95.2
prům.	80.42	9.23	80.52	prům.	119.00	38.08	54.40	prům.	35.75	2.83	75.58

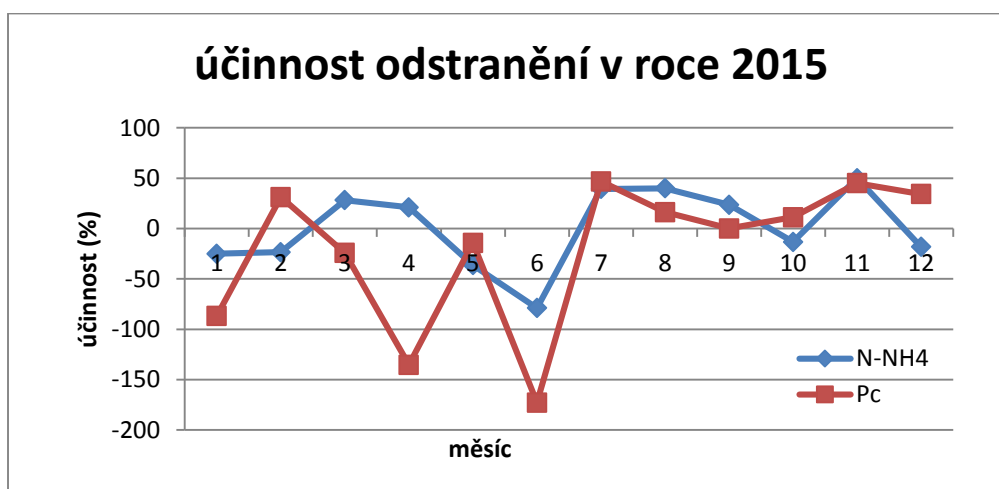


Graf 21 Průběh účinnosti odstranění BSK₅, CHSK a NL v roce 2015

Účinnost odstranění N-NH₄ se pohybovala v rozmezí od -20% do 50%, výrazně klesla v červnu, a to na skoro -80%. Jinak se hodnoty pohybovaly mezi -30% a 50%. Průměrná účinnost pro N-NH₄ byla 0,56%. Účinnost u parametru P_c klesla výrazně v dubnu na -135%, v červnu na -170% a v lednu na -85%. Jinak se hodnoty pohybovaly přibližně mezi -20% a 45%. Průměrná účinnost pro P_c v tomto roce byla -21%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou u obou splněny. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 23 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 24.

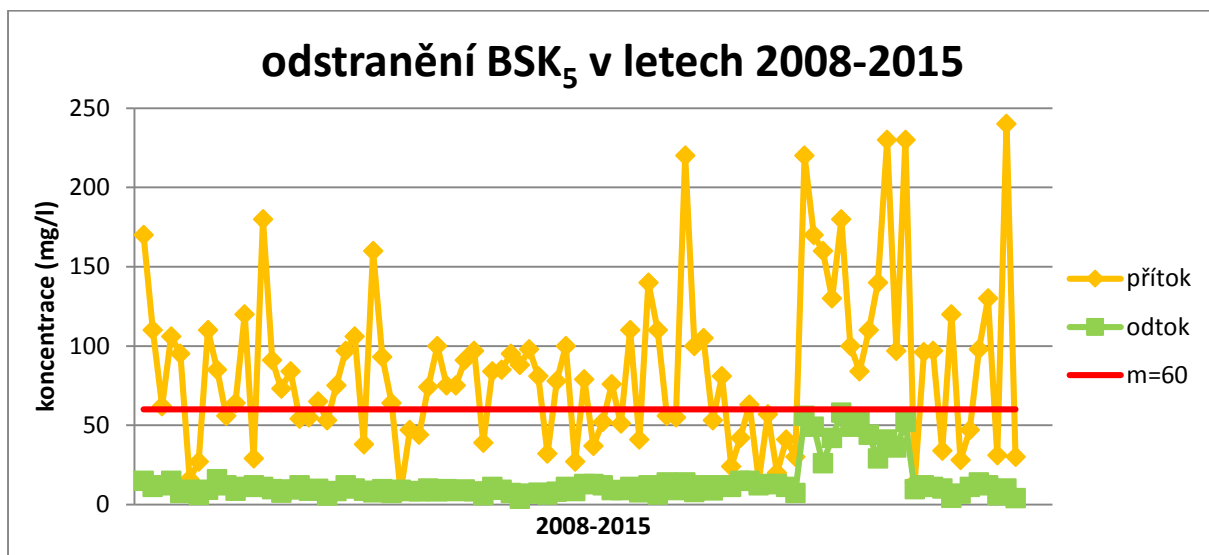
Tab. 23 Naměřené hodnoty koncentrace N-NH₄ a P_c na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2015

rok 2015 (mg/l)							
	N-NH ₄		účin.		P _c		účin.
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%
1	12	15	-25.0	1	1.5	2.8	-86.7
2	17	21	-23.5	2	3.2	2.2	31.3
3	39	28	28.2	3	3.3	4.1	-24.2
4	19	15	21.1	4	1.7	4	-135.3
5	22	30	-36.4	5	4.2	4.8	-14.3
6	9.5	17	-78.9	6	1.1	3	-172.7
7	28	17	39.3	7	4.7	2.5	46.8
8	25	15	40.0	8	4.9	4.1	16.3
9	17	13	23.5	9	3.4	3.4	0.0
10	15	17	-13.3	10	2.7	2.4	11.1
11	28	14	50.0	11	2	1.1	45.0
12	11	13	-18.2	12	1.2	0.79	34.2
prům.	20.21	17.92	0.56	prům.	2.83	2.93	-20.71

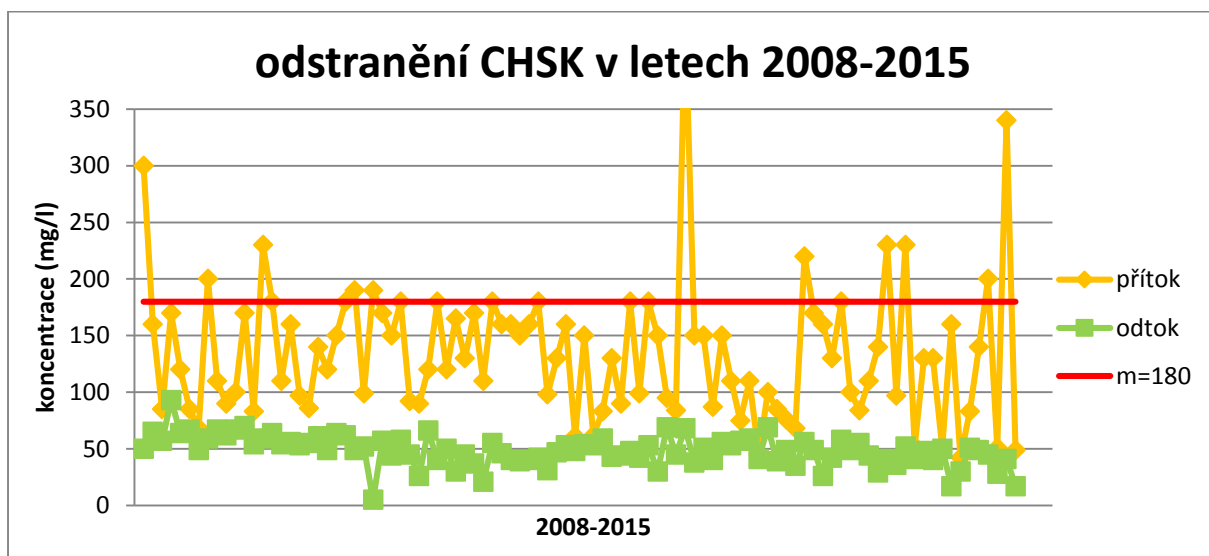


Graf 24 Průběhúčinnosti odstranění N-NH₄ a P_c v roce 2015

Dále jsem vyhodnotila, zda čistírna vyhovuje na maximální hodnoty (m) koncentrace znečištění v mg/l na výtoku z čistírny dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Pro naši velikost KČOV je pro BSK₅ m = 60 mg/l a pro CHSK m = 180 mg/l. Tyto limity byly splněny, jak dokazují následující grafy 25 a 26.



Graf 25 Odstranění BSK₅ v letech 2009-2015, koncentrace v mg/l



Graf 26 Odstranění CHSK v letech 2009-2015, koncentrace v mg/l

3.2 KČOV v Čisté u Rakovníka

Obec Čistá se nachází v povodí Čistického potoka, do kterého byly sváděny veškeré odpadní vody. Tomu odpovídala kvalita vody v potoce a výsledky rozborů provedené v roce 1993 v Rakovníku. Tento nevyhovující stav vedl k rozhodnutí postavit novou čistírnu odpadních vod a rekonstruovat splaškovou kanalizaci. Na základě zkušeností ze Spáleného Poříčí a ve snaze minimalizovat náklady na stavbu, byla zvolena kořenová čistírna odpadních vod. [18]

3.2.1 Konstrukční údaje

Kapacita vybudované KČOV je cca 800EO, nutný zábor pozemků pro stavbu byl 5970 m². Hrubé předčištění probíhá v objektech mechanického předčištění, které tvoří lapač písku s ručně sbíranými česly a šterbinová nádrž. Takto předčištěná voda pokračuje dále do vlastních kořenových filtrů. [18]

Kořenové filtry jsou zde tedy 4 pole (obr. 8) o celkové rozloze 3038 m². To odpovídá ploše cca 3,8 m² na 1 EO a nátokové hraně o 0,1m na 1 EO. Jedná se o mělké nádrže vyplněné kamenivem, do kterého jsou osázeny rostliny, a to *Rákos obecný* a *Chrastice rákosovitá*. Šterková náplň je oddělena vodotěsnou izolací (PVC folie 803) a proti protržení je chráněna geotextilií. Vodotěsná izolace je vytažena nad úroveň filtrů je chráněna odmrzáním. Pro zajištění hrází filtrů při břehu Čistického potoka je opěrný příkop hloubky 1m se sklonem svahu 1:1 a tloušťce 200 mm a je vyplněn šterkem. Šterk plní funkci podélné drenáže. [4, 18]



Obr. 8 KČOV Čistá u Rakovníka

Rozdělovacích šachet k regulaci rozvádění vody je 6. Před výtokem vyčištěné vody z KČOV do recipientu je měrná šachta pro provádění kontroly průtoku a odběru vzorků vody. [18]

3.2.2 Provozní údaje

Odpadní vody přiváděné na KČOV jsou nejprve zbaveny hrubých nečistot v lapáku písku s ručně stíratelnými česly. Po tomto předčištění voda prochází šterbinovou nádrží, kde dojde k dalšímu předčištění. Poté je předčištěná voda rozváděna do filtračního lože, kde dochází k biologickému čištění. Látky nerozpustné i rozpustné jsou rozkládány působením mikroorganismů jak v aerobním, tak v anaerobním prostředí.[18]

Fosfor se odstraňuje srážením ve filtračním loži a přeměnou na nerozpustné fosforečnany a částečně se dostává do tkání rostlin. Kaly ze šterbinové nádrže a sedimenty z lapače písku se využívají v zemědělství. [18]

Obsluha KČOV se soustředí hlavně na udržování hladiny cca 15 cm pod povrchem kořenových filtrů. Pro kontrolu výšky je v každém filtru instalovaná kontrolní PVC roura. [18]

3.2.3 Odstranění BSK₅ v letech 1995-2010

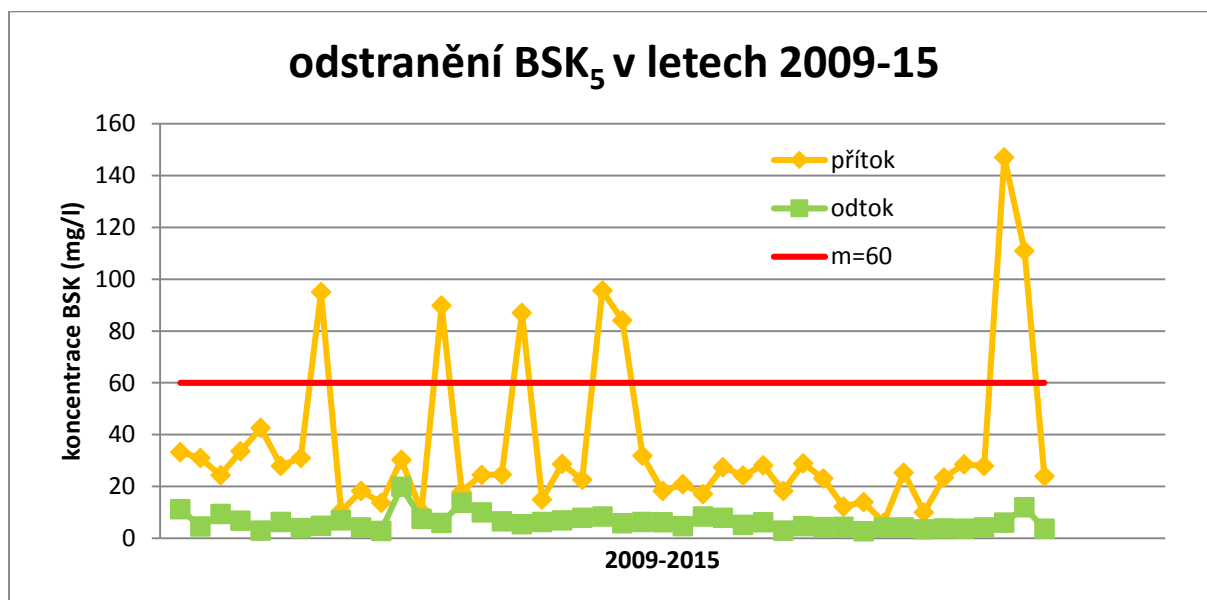
Jak již bylo zmíněno v obecné části, tak KČOV jsou vhodné pro čištění vod s nízkou koncentrací znečištění a právě KČOV v Čisté u Rakovníka má koncentrace znečištění na přítoku nízké, což dokazuje tabulka průměrných hodnot koncentrace znečištění (tab. 24), která je převzata od Doc. Ing. Vymazala. [8]

Tab. 24 Odstranění BSK₅ v letech 1995-2010, koncentrace v mg/l [8]

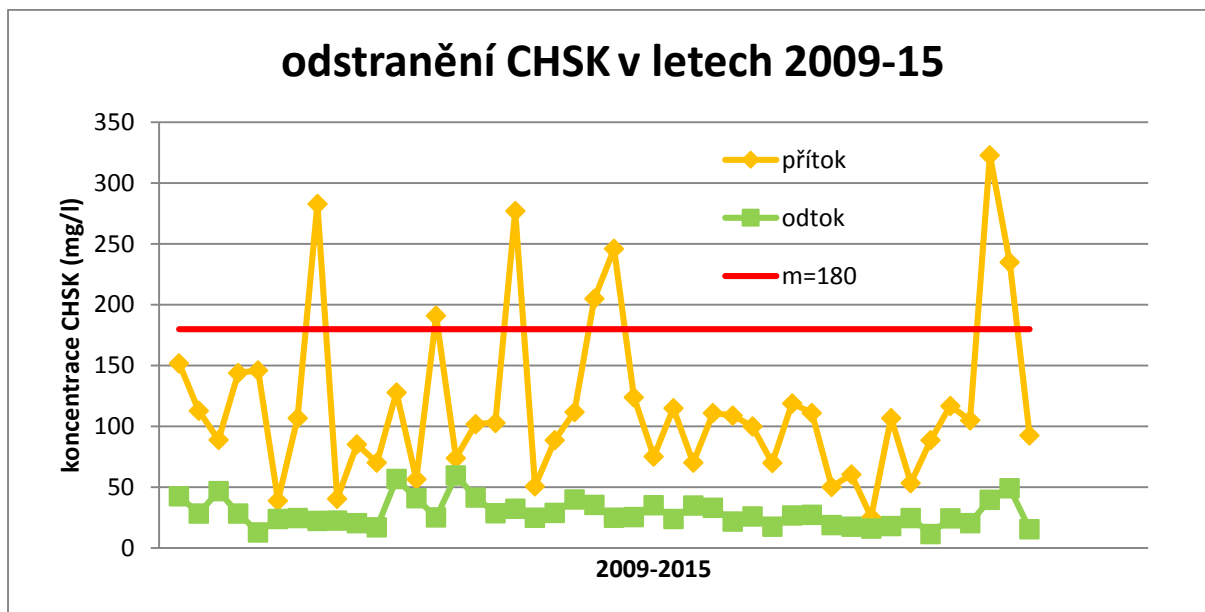
	ČOV Čistá	
	Přítok	Odtok
1995	34	5,7
1996	35	7,3
1997	43	9,2
1998	85	4,9
1999	24	5,0
2000	40	5,0
2001	34	3,9
2002	53	5,1
2003	21	7,7
2004	87	6,8
2005	12,7	3,5
2006		8,7
2007	44,4	11,4
2008	44,5	9,2
2009	48,9	6,9
2010	33,2	6,8

3.2.4 Vyhodnocení účinnosti a plnění norem v letech 2009-2015

Nejprve jsem vyhodnotila, zda čistírna vyhovuje na maximální hodnoty (m) koncentrace znečištění v mg/l na výtoku z čistírny dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Pro naši velikost KČOV je pro BSK₅ m = 60 mg/l a pro CHSK m = 180 mg/l. Tyto limity byly splněny, jak dokazují následující grafy 27 a 28.



Graf 27 Odstranění BSK₅ v letech 2009-2015, koncentrace v mg/l



Graf 28 Odstranění CHSK v letech 2009-2015, koncentrace v mg/l

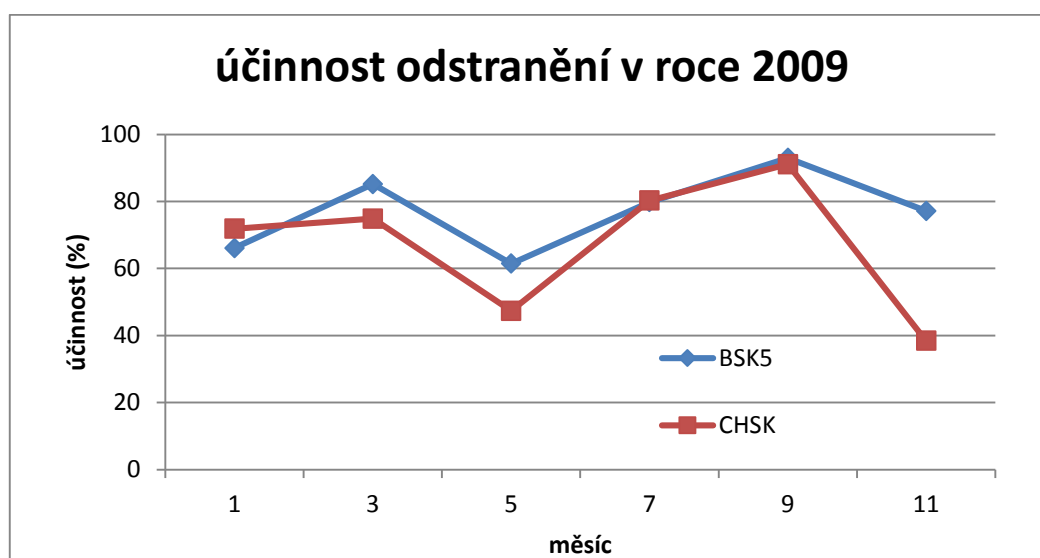
Z grafů je zřetelné, že koncentrace BSK₅ na odtoku nepřesahuje dokonce ani 15 mg/l a koncentrace CHSK jen dvakrát přesáhla lehce hodnotu 50 mg/l, což v obou případech znamená velmi dobrou účinnost vzhledem k předepsaným limitům pro odtok.

3.2.4.1 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2009

Účinnost odstranění BSK₅ se pohybovala po celý rok nad 60 %. Průměrná účinnost pro BSK₅ byla 77%. Výrazněji se měnila účinnost u parametru CHSK, která klesla až ke 40 % v listopadu. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 67 %. K poklesům účinnosti došlo u obou sledovaných parametrů v květnu a v listopadu. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou splněny u BSK₅u CHSK jsme lehce pod. Nejlepší účinnosti bylo dosaženo v září u obou sledovaných parametrů, a to u BSK₅ 93% a u CHSK 91,1%. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 25 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 29.

Tab. 25 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NLna přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2009

rok 2009 (mg/l)										
	BSK5	BSK5	účinnost		CHSK	CHSK	účinnost		NL	NL
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok
1	33.3	11.3	66.1	1	152	42.8	71.84	1	34	7
2				2				2		
3	31	4.6	85.2	3	113	28.4	74.87	3	83	<5
4				4				4		
5	24.4	9.4	61.5	5	88.9	46.8	47.36	5	21	<5
6				6				6		
7	33.6	6.8	79.8	7	144	28.4	80.28	7	54	<5
8				8				8		
9	42.6	3	93.0	9	146	13	91.10	9	34	<5
10				10				10		
11	28	6.4	77.1	11	39	24	38.46	11	178	<5
12				12				12		
průměr	32.15	6.92	77.09	průměr	113.82	30.57	67.32	průměr	67.33	



Graf 29 Průběh účinnosti odstranění BSK₅ a CHSK v roce 2015

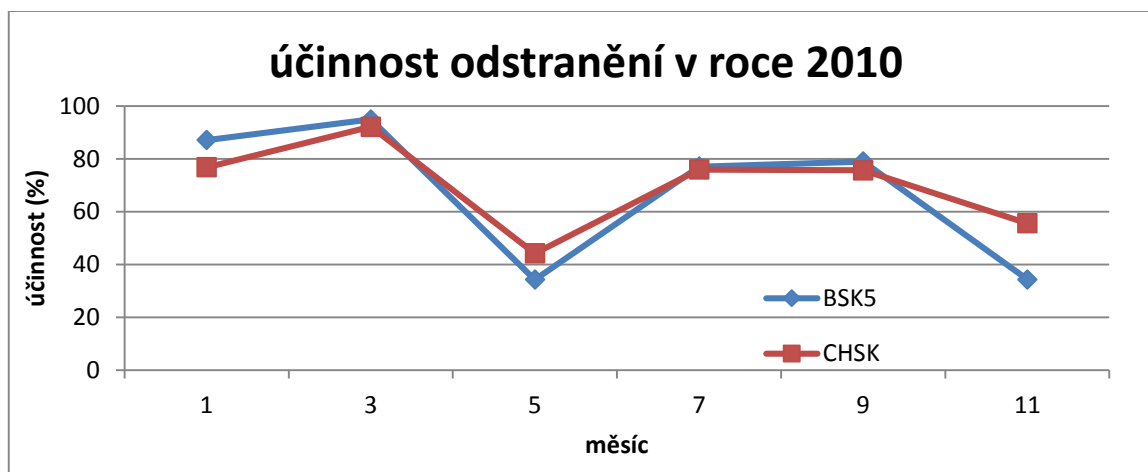
3.2.4.2 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2010

Účinnost odstranění BSK₅ klesla v květnu a listopadu skoro lehce pod 35 %. Průměrná účinnost také nebyla vysoká pro BSK₅ jen 67 %. Účinnost u parametru CHSK klesla až ke 40 % v květnu a v listopadu k 55 %. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 70 %. K poklesům účinnosti došlo u obou sledovaných parametrů v květnu a v listopadu. Naopak nejvyšší účinností dosahovaly v březnu, kdy překročily v obou případech 90%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou splněny u BSK₅ u CHSK jsou splněny.

Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 26 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 30.

Tab. 26 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2010

rok 2010 (mg/l)											
	BSK5	BSK5	účinnost		CHSK	CHSK	účinnost		NL	NL	
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	
1	31.1	4	87.1	1	107	24.8	76.8	1	19	<5	
2				2				2			
3	95	4.8	94.9	3	283	22.3	92.1	3	186	<5	
4				4				4			
5	10.5	6.9	34.3	5	40.7	22.7	44.2	5	13	<5	
6				6				6			
7	18.3	4.2	77.0	7	85.3	20.5	76.0	7	21	<5	
8				8				8			
9	13.8	2.9	79.0	9	70.2	17.1	75.6	9	16	<5	
10				10				10			
11	30.3	19.9	34.3	11	128	56.8	55.6	11	20	<5	
12				12				12			
průměr	33.17	7.12	67.79	průměr	119.03	27.37	70.07	průměr	45.83		



Graf 30 Průběh účinnosti odstranění BSK₅ a CHSK v roce 2010.

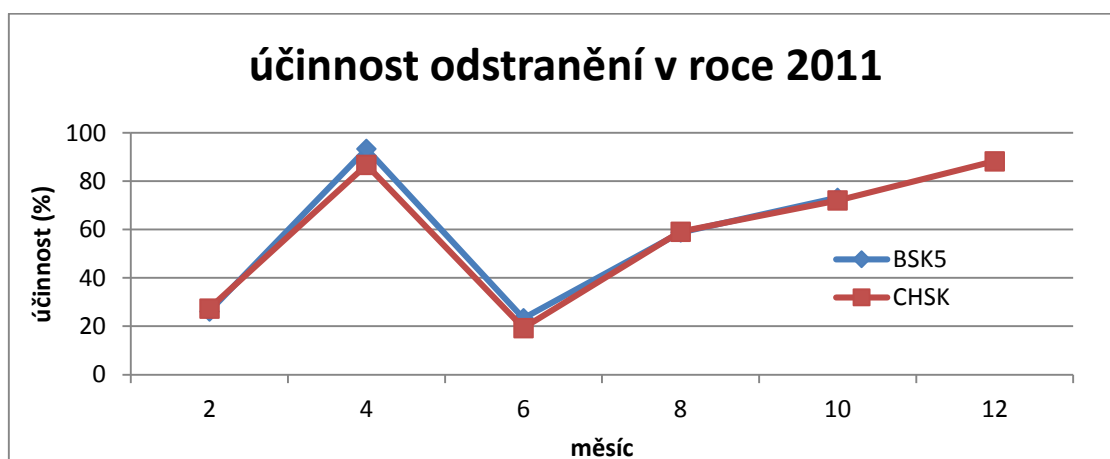
3.2.4.3 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2011

Účinnost odstranění BSK₅ klesla v únoru a v červnu dokonce lehce nad 25 %. Průměrná účinnost také byla nízká pro BSK₅ jen 61 %. Účinnost u parametru CHSK klesla až ke 30 % v únoru a v červnu až k 20 %. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 59 %. K poklesům

účinnosti došlo u obou sledovaných parametrů v únoru a v červnu. Příčinou mohly být přivalové srážky. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 nejsou splněny u obou sledovaných parametrů. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 27 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 31.

Tab. 27 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2011

rok 2011 (mg/l)										
	BSK ₅	BSK ₅	účinnost		CHSK	CHSK	účinnost		NL	NL
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok
1				1				1		
2	10.3	7.6	26.2	2	56.6	41.1	27.4	2	8	<5
3				3				3		
4	89.8	6	93.3	4	191	25.3	86.8	4	114	<5
5				5				5		
6	18	13.8	23.3	6	74	59.7	19.3	6	14	<5
7				7				7		
8	24.5	10.1	58.8	8	102	41.7	59.1	8	8	<5
9				9				9		
10	24.6	6.6	73.2	10	103	28.8	72.0	10	18	<5
11				11				11		
12	87	5.5	93.7	12	277	32.5	88.3	12	347	<5
průměr	42.37	8.27	61.41	průměr	133.93	38.18	58.81	průměr	84.83	



Graf 31 Průběh účinnosti odstranění BSK₅ a CHSK v roce 2011

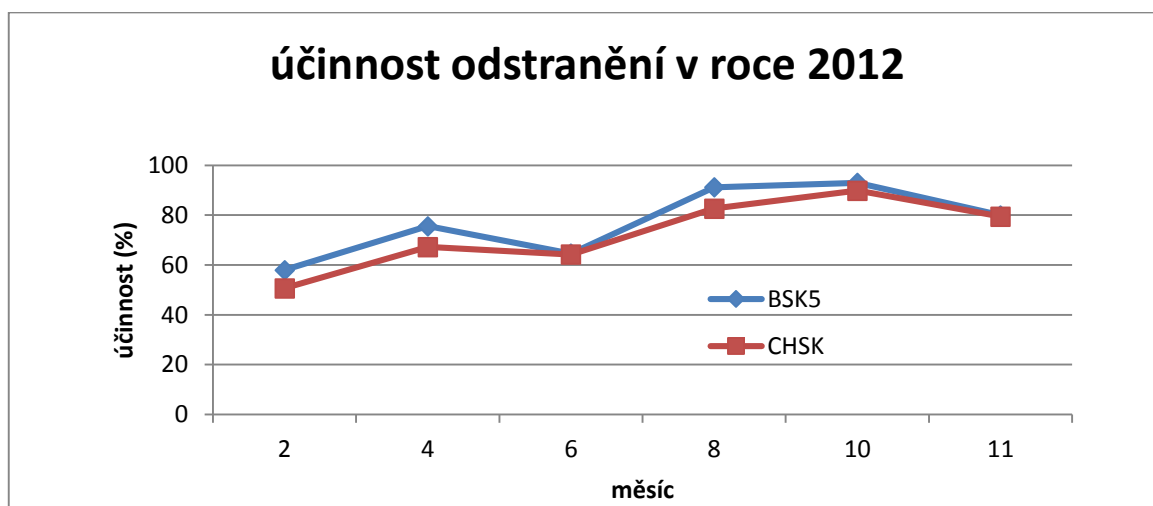
3.2.4.4 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2012

Účinnost odstranění BSK₅ v tomto roce bylo vyrovnané, nejnižší hodnoty byly naměřené v únoru, kdy klesly k 60 %. Průměrná účinnost byla pro BSK₅ 77 %. Účinnost u parametru CHSK také vyrovnaná a nejnižší byla také v únoru, kdy klesla až k 50 %. Průměrná účinnost

pro CHSK v tomto roce 72 %. K poklesům účinnosti došlo u obou sledovaných parametrů v únoru. Nejvyšších účinností bylo dosaženo v říjnu, kdy CHSK dosahovalo skoro 90% a u BSK₅ byla účinnost ještě vyšší, a to 93%. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou splněny u obou. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 27 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 32.

Tab. 27 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2012

rok 2012 (mg/l)										
	BSK ₅	BSK ₅	účinnost		CHSK	CHSK	účinnost		NL	NL
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok
1				1				1		
2	15	6.3	58.0	2	50.9	25.1	50.7	2	12	<5
3				3				3		
4	28.7	7	75.6	4	88.8	29.1	67.2	4	24	<5
5				5				5		
6	22.6	8	64.6	6	112	40.1	64.2	6	26	<5
7				7				7		
8	95.6	8.4	91.2	8	205	35.5	82.7	8	28	<5
9				9				9		
10	84.1	5.9	93.0	10	246	25	89.8	10	58	<5
11	31.9	6.4	79.9	11	124	25.5	79.4	11	30	<5
12				12				12		
průměr	46.32	7.00	77.06	průměr	137.78	30.05	72.34	průměr	29.67	



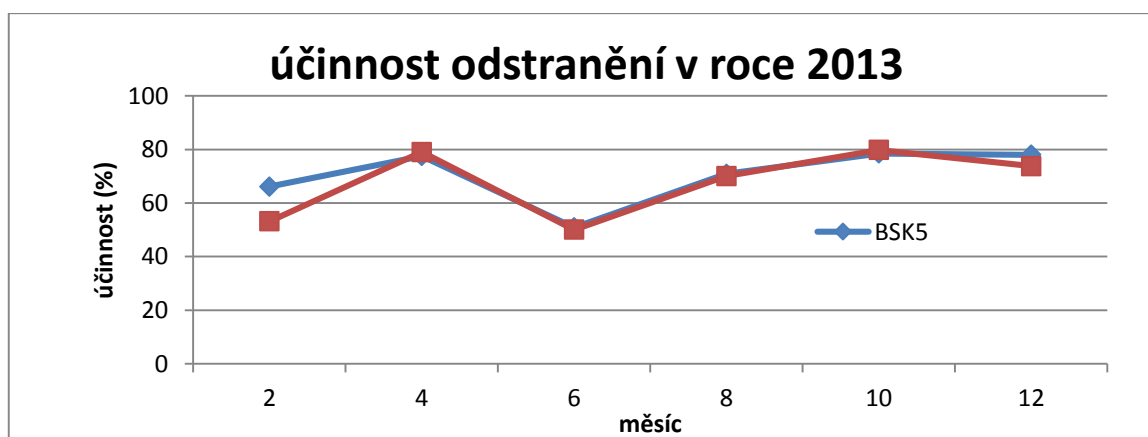
Graf 32 Průběh účinnosti odstranění BSK₅ a CHSK v roce 2012

3.2.4.5 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2013

Účinnost odstranění BSK₅ v tomto roce klesla k 50% v červnu. Průměrná účinnost byla pro BSK₅ 70%. Účinnost u parametru CHSK klesla až k 50% v únoru a červnu. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 68%. K poklesům účinnosti došlo u obou sledovaných parametrů v únoru a v červnu. To mohlo být opět vlivem přivalových srážek. Nejvyšších účinností se dosáhlo v říjnu, a to skoro 80% u obou parametrů. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou splněny u BSK₅ u CHSK jsme lehce pod. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 29 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 33.

Tab. 29 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2013

rok 2013 (mg/l)										
	BSK5	BSK5	účinnost		CHSK	CHSK	účinnost		NL	NL
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok
1				1				1		
2	18.3	6.2	66.1	2	75.2	35.2	53.2	2	58	<5
3				3				3		
4	20.9	4.7	77.5	4	115	24.1	79.0	4	116	<5
5				5				5		
6	17.1	8.4	50.9	6	70.3	35.1	50.1	6	14	<5
7				7				7		
8	27.5	8	70.9	8	111	33.2	70.1	8	32	<5
9				9				9		
10	24.2	5.2	78.5	10	109	22	79.8	10	28	<5
11				11				11		
12	28.2	6.2	78.0	12	100	26.2	73.8	12	18	<5
průměr	22.70	6.45	70.32	průměr	96.75	29.3	67.67	průměr	44.33	



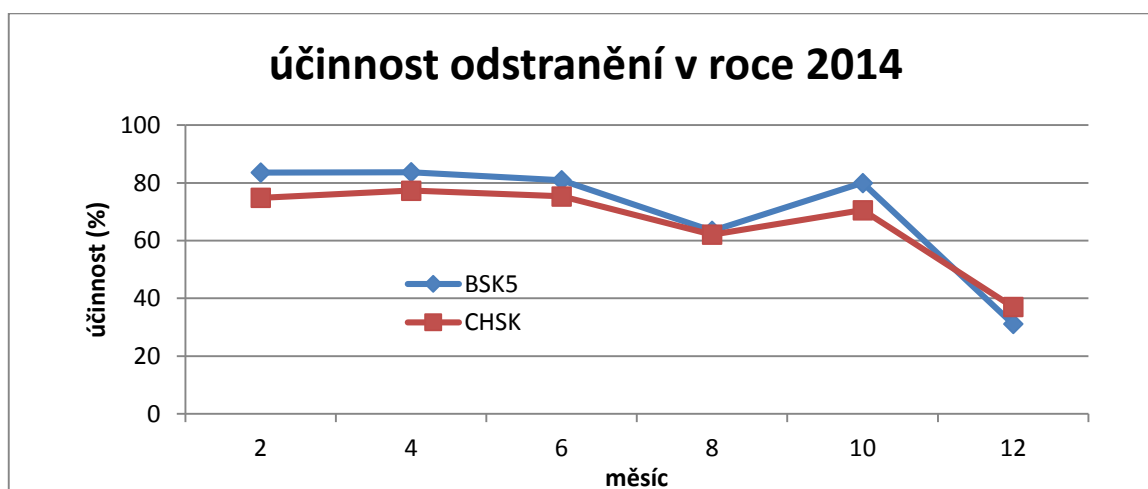
Graf 33 Průběh účinnosti odstranění BSK₅ a CHSK v roce 2013

3.2.4.6 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2014

Účinnost odstranění BSK₅ v tomto roce klesla ke 30% v prosinci. Průměrná účinnost byla pro BSK₅ 70 %. Účinnost u parametru CHSK klesla pod 40% také v prosinci. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 66%. K poklesům účinnosti došlo u obou sledovaných parametrů v prosinci. Naopak nejvyšší účinnost byla v dubnu. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou splněny u BSK₅ u CHSK jsme lehce pod. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 30 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 34.

Tab. 30 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2014

rok 2014 (mg/l)										
	BSK5	BSK5	účinnost		CHSK	CHSK	účinnost		NL	NL
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok
1				1				1		
2	18.3	3	83.6	2	70	17.6	74.9	2	19	9
3				3				3		
4	28.9	4.7	83.7	4	119	27	77.3	4	25	<5
5				5				5		
6	23.1	4.4	81.0	6	111	27.4	75.3	6	22	<5
7				7				7		
8	12.3	4.5	63.4	8	50.4	19.1	62.1	8	10	<5
9				9				9		
10	14	2.8	80.0	10	60.5	17.8	70.6	10	8	<5
11				11				11		
12	6.1	4.2	31.1	12	25.4	16	37.0	12	7	<5
průměr	17.12	3.93	70.48	průměr	72.72	20.82	66.20	průměr	15.17	



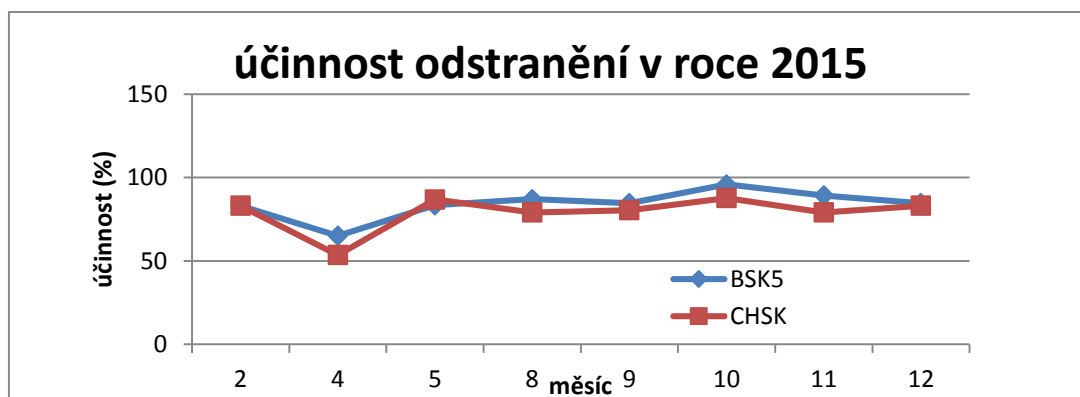
Graf 34 Průběh účinnosti odstranění BSK₅ a CHSK v roce 2014

3.2.4.7 Vyhodnocení účinnosti pro rok 2015

Účinnost odstranění BSK₅ v tomto roce byla nejnižší 65% v dubnu, což je velmi dobrý výsledek v porovnání s předešlými roky, kdy této hodnoty v některých případech nedosahoval ani průměr. Průměrná účinnost byla pro BSK₅ 84%, což je nejvyšší ve sledovaném období. Účinnost u parametru CHSK také klesla v dubnu a to k 53%. Průměrná účinnost pro CHSK v tomto roce 79%. K poklesům účinnosti došlo u obou sledovaných parametrů v dubnu. Na lepší výsledek mohl mít i vliv, že bylo k dispozici víc naměřených hodnot v tomto roce. Hodnoty pro průměrnou účinnost podle ČSN 75 6402 jsou splněny. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 31 a vyhodnocení účinnosti pak v grafu 35.

Tab. 31 Naměřené hodnoty koncentrace BSK₅, CHSK a NL na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2015

rok 2015 (mg/l)										
	BSK5	BSK5	účinnost		CHSK	CHSK	účinnost		NL	NL
měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok	%	měsíc	přítok	odtok
1				1				1		
2	25.4	4.3	83.1	2	107	18.1	83.1	2	15	<5
3				3				3		
4	10	3.5	65.0	4	53.6	24.9	53.5	4	7	<5
5	23.5	3.9	83.4	5	88.7	11.7	86.8	5	21	<5
6				6				6		
7				7				7		
8	28.6	3.7	87.1	8	117	24.5	79.1	8	31	<5
9	27.9	4.3	84.6	9	105	20.6	80.4	9	22	<5
10	147	6.1	95.9	10	323	39.9	87.6	10	140	<5
11	111	12	89.2	11	235	49.2	79.1	11	27	<5
12	24	3.7	84.6	12	92.7	15.7	83.1	12	10	5
průměr	49.68	5.19	84.09	průměr	140.25	25.58	79.08	průměr	34.13	

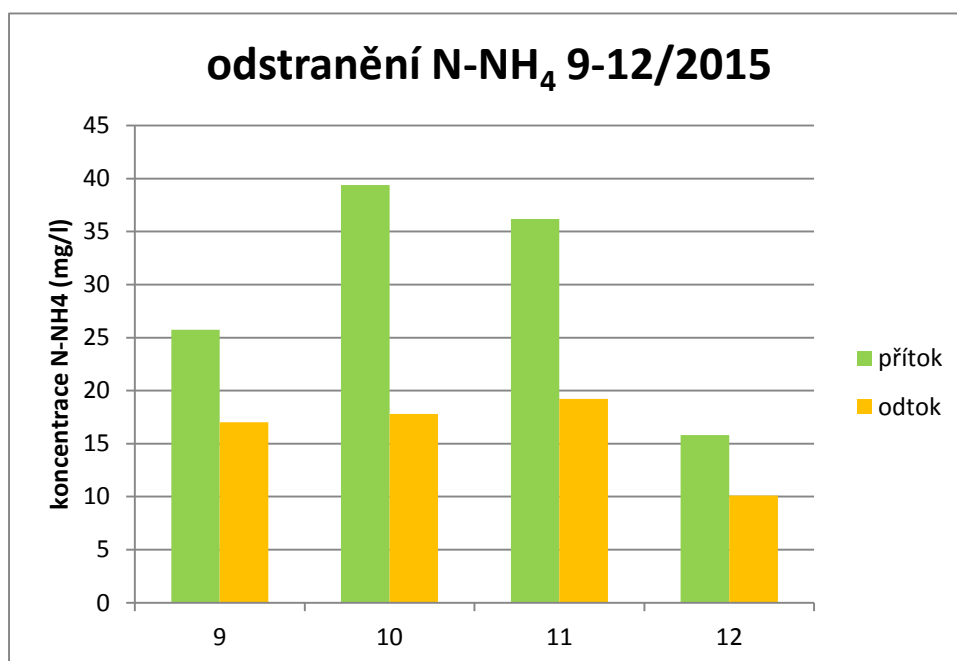


Graf 35 Průběh účinnosti odstranění BSK₅ a CHSK v roce 2015

V tomto roce byly k dispozici navíc hodnoty koncentrace N-NH₄. Jejich záznam je vidět v tab. 32 a grafu 36. Účinnost odstranění N-NH₄ se pohybovala velmi rozkolísaně mezi 33-92%. Průměrná hodnota účinnosti na odstranění N-NH₄ byla 53%. Koncentrace N-NH₄ na odtoku nepřesahovala 20 mg/l, takže Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. m = 40 mg/l bylo splněno. Vzhledem k malému množství dat, nelze udělat přesnější vyhodnocení.

Tab. 32 Naměřené hodnoty koncentrace N-NH₄ na přítoku a odtoku a vyhodnocení účinnosti v roce 2015

rok 2015 (mg/l)			
	N-NH ₄	N-NH ₄	účinnost
měsíc	přítok	odtok	%
1			
2	7.31	0.57	92.2
3			
4			
5	16.6	7.43	55.2
6			
7			
8			
9	25.74	17.01	33.9
10	39.4	17.81	54.8
11	36.2	19.23	46.9
12	15.82	10.12	36.0
průměr	23.51	12.03	53.18



Graf 36 Koncentrace N-NH₄ na přítoku a odtoku v roce 2015

Na základě těchto výsledků lze vyzorovat, že KČOV v Čisté u Rakovníka dosahuje nízkých hodnot účinnosti odstranění organických látek (BSK₅ a CHSK) převážně v květnu a v červnu a dále pak v prosinci a únoru, kdy účinnost mnohdy nedosahuje ani 50%. V ostatních měsících se účinnost obou parametrů pohybuje nad 70%.

Účinnost odstranění nerozpuštěných látek nelze přesně určit, neboť hodnoty na výtoku nebyly přesné. Ve většině případů, ale koncentrace na odtoku byla pod 5 mg/l. Což dostatečně splňuje Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. $m = 70 \text{ mg/l}$.

4. Porovnání

Kořenová čistírna odpadních vod ve Spáleném Poříčí stále dosahuje vysokých roční účinností v odstraňování BSK₅ v průměru většinou přes 80%. CHSK v posledních letech dosahuje již nižších účinností v průměru pod 60%. I průběhy účinností se v jednotlivých měsících liší. Naopak na KČOV v Čisté u Rakovníka jsou průběhy u účinnosti odstranění těchto dvou parametrů poměrně vyrovnané. Průměrná roční účinnost BSK₅ je kolem 70% a CHSK kolem 60%. Předpisy pro koncentrace znečištění na odtoku plní obě čistírny v parametrech BSK₅ a CHSK s rezervou. Čistírna ve Spáleném Poříčí nesplňuje v posledních 8 letech normu 756402 v průměrném odstraňování CHSK na HKF. Čistírna v Čisté u Rakovníka tuto normu nesplnila 3krát v posledních sedmi letech, ale dvakrát se jednalo o velmi těsný výsledek.

Účinnost v odstraňování NL v posledních 8 letech lze přesně určit pouze u čistírny ve Spáleném Poříčí, kde byla norma 756402 pro průměrné odstranění NL na HKF splněna pouze v roce 2008 a 2010. To je způsobeno pravděpodobně částečnou kolmatací filtračního pole a nedostatečnou údržbou mechanického předčištění. Koncentrace znečištění na odtoku většinou nepřesahuje ani 10 mg/l z čistírny splňuje tedy vládní nařízení č. 401/2015 Sb. Hodnoty z druhé čistírny bohužel nejsou přesné, takže vyhodnocení procentuální účinnosti nebylo možné. Koncentrace znečištění většinou nepřesahovala ani 5 mg/l, takže vládní nařízení taktéž splnila.

Účinnost odstranění N-NH₄ ve Spáleném Poříčí nesplnila průměrnou účinnost podle normy 756402 v letech 2013 a 2015. Koncentrace znečištění na odtoku nepřesahuje 30 mg/l pouze asi dvakrát, ale i tak splňuje vládní nařízení č. 401/2015 Sb. o maximální možné koncentraci na odtoku. Nicméně minimální účinnost čištění v tomto parametru normou dané hodnoty nesplňuje. Pro druhou čistírnu nebylo dostatek dat pro provedení věrohodné analýzy.

Účinnost odstraňování P_c byla možná posoudit pouze u čistírny ve Spáleném Poříčí, neboť hodnoty z druhé čistírny nebyly k dispozici. Na průměrné hodnotě účinnosti znečištění je vidět, že kromě roku 2009 hodnota stále klesá i do záporných hodnot, což je dáno nasycením sorpční kapacity filtračního materiálu. Koncentrace znečištění na odtoku není v České republice pro P_c zatím nijak omezována u malých čistíren.

5. Závěr

Z porovnání obou čistíren je patrné, že vyšších účinností v odstranění BSK₅ dosahuje čistírna ve Spáleném Poříčí (1500 EO), naopak v účinnosti odstranění CHSK je lepší čistírna v Čisté (800EO). Přepočtená plocha na 1EO je u obou sledovaných čistíren přibližně stejná. V průběhu let je u obou čistíren výsledná koncentrace znečištění na odtoku vyrovnaná i přes rozdílnost na přítoku.

Koncentraci nerozpuštěných látek na odtoku splňují obě čistírny. V Čisté sice s nižší koncentrací na odtoku, ale je nutné si uvědomit, že počáteční hodnoty znečištění na přítoku jsou ve Spáleném Poříčí celkově vyšší, a to díky průmyslu a celkovému vybavení v obci.

K výraznému zlepšení účinnosti odstraňování N-NH₄ by mělo dojít po provedení rekonstrukce čistírny ve Spáleném Poříčí. Současně s tím dojde i k výraznému zlepšení odstraňování P.

6. Použité zdroje

- [1] Sojka J., 2004, Malé čistírny odpadních vod, ISBN 80-86517-80-2
- [2] Kočková a kol., 1994, Vegetační kořenové čistírny odpadních vod, ISBN 80-7084-104-4
- [3] Vymazal J., 2004, Kořenové čistírny odpadních vod, distribuce: ENKI o.p.s. Třeboň, tiskárna Tuček Rakovník
- [4] Vymazal J., 1995, Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách, vydalo: ENVI s.r.o., tiskárna BETIS
- [5] www.grania.cz
- [6] www.korenova-cisticka.cz
- [7] Šálek J., 2006, Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod, ISBN 80-86769-74-7
- [8] Vymazal J., 2016, Kořenové čistírny odpadních vod- Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji, Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí
- [9] Mlejnská E. a kol., 2009, Extenzivní způsoby čištění odpadních vod, ISBN 978-80-85900-92-7
- [10] www.mujdum.cz/rubriky/stavby/korenove-cistirny-v-praxi_55.html
- [11] Vymazal J., 2011, Prezentace KČOV v České republice ČZU v Praze
- [12] Kouřil M., 2006, Kořenové čistírny, ISBN 80-86778-22-3
- [13] Máca J., technolog odpadních vod, Vodárna Plzeň a.s.
- [14] Science of the Total Environment 536 (2015) 625-631, 470-471 (2014) 1281-1306, 429 (2012) 123-155
- [15] http://www.kcov-rostliny.cz/KCOV_Porici.php
- [16] Pelikán P., osobní konzultace
- [17] Kršňák J., 2012, Studie intenzifikace KČOV v obci Spálené Poříčí
- [18] Průvodní a technická zpráva ke KČOV v Čisté u Rakovníka
- [19] Naměřená data na přítoku a odtoku z obou čistíren