

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Zemědělství a rozvoj venkova



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Čištění odpadních vod v kořenové čistírně situované ve
městě Nová Paka**

Diplomová práce

Bc. Žaneta Himlová
Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce (Ing. Pavel Švehla, Ph.D.)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Čištění odpadních vod v kořenové čistírně situované ve městě Nová Paka" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Pavlu Švehlovi, Ph.D. za trpělivost a velkou pomoc při tvorbě této diplomové práce. Počínaje ochotou během konzultací a na konec závěrečnou korekcí této diplomové práce. Poděkování patří i přátelům a kolegům z práce za jejich velkou trpělivost při čtení této diplomové práce. V neposlední řadě patří velké poděkování mému manželovi, který mě po celou dobu studia podporoval.

Čištění odpadních vod v kořenové čistírně situované ve městě Nová Paka

Souhrn

Cílem diplomové práce bylo zaměření na komplexní návrh kořenové čistírny odpadních vod situovanou ve městě Nová Paka. Úvodní část práce je zaměřena na rešerši odborných poznatků a informací, seznamuje s problematikou mechanicko-biologických a kořenových čistíren odpadních vod. Navazující praktická část diplomové práce se nejdříve zabývá zhodnocením podkladových údajů pro výstavbu kořenové čistírny odpadních vod. Je zde popsán a vyhodnocen stávající stav kanalizační sítě v Nové Pace. Následně navazuje část, která se zabývá samotným návrhem kořenové čistírny odpadních vod. Návrh je řešen dle nejlepších dostupných technologií ve spolupráci s projektantem kořenových čistíren, který se tématem zabývá řadu let. Kořenová čistírna je situována do části města Nová Paka – Vlkov. V této části se chystá nová zástavba rodinných domů a návrhem této kořenové čistírny bude efektivně vyřešeno odvádění odpadních vod. Optimalizace řešení je sledována v ekonomickém hledisku, kdy díky kopci, který je nutné překonat, se musí hnát odpadní voda čerpadly na městskou čistírnu odpadních vod. Kořenová čistírna bude navržena s kapacitou 140 EO a bude sloužit pro čištění splaškových odpadních vod, tento druh je zde navržen, protože vyžaduje minimální náklady na provoz, údržbu a pozemek pro výstavbu je situován pod zájmové území, což umožňuje gravitační napojení. Stavba kořenové čistírny se skládá z mechanického předčištění odpadních vod, biologicko-chemického čištění odpadních vod (dva vegetační vertikální filtry), šachet, vyústního objektu do vodního toku, domku pro obsluhu a oplocení. Navržená kořenová čistírna splňuje všechny požadavky na kvalitu vypouštěné vody.

Klíčová slova: Kořenová čistírna odpadních vod, odpadní voda, horizontální filtr, přirozené mokřady, Nová Paka

Wastewater Treatment in Construced Wetland Situated in the Town Nová Paka

Summary

The aim of the diploma thesis was to focus on the complex design of a root wastewater treatment plant situated in Nová Paka. The introductory part of the thesis is focused on the search of expert knowledge and information, introduces the issue of mechanical-biological and root wastewater treatment plants. The subsequent practical part of the thesis first deals with the evaluation of the background data for the construction of a root wastewater treatment plant. It describes and evaluates the existing condition of the sewerage network in Nová Paka. This is followed by a part that deals with the design of the root sewage treatment plant itself. The design is based on the best available technologies in cooperation with a designer of root treatment plants who has been working on the topic for many years. The root treatment plant is situated in the Nová Paka – Vlkov part of the town. In this part, new family houses are planned and the design of this root treatment plant will effectively solve the wastewater disposal. The optimization of the solution is found in the economic aspect, when due to the hill that has to be overcome, the wastewater has to be pumped to the municipal wastewater treatment plant. The root treatment plant will be designed with a capacity of 140 EO and will be used for the treatment of sewage, this type is proposed here because it requires minimum operation and maintenance costs and the land for construction is located under the area of interest, which allows gravity connection. The construction of the root treatment plant consists of mechanical pre-treatment of wastewater, biological-chemical treatment of wastewater (two vegetated vertical filters), manholes, outlet structure to the watercourse, service house and fencing. The proposed root treatment plant meets all the requirements for the quality of the discharged water.

Keywords: Root wastewater treatment plant, wastewater, horizontal filter, natural wetlands, Nová Paka

Obsah

1 Úvod – čištění odpadních vod	10
2 Cíle diplomové práce.....	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Historie čištění odpadních vod	12
3.2 Způsoby čištění odpadních vod.....	12
3.3 Mechanické čištění	13
3.4 Fyzikálně – chemické čištění	13
3.5 Biologické čištění	13
3.6 Extenzivní způsoby čištění.....	13
3.7 Mechanicko – biologické čistírny odpadních vod	14
3.8 Mechanicko – biologická čistírna – stupně čištění a procesy čištění	14
3.9 Mechanický stupeň čištění.....	15
3.9.1 Hrubé předčištění	15
3.9.2 Lapák šterku.....	15
3.9.3 Česle.....	15
3.9.4 Lapáky písku.....	15
3.9.5 Lapáky tuků	16
3.9.6 Usazovací nádrže	16
3.10 Biologický stupeň čištění.....	16
3.10.1 Nitrifikace a denitrifikace	16
3.10.2 Odstraňování fosforu	17
3.10.3 Kalové hospodářství	17
3.11 Výhody a nevýhody mechanicko – biologického čištění odpadních vod... 17	17
3.12 Centralizované a decentralizované způsoby čištění	18
3.12.1 Jímka.....	18
3.12.2 Septik	19
3.12.3 Domovní čistírna odpadních vod.....	19
3.13 Kořenové čistírny odpadních vod	21
3.14 Historie kořenových čistíren	22
3.15 Co je umělý mokřad?	23
3.15.1 Rozdělení umělých mokřadů	23
3.15.1.1 Umělé mokřady s plovoucími rostlinami	23
3.15.1.2 Umělé mokřady s ponořenými rostlinami	23
3.15.1.3 Umělé mokřady s vyořenými rostlinami	24
3.15.1.4 Umělé mokřady s vertikálním průtokem.....	25
3.15.1.5 Umělé mokřady s horizontálním průtokem.....	25

3.16	Průběh čištění v kořenových čistírnách odpadních vod	25
3.16.1	Předčištění.....	26
3.16.2	Filtrační lože	26
3.17	Vegetace v kořenových čistírnách	26
3.18	Účinnost čistícího procesu	27
3.18.1	Odstraňování organických látek	28
3.18.2	Odstraňování nerozpuštěných látek	28
3.18.3	Odstraňování dusíku	28
3.18.4	Odstraňování fosforu	28
3.18.5	Odstraňování těžkých kovů	28
3.18.6	Odstraňování mikrobiálního znečištění	29
3.19	Výhody a nevýhody kořenových čistíren	29
4	Zhodnocení podkladových údajů	30
4.1	Základní údaje o městě a zájmovém území	30
4.2	Charakteristika území	31
4.3	Klimatické údaje	31
4.4	Geologické poměry.....	32
4.5	Stav kanalizační sítě v zájmové části města Nová Paka	32
4.6	Čistírna odpadních vod pro Novou Paku	32
4.7	Zhodnocení výsledků čištění po rekonstrukci	35
4.7.1	Vyhodnocení provozu.....	36
4.8	Výstavba nové kanalizační sítě	39
4.9	Financování kanalizační sítě	39
5	Vlastní projekt.....	40
5.1	Návrh nové kořenové čistírny ve městě Nová Paka	40
5.2	Základní charakteristika stavby a jejího užívání	42
5.3	Celkové urbanistické a architektonické řešení.....	44
5.4	Základní technický popis staveb.....	45
5.4.1	Septiky a česlicový koš.....	45
5.4.2	Kořenová pole.....	46
5.4.3	Sběrná šachta	47
5.4.4	Pulzní šachta	47
5.4.5	Rozdělovací šachta	47
5.4.6	Čerpací šachta.....	47
5.4.7	Měřicí šachta.....	47
5.4.8	Kanalizace.....	48
5.4.9	Vyústní objekt.....	48
5.4.10	Oplocení a příjezdová komunikace	48
5.5	Základní popis technických a technologických zařízení	48
5.6	Vliv stavby na životní prostředí.....	49

6 Diskuse	51
7 Závěr.....	55
8 Literatura.....	56

1 Úvod – čištění odpadních vod

O zpracování odpadních vod se snažili už dávné civilizace. Čištění odpadních vod je pro společnost důležité. Ve většině domácností byl dříve pouze suchý záchod a odpad z mytí nádobí nebo koupání se vyléval na zahrady či před dům. Tímto způsobem by to dnes již nešlo, a proto muselo vzniknout moderní čištění odpadních vod.

V dnešní době se ve většině obcí čistírna odpadních vod nachází a ty jsou převážně mechanicko-biologické. Pokud je postaven dům tam kde čistírna není, je běžné a pro kolaudaci nezbytné, aby měla novostavba domácí čistírnu odpadních vod. V poslední době se setkávám s tím, že se budují kořenové čistírny odpadních vod, které bychom mohli definovat jako ekonomičtější a estetičtější.

Diplomová práce vznikla zaujetím autorky pro dané téma a díky výstavbě nové zástavby rodinných domů v okrajové části obce. Vystala se zde otázka, jak budou likvidovány odpadní vody z nových rodinných domů, když stávající rodinné domy mají domovní čistírny odpadních vod nebo septiky. Diplomová práce je zaměřena na výstavbu kořenové čistírny situované ve městě Nová Paka. Třeba se díky této diplomové práci bude budovat více kořenových čistíren odpadních vod.

2 Cíle diplomové práce

Diplomová práce se bude zabývat způsoby čištěním odpadních vod a výstavbou nové kořenové čistírny odpadních vod situovanou ve městě Nová Paka. Literární rešerše se bude zabývat popsáním způsobů čištění jak v mechanicko-biologických čistírnách odpadních vod, tak v kořenových čistírnách odpadních vod. V praktické části bude vyhodnocen stav čištění odpadních vod ve městě Nová Paka. Efektivita provozu tohoto zařízení a vyhodnocení výsledků po modernizaci. Vlastní projekt bude návrh pro výstavbu nové kořenové čistírny odpadních vod ve městě Nová Paka. Jedním z důvodů výstavby kořenové čistírny odpadních vod je, že se majitelé nemovitostí nemohou napojit na veřejnou kanalizaci, protože veřejná kanalizace v tomto místě ještě nenachází. V okrajové části města Nová Paka obyvatelé u stávajících, tak i nových domů museli řešit likvidaci odpadních vod žumpou, malou domovní čistírnou anebo jímkou. U nových rodinných domů to byla vždy domovní čistírna odpadních vod.

V letošním roce se v lokalitě chystá výstavba nových rodinných domů a město při budování „satelitního městečka“ připravuje kanalizaci a stávající domy mají možnost se na veřejnou kanalizaci napojit s tím, že budou platit tedy i stočné, do této doby platili obyvatelé jen vodné. Dokončení modernizace bylo 31.7.2013. Diplomová práce se zaměřuje nejen na návrh kořenové čistírny, ale i na projekt budování kanalizace v této okrajové části města Nová Paka a bude zjištěno kolik, stávajících rodinných domů se bude moci napojit anebo zda vůbec mají zájem o napojení, když v minulosti již vynaložili finanční prostředky na domovní čistírny odpadních vod.

3 Literární rešerše

3.1 Historie čištění odpadních vod

První kanalizační sítě byly vybudovány už ve starověku. Podle archeologických nálezů byla funkční kanalizační síť například v Mezopotámii ve 3. tisíciletí př. n. l., kanalizační stoky byly budovány z pálené hlíny. V době rozkvětu Římské říše byla vodovodní a kanalizační síť Říma velmi důmyslná. Město bylo zásobováno vodou z více jak 10 velkých vodovodů. Kanalizační systém odváděl odpadní vodu do řeky Tibery. Dodnes se dochovala Cloaca Maxima, doslova to znamená „velká stoka“. Konstrukce obsahuje nepravou klenbu, dosahuje šířky 3 m a výška je 4 m. Podobný kanalizační systém se rozšířil po Římské říši v kombinaci s akvadukty. Cloaca Maxima skvěle sloužila Římskému impériu, a dokonce fungovala i po jeho pádu. Nedávno se i zbývající části města připojily do moderní kanalizace hlavně kvůli působení řeky. Co se týká historie odvádění a čištění vody v Praze, tak ta sahá až do počátku 14. století, kdy je doloženo, že v roce 1310 byl odvodněn dům probošta v Ostruhové, dnes Nerudově ulici. Většina pražských domů sice měla žumpy, či spíše jen hnojiště, pro „člověčí i dobytčí odpad“, avšak pomyje Pražané běžně vylévali na ulici. Jejich odvodnění se zlepšilo poté, co se začaly dláždit ulice. Mezníkem se stal rok 1621 s nařízením, které majitelům nemovitostí uložilo povinnost zhotovit trativody a záchody, aby nečistoty netekly do ulic. Byl také ustanoven dozorce nad čistotou pražských měst. Mimořádným dílem byla stoka, kterou v roce 1673 vybudovali jezuité pro odvodnění Klementina. I přes technické možnosti se ani dalších sto let nic nezměnilo. Pražský magistrát si poté uvědomil, že hlavní překážkou úspěšného čištění ulic je absence podzemních stok. Navrhl zřídit v ulicích „hlavní kanály“, do kterých by ústily odpady z jednotlivých domů. Do roku 1830 bylo vybudováno celkem 44 km stok se 35 výpustěmi do Vltavy. Práce na hlavních stokách kanalizační sítě začaly v září roku 1897 a 9. září 1901 byla zahájena stavba bubenečské čistírny odpadních vod (Broncová 2002).

3.2 Způsoby čištění odpadních vod

Čištění odpadních vod lze provádět třemi způsoby, které můžeme mezi sebou kombinovat nebo doplňovat (Sojka 2013):

- ✚ mechanické čištění
- ✚ fyzikálně chemické čištění
- ✚ biologické (aerobní, anaerobní) čištění

Kvalita čištění odpadních vod závisí na mnoha faktorech. Jedná se zejména o dobu zdržení čištěné vody v systému čištění, teplotu a látkové zatížení. Zejména u domovních čistíren hraje roli i používání čisticích prostředků v domácnosti. Kombinací mechanických, fyzikálně-chemických a biologických způsobů čištění docílíme vyššího účinku při odstraňování znečišťujících látek z odpadních vod (HEY et al. 2017).

3.3 Mechanické čištění

Mechanické čištění je nejzákladnější a nejjednodušší způsob odstranění znečištění z odpadních vod. Mechanické čištění je v čistírně odpadních vod vždy prvním stupněm čištění. Odpadní voda bývá do čistíren odpadních vod přiváděna hlavní stokou kanalizační sítě. Na místě, kde vtéká na začátek čistírenského procesu jsou lapáky štěrku, které zachycují velké předměty. Lapák štěrku je jímka, situovaná těsně před čistírnou na přivaděči odpadních vod. Tím, že lapák štěrku zachytí velké předměty (cihly, štěrk), jsou další zařízení čistírny chráněna před poškozením. Následují česle, které odstraní hrubé plovoucí nečistoty jako jsou zbytky ovoce, zeleniny, větve. Následuje lapák písku často v kombinaci s lapákem tuků. Jeho cílem je oddělit písek od organických nerozpuštěných látek. Poslední části pro mechanické čištění je usazovací nádrž. Podle způsobu protékání odpadní vody ji dělíme na pravoúhlé s horizontálním průtokem, kruhové s horizontálním průtokem a vertikálně protékané nádrže (Sojka 2001).

3.4 Fyzikálně – chemické čištění

Způsob tohoto čištění je tvořen směšovacími stupněmi, ve kterém se nachází srážedlo, popřípadě flokulant – vločkové činidlo, které odděluje pevné látky od kapalin. Tyto látky jsou míseny s vodou při vzniku vloček, což je chemický kal. Tento způsob je používán při čištění průmyslových odpadních vod, jako je například elektronický průmysl při výrobě polovodičů, kdy odpadní voda běžně obsahuje různá rozpouštědla, soli, jemné částice oxidů a další organické a anorganické sloučeniny. Toto fyzikálně-chemické čištění představuje důležitou roli u tohoto zmíněného druhu výroby (Lin 2004).

3.5 Biologické čištění

Biologické čištění je založeno na schopnosti mikroorganismů rozkládat organické látky ve vodním prostředí. Rozkladný proces ovlivňuje řada faktorů. Proces je závislý na kyslíku ve vodě, druhu znečištění, teplotě vody a výskytu toxických látek. Pro správné fungování biologického čištění je potřeba zajistit vhodné podmínky pro zachování biologických pochodů. Rozklad organických látek probíhá v procesu aerobním za přítomnosti molekulárního kyslíku, nebo v procesu anaerobním v prostředí bez přítomnosti kyslíku. Bylo provedeno plno studií na rozklad mikropolutantů v biologickém čištění pomocí vhodných mikroorganismů (Kanaujiya et al. 2019).

3.6 Extenzivní způsoby čištění

Jsou to přírodní způsoby čištění odpadních vod, které v přírodě zajišťují stejně jako u klasických ČOV samočisticí procesy probíhající ve vodním, mokřadním prostředí, ale také v půdě. Čisticí proces zajišťuje vegetace, která utváří vhodné podmínky pro vývoj mikroorganismů, a zároveň pohlcuje menší množství dusíku a fosforu k zajištění tvorby nové

biomasy. Tyto způsoby čištění odpadních vod se nejčastěji využívají u objektů s nepravidelným provozem, například víkendový provoz, kde nelze využívat aktivační procesy (Sojka 2013).

3.7 Mechanicko – biologické čistírny odpadních vod

Mechanicko – biologické čistírny jsou nejpoužívanějším typem čištění městských odpadních vod. Kombinují mechanické a biologické procesy, které přispívají k čištění odpadních vod. K dobrému výsledku je důležitá kvalitní kanalizace a správná obsluha čistírny. V mechanické části čistírny se zajišťuje kvalitní předčištění odpadní vody a v biologické části je aplikován aktivační systém, popřípadě biofiltry či biodisky.

3.8 Mechanicko – biologická čistírna – stupně čištění a procesy čištění

Složení odpadních vod je různé, liší se tedy i použitá technologie čištění. Při čištění prochází odpadní voda celkem třemi stupni. Jsou to mechanický, biologický a chemický. Mechanický stupeň zahrnuje mechanické procesy, které se podílejí na zachycení a sedimentaci částic suspenzí. Mechanický proces máme i v kořenových čistírnách odpadních vod, kdy kořenová čistírna má na tento proces vyšší nároky kvůli prevenci ucpávání filtračního lože. Biologický stupeň využívá biochemickou aktivitu bakterií, které rozkládají za aerobních, i anaerobních podmínek a mineralizují organický materiál. Chemický stupeň čištění snižuje a odbourává zejména fosfor. Tento stupeň většinou samostatně na ČOV nenajdeme (Zhang et al. 2016).

Každý stupeň čištění se skládá z různých procesů a díky nim dochází k čištění. Hlavními procesy, které se podílejí na vyčištění odpadních vod, jsou procesy mechanické a biologické. Do mechanických procesů patří cezení, filtrace, sedimentace, flotace a centrifugace. Biologické procesy se dělí do dvou skupin:

- ✚ Aerobní – aktivační proces, biologické nádrže, biologické filtry, oxidační příkopy,
- ✚ Anaerobní – metanizace a anoxická denitrifikace.

Posledním procesem je chemický, který zahrnuje koagulaci, srážení, oxidaci, redukci, neutralizaci, odpařování, spalování a sorpční, elektrolytické a iontové procesy. Například odpadní vody z myček automobilů, jsou jedním z nejběžnějších typů odpadních vody ve městech. Odpaň vody z myček automobilů obsahují značnou koncentraci různých znečišťujících látek jako jsou, fosfor, dusík, organické látky a obsah olejů. Dle studií bylo zjištěno, že chemické procesy jako je koagulace, se používají k čištění různých typů odpadních vod, včetně textilních odpadních vod a pivovarských odpadních vod a tato metoda se ukázala jako dobře účinná při snižování znečišťujících látek obsažených v odpadních vodách z myček automobilů (Kashi et al. 2021).

3.9 Mechanický stupeň čištění

Mechanický stupeň čištění kombinuje procesy tak, aby byla kvalita vyčištěné vody co největší. Ve většině průmyslových a domovních odpadních vodách je jedním z hlavních stupňů čištění. Umožňuje odstranit až 60 % kontaminantů (Sevostianov et al. 2021).

3.9.1 Hrubé předčištění

Cílem hrubého předčištění je odstranění velkých předmětů i menších částic jako například písku, které by mohly narušit procesy čištění a způsobit případnou poruchu zařízení. K tomuto předčištění se používají česle, lapáky šterku, písku, tuků a plovoucích nečistot.

3.9.2 Lapák šterku

Lapák šterku je prvním zařízením, který je ještě součástí kanalizace a zachytává největší nečistoty jako jsou například kusy cihel apod. Lapák šterku je jámka, ve které se zachytí těžké předměty unášené odpadní vodou po dně stokové sítě.

3.9.3 Česle

Po lapáku šterku následuje další zachytávání o něco menších nerozpuštěných nečistot na česlech. Česla jsou buď hrubá nebo jemná. U menších ČOV jsou někdy jemné česle nahrazeny sítí. Shrabky z česlí jsou velice hygienicky závadné a po vylisování vody je lze kompostovat spalovat nebo uložit na skládku odpadů. Kromě česlí se na ČOV používají tzv. mēlníci česle a desintegrátory, které hrubé nečistoty rozmēlní na jemnou suspenzi, která je usazena v dalších částech ČOV. Tato zařízení jsou používána na malých ČOV, čímž se zjednodušuje postup čištění (Sevostianov et al. 2021).

3.9.4 Lapáky písku

Dalším běžným typem zařízení je lapák písku, jehož úkolem je zachytit písek a jiné minerální částice obsažené v odpadních vodách. Pokud by zde nebyl písek zachycen, mohl by sedimentovat v dalších částech ČOV a poškozovat čerpadla anebo jiná zařízení. Další úlohou lapáku písku je separovat minerální částice od nerozpuštěných organických částic, které je dobré v odpadní vodě ponechat. Na ČOV se objevuje několik typů lapáků písku. Lapák písku je energeticky náročný. V moderních čistírnách odpadních vod jsou zpravidla instalovány mřížemi a primárními usazovacími nádržemi. Všechny typy lapáků pracují na principu rozdílné hustoty minerálních a organických částic, které jsou od sebe odděleny za pomoci odstředivé a gravitační síly. Lapáky písku můžeme rozdělit na ručně a strojně vyklížené a dále na lapáky s průtokem horizontálním, vertikálním a provzdušňované a vírové lapáky. Nejjednodušší je lapák písku s horizontálním průtokem, který se skládá ze dvou nebo více úzkých mělkých žlabů, na jejichž dně se písek usazuje (Sevostianov et al. 2021).

3.9.5 Lapáky tuků

Při zvýšené koncentraci tuků a olejů v odpadních vodách je třeba zvážit zařazení samostatného lapáku tuků. Tuky a oleje, které jsou lehčí než voda, se usazují na hladině odkud jsou ručně nebo strojně stírány do sběrného žlabu. Pokud není použito samostatného lapáku tuků výhodné, jsou tuky zachycovány v usazovací nádrži.

3.9.6 Usazovací nádrže

Poslední fází mechanického čištění jsou usazovací nádrže, ve kterých dochází vlivem gravitační síly k oddělení tuhých částic těžších než voda. Usazovací nádrže jsou nejjednodušší a nejlevnější a nejméně energeticky náročné. Podle způsobu protékání vody nádrží rozlišujeme několik typů nádrží – pravoúhlé s horizontálním průtokem, kruhové s horizontálním průtokem (radiální) a nádrže s vertikálním průtokem (Sevostianov et al. 2021).

3.10 Biologický stupeň čištění

Po mechanickém čištění nastává další stupeň čištění a to biologický. Využívá mikroorganismů, které rozkládají neusaditelné látky a rovněž organické látky a odstraňují dusík a fosfor. Jde o napodobení přirozeného samočisticího procesu, který se běžně vyskytuje v přírodě, ale jeho rychlost a účinnost je větší. Pro mikroorganismy slouží toto znečištění jako výživa a zdroj energie potřebné pro jejich život, růst a množení. Produktem těchto dějů je oxid uhličitý a voda. Biologické čištění dělíme na proces aerobní a anaerobní. Každý proces potřebuje jiné podmínky pro správnou funkci z důvodu různých druhů mikroorganismů. Oba procesy se provádějí v aktivační nádrži. Aktivační nádrž je zhotovena z betonu. Na dně aktivační nádrže se nachází aerační elementy, těmito elementy je přiváděn do nádrže vzduch. Následně je odpadní voda mísená s aktivovaným kalem obsahujícím mikroorganismy, tato směs je intenzivně okysličována za pomoci aeračních elementů. Takto vyčištěná voda je následně vedena do dosazovací nádrže, kde dochází k oddělení kalu od vyčištěné vody. Část aktivačního kalu je následně opět vedena do aktivační nádrže, v níž se bude tento postup opakovat. Zbytek aktivovaného kalu je z dosazovací nádrže odváděn k dalšímu zpracování (Dohányos et al. 1994).

3.10.1 Nitrifikace a denitrifikace

Proces nitrifikace a denitrifikace je proces, při němž dochází ke snížení množství dusíku před vypuštěním do recipientu. Proces je důležitý z důvodu podílení se dusíku na eutrofizaci toků. Dusík je na čistírně odpadních vod odstraňován v aktivační nádrži za pomoci několika stupňů. Nitrifikace je dvoustupňový proces, kdy nejprve se oxiduje amoniakálního dusíku za pomoci bakterií na dusitany a v druhém stupni se oxidují dusitany na dusičnany za pomoci bakterií. Procesy probíhají v aktivační nádrži. Nádrže jsou udělány tak, aby v nich byly aerobní i anoxické zóny kde probíhá proces denitrifikace. Denitrifikace je proces, při kterém

jsou dusičnany a dusitany redukovány na plynný dusík za pomoci mikroorganismů. Nejběžnější a neúčinnější metodou používanou k odstranění amoniaku z odpadních vod je tedy biologický proces nitrifikace a denitrifikace (Obaja et al. 2003).

3.10.2 Odstraňování fosforu

Biologické odstraňování fosforu je důležité ze stejného důvodu jako odstraňování dusíku, tedy aby nedocházelo v recipientech k eutrofizaci povrchových vod. Pro tento proces odstraňování fosforu je nutné upravit provoz. To musí zahrnovat střídání aerobních a anaerobních zón. Také jsou nutné bakterie, které jsou schopny akumulovat ve svém těle fosfor. V aerobním prostředí dochází v buňkách bakterií k oxidaci PHB (Polyhydroxyalkanoáty), při této reakci se uvolňuje energie a tato energie je následně využívána k akumulaci ortofosforečnanů v tělech bakterií. Fosfor uložený v bakteriích se poté dostává do kalu, kaly jsou pak dále zpracovány na čistírně v kalovém hospodářství (Dohányos et al. 1994; Hlavínek et al. 2001).

3.10.3 Kalové hospodářství

Kalové hospodářství jsou procesy, při kterých se z přebytečného kalu snažíme dostat co nejvíce vody, aby bylo kalu co nejméně pro další možné využití kalů. Kal se skladuje v kalových nádržích, ve kterých se střídá proces provzdušňování, sedimentace, zahušťování kalu a odvod přebytečné kalové vody. Při tomto procesu se uvolňuje bioplyn, ten je možno jímat a následně využívat v kogenerační jednotce na výrobu energie. Pokud nedošlo u kalů ke kontaminaci, můžeme tyto kaly využívat pro zemědělské účely jako hnojivo. Pokud ke kontaminaci došlo, je nutné tyto kaly skladovat na zabezpečených skládkách, anebo je můžeme spalovat. Kaly lze také zpracovávat aerobně a anaerobně v procesu stabilizace kalu. Hygienizace slouží ke snížení množství patogenních a dalších živých organismů. Hygienická stabilizace napomáhá k zamezení pachových a hygienických problémů při skladování. Nejčastěji se používá u malých čistíren pomocí přidání vápna do kalu a následného dobrého promísení směsí. Další metoda je spalování kalů a tato metoda je náročná na úpravu kalu, aby měl dostatečnou výhřevnost a je to i drahá metoda zpracování čistírenských kalů (Kyncl 2007).

3.11 Výhody a nevýhody mechanicko – biologického čištění odpadních vod

K výhodám mechanicko – biologického čištění odpadních vod oproti kořenovým patří:

- ✚ vysoká účinnost odstranění dusíku a fosforu
- ✚ snadná regulace provozu
- ✚ nejsou náročné na zábor plochy

K nevýhodám mechanicko – biologického čištění odpadních vod oproti kořenovým patří:

- ✚ velká spotřeba elektrické energie
- ✚ náročnost na údržbu
- ✚ vysoké provozní náklady
- ✚ stavby čistíren nejsou většinou estetické

3.12 Centralizované a decentralizované způsoby čištění

Centralizované způsoby čištění popisují klasické mechanicko-biologické čistírny a netradiční extenzivní způsoby čištění, jako jsou kořenové čistírny a stabilizační nádrže. Decentralizované způsoby popisují bezodtokové jímky, septiky a domovní čistírny odpadních vod. Mnoho projektantů v případě potřeby nové výstavby bylo přinuceno zkoumat relativní výhody centralizované versus decentralizované kapacity čištění odpadních vod (Woods et al. 2013).

V decentralizovaném čištění odpadních vod se osvědčily kořenové čistírny odpadních vod, zejména díky své údržbě, začlenění do krajiny a spotřebě energie ve srovnání s technickým čištěním odpadních vod (Zehnsdorf et al. 2018).

3.12.1 Jímka

Odpadní jímky neboli žumpy nejsou podle zákona vodohospodářským dílem a navrhuji se v případech, kdy nelze likvidovat odpadní vodu prostřednictvím kanalizační sítě. Jímky jsou podzemní nádrže bez odtoku, z vodotěsného a plynotěsného materiálu. Slouží k akumulaci splaškové vody z rodinných domů. Obsah jímky musí být pravidelně vyvážen na čistírny odpadních vod, kde je následně zneškodněn. Vyrábějí se v provedení betonovém a ty modernější ve variantě plastové. Plastové jímky se vyznačují nízkou hmotností, snadnou montáží, osazením a dobrými těsníci vlastnostmi. Poklop jímky se vyrábí z litiny o průměru nejméně 600 mm s uzamčením. Potrubí pro přítok je napojeno poblíž vstupu a jeho osa směřuje mimo vstupní otvor, pod kterým se nachází čerpací prohlubeň. Tepelná izolace obsahu žumpy se provádí umístěním hladiny nejméně 1 m pod terén a zasypaním stropu žumpy zeminou. Pro kontrolu maximální hladiny odpadní vody v žumpě je vhodné instalovat signalizaci. Při kolaudaci je nutné předložit protokol o zkoušce vodotěsnosti, která se provádí podle norem před obsypáním zeminou. Jímky se dávají ve vzdálenosti alespoň 1 m od domu a v místě, které je dostupné pro fekální vůz. Pokud je u rodinného domu domovní studna musí být vzdálenost jímky od této studny nejméně 5 m při málo propustných horninách (svahové hlíny, spraše, pískovce s jílovým tmelem apod.) (Sojka 2004).

Při standardním vybavení rodinných domů (vodovodní přípojka, WC, koupelna) předpokládaná spotřeba vody 100 l/osoba/den, což vyžaduje jímku velikosti 15–20 m³ pro čtyřčlennou rodinu (Eviweb 2009).

Výpočet objemu jímky: $V = n \cdot q \cdot t$ (m³) kde n je počet obyvatel, q je specifická spotřeba vody, t je interval vyvážení.

3.12.2 Septik

Efektivnější způsob nakládání s odpadními vodami nabízí septik, který na rozdíl od jímky vodu nejen shromažďuje, ale i částečně čistí. Septik má obvykle dvě až tři komory a funguje jako průtočná a usazovací nádrž s přítokem a odtokem. Vyrábí se v provedení kulatém nebo hranatém. Pevné a plovoucí organické látky jsou anaerobně rozkládány. Odpadní vody jsou postupně zbavovány kalu, který se usazuje. Kal je nutné jednou ročně odčerpat a fekálním vozem odvézt. Pravidelnost odvozu závisí na počtu osob v domácnosti. Doporučená doba zadržování vody v septiku je 3–5 dní a z hlediska funkce je důležitý dostatečný objem septiku, což je přibližně 0,6 m³ na obyvatele. Jako dočišťovací jednotka slouží jako jedna z možností zemní filtr, který se zapojuje za septik. Filtrem rozumíme většinou plastový kontejner naplněný hrubým pískem smíchaným se šterkem nebo koksem. Vrchní část tvoří 10 cm vrstva vypraného písku, kterou je nutné během provozu měnit. Výhodou septiků je energetická a provozní nenáročnost a malé provozní náklady (Withers et al. 2014).

Tento způsob čištění se nepoužívá jen v České republice, ale více než čtyřicet milionů lidí ve Spojených státech v současné době používají k likvidaci odpadních vod septiky. Je pasivní bez energetické náročnosti a poskytuje nákladově nejefektivnější formu čištění odpadních vod, která je k dispozici pro neprůmyslové odpadní vody (Bedinger 1997).

3.12.3 Domovní čistírna odpadních vod

Nejlepší, ekologický a hygienický způsob čištění odpadních vod nabízí domovní čistírny odpadních vod, dále jen DČOV. Z hlediska správného fungování je důležitá nejen realizace, ale také správný provoz a údržba čistírny. DČOV jsou složitější technologie a jejich funkčnost závisí na nepřetržitém, odborném a bezpečném provozu, který musí provozovatel zajišťovat. Základem čištění v DČOV jsou nejčastěji biologické procesy probíhající v aerobních či anaerobních podmínkách. Odpadní vody jsou čištěny mikroorganismy ve vzhledu nebo mikroorganismy na nosiči. Volba konkrétního systému závisí na lokálních podmínkách a požadavcích. DČOV jsou dodávány spotřebiteli jako certifikované výrobky. V zájmovém území máme zastoupený typ domovní čistírny odpadních vod MČA 6, jejíž schéma je znázorněno na Obrázku č. 1.

Tento typ DČOV je určen k čištění splaškových odpadních vod z malých zdrojů znečištění – rodinných domů, menších bytových jednotek, penzionů, rekreačních zařízení, hotelů či malých provozoven. Uplatnění nacházejí v lokalitách, kde není vybudována veřejná kanalizace s čistírnou odpadních vod nebo kde je nutno vybudovat čistírnu pro dočasný provoz. Technologický proces čištění odpadních vod je navržen jako mechanicko-biologický. Přebytečný biologický stabilizovaný kal z procesu čištění se periodicky odčerpává a likviduje odvozem v tekuté formě cisternovými vozidly, nebo aplikací na vlastní pozemky s odsouhlasením příslušných orgánů.

Biologická čistírna odpadních vod MČA 6 je koncipována jako kompaktní zařízení jehož základem je vodotěsná kruhová nádrž vybavená technologickou vestavbou, kterou tvoří primární nádrž – usazovací prostor, aktivace – aktivační část a dosazovací nádrž. Na dně nádrže aktivace je umístěn jemnobublinný aerační element. Dosazovací nádrž s konickým dnem je osazena dvěma vzduchovými čerpadly (mamutkami), která propojují tento prostor s primární nádrží, resp. s aktivací. Jako zdroj technologického vzduchu je použit vzduchový kompresor.

Rozvod a regulace množství vzduchu přiváděného k jednotlivým spotřebičům zajišťuje vzduchový rozdělovač a elektroventil. Časový režim provzdušňování a přečerpávání vratného kalu je řízen dvojicí spínacích hodin.

Konstrukční řešení typové řady MČA vychází ze statistických výpočtů provedených na základě podmínek pro jejich instalaci. Jsou koncipovány jako samonosné určené k uložení do země a následnému obsypu inertním materiálem bez nutnosti obetonování. Zakrytí MČA 6 je řešeno lehkým laminátovým nebo pochozím plastovým víkem.

Kapacita čistírny vyjádřená počtem připojených obyvatel je 2-6 EO. Zatížení čistírny odpadních vod v BSK₅ je 0,25g/den a množství odpadní vody je 0,2-0,9 m³/den (Ekosystém 2003).

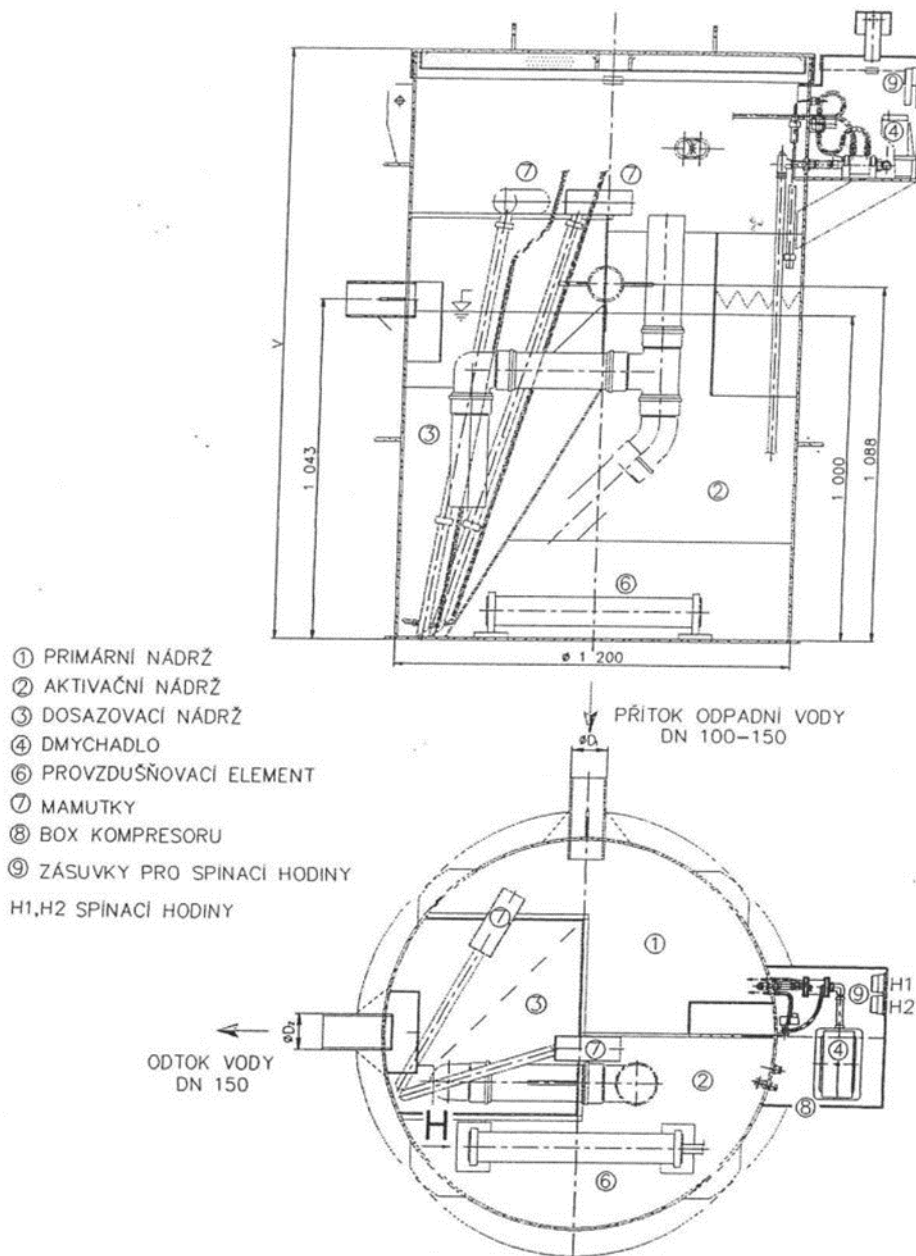
Splašková odpadní voda přitéká přívodním kanalizačním potrubím z objektu do primární nádrže ČOV, kde dochází k separaci usaditelných nerozpuštěných látek a plovoucích nečistot. Zároveň zde dochází k anaerobní stabilizaci těchto látek společně s aktivovaným přebytečným biologickým kalem přečerpávaným mamutkou z dosazovací nádrže. Z primární nádrže protéká odpadní voda zbavená většiny nerozpuštěných látek přepadem za nornou stěnu v přepážce mezi aktivační a usazovací části do aktivace. Zde probíhá biologické čištění odpadní vody aktivovaným kalem za intenzivního okysličování jemnobublinným aeračním elementem umístěným na dně nádrže aktivace. Přívod vzduchu je časově regulován, čímž je zároveň řízen proces denitrifikace, tedy celý proces zvýšeného odstraňování dusíku. Tlakový vzduch potřebný k eliminaci organického znečištění slouží také k promíchávání aktivace. Směs biologického kalu a odpadní vody – aktivační směs dále protéká přes odplyňovací kolonu do dosazovací nádrže, kde dochází k usazení biologického kalu. Vyčištěná odpadní voda odtéká odtokovou kanalizací z čistírny.

Biologický kal usazený v dosazovací nádrži je odčerpán pomocí hydraulicko-pneumatických čerpadel (mamutek) jednak do aktivace jako vratný kal, jednak do primární nádrže jako přebytečný kal. Čerpaným množstvím těchto kalů je regulována koncentrace kalu v aktivaci a stáří kalu. Zdrojem technologického vzduchu pro provzdušňování aktivace a zároveň pro provoz čerpadel vratného a přebytečného kalu je kompresor umístěný v samostatném boxu vně tělesa čistírny.

Vyčištěnou odpadní vodu lze podle zákona o vodách č. 254/2001 Sb. vypouštět dle místních podmínek do vhodného recipientu, vždy však po schválení příslušným vodohospodářským orgánem. Tam, kde není reálná možnost napojit se na vhodný recipient, lze vyčištěnou odpadní vodu využít pro zavlažování volných ploch a zahrad. V tomto případě je nutné doplnit vlastní DČOV o přídatnou nádrž na akumulaci vyčištěné odpadní vody s čerpáním.

Zpracování MČA 6 lze provést pomocí dovozu 50 l očkovacího kalu z dobře fungující biologické aktivační ČOV. Trvalý provoz biologických čistíren odpadních vod typové řady MČA zajišťuje majitel zařízení. Samotný provoz a technologický proces je plně automatický.

Pro dobré fungování je zapotřebí pravidelně kontrolovat DČOV. Kontrolu můžeme dělit na procesy, které můžeme provádět 1x týdně, kam spadá například vizuální a sluchová kontrola chodu kompresoru a vizuální kontrola čistoty vypouštěné odpadní vody. 1x měsíčně je to kontrola množství kalu v primární nádrži, kontrola průchodnosti odvětrání a čistoty boxu pro kompresor.



Obr. č.1 Schéma MČA 6 standard (Ekosystém, 2003)

3.13 Kořenové čistírny odpadních vod

Kořenové čistírny řadíme do kategorie dle předchozího rozdělení do extenzivního způsobu čištění odpadních vod, které využívají přirozeného procesu samočištění. Ten probíhá v půdním, vodním i mokřadním prostředí. Důležitou roli zde hraje vegetace, podílející se na čistícím procesu. Tvoří vhodné podmínky pro rozvoj mikroorganismů a také využívá živiny k tvorbě biomasy. V současné době je v České republice v provozu cca 280 kořenových čistíren odpadních vod a prakticky všechny jsou navrženy s horizontálním podpovrchovým průtokem. Tento počet nemusí být konečný především proto, že přesný počet malých domovních čistíren

odpadních vod lze zjistit jen velmi obtížně. Až na několik výjimek byly všechny kořenové čistírny v České republice navrženy pro čištění splaškových odpadních vod. (Zehnsdorf et al. 2018).

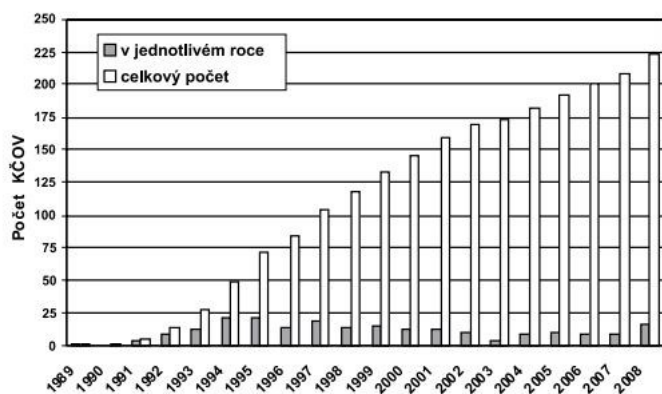
3.14 Historie kořenových čistíren

Přírodní mokřady se využívají pro čištění odpadních vod již více než sto let. Ve většině případů šlo nejdříve o pouhé vypouštění odpadních vod do mokřadů, které byly dříve považovány jen za bezcenné biotopy (Vymazal 2004).

První pokusy o využití mokřadů při čištění odpadních vod byly provedeny v 50. letech 20. století a úplně první čistírna v Evropě byla postavena v roce 1974 v Othfresen v Německu (Vymazal 2010).

Jednalo se o typ čistírny s vynořenými rostlinami. Tento typ se v Německu osvědčil, dnes je jich tam více než 50 000. V České republice je historie těchto čistíren kratší. První zmínka o kořenové čistírně u nás se datuje do roku 1987 a plně funkční čistírna byla dokončena v roce 1989. Tato čistírna se nachází v Petrově u Jílového a byla původně navržena pro čištění dešťových splachů ze silážního pláta. Kvůli odpadním vodám z mlékárny byla postavena čistírna v Kačici u Slaného. Od roku 1991 nastal velký rozvoj výstavby těchto čistíren (Vymazal 1995).

V České republice se podařilo postavit více než 250 funkčních kořenových čistíren. Přesné číslo se bohužel zjistit nedá, protože mnoho z nich není evidováno. Jsou to zejména malé čistírny u rekreačních objektů, chat nebo rodinných domů. Vývoj počtu kořenových čistíren je znázorněn na Obrázku č. 2 (Vymazal 2009).



Obr. č. 2 Znázornění vývoje počtu Kořenových čistíren v ČR v jednotlivých letech v období od roku 1991 do roku 2008 (Vymazal 2009).

3.15 Co je umělý mokřad?

Kořenové čistírny jsou v podstatě umělým mokřadem. Co si můžeme pod tímto termínem představit, nejlépe vystihuje definice umělého mokřadu.

Umělý mokřad je ekosystém vytvořený člověkem. Je to integrovaný systém – komplex vody, rostlin, živočichů, mikroorganismů a abiotických složek prostředí, které spolu interagují, a tím zlepšují kvalitu vody (Gelt 1997).

3.15.1 Rozdělení umělých mokřadů

Umělé mokřady můžeme rozdělit podle několika kritérií, a to podle druhu vegetace a způsobu průtoku odpadní vody. Kompletní rozdělení nám ukazuje Obrázek č. 3 (Vymazal 2004).

Podle vegetace, lze umělé mokřady rozdělit na tři základní skupiny:

- ✚ mokřady s plovoucími rostlinami
- ✚ mokřady s ponořenými rostlinami (submerzními rostlinami)
- ✚ mokřady s vyořenými rostlinami (emerzními rostlinami)

Podle způsobu průtoku dělíme mokřady na:

- ✚ mokřady s vertikálním průtokem
- ✚ mokřady s horizontálním průtokem

3.15.1.1 Umělé mokřady s plovoucími rostlinami

Pro tento způsob čištění je využíván vodní hyacint. Výhodou vodního hyacintu je jeho dobrá snášenlivost na velké zatížení a jeho nevýhodou je jeho limitace teplotou (10 °C). Při teplotách pod 10 °C dochází ke snížení nitrifikace a při dalším poklesu pod 5 °C až k zastavení nitrifikace (Vymazal 2004).

Studie provedená na ropných odpadních vodách ukázala, že vodní hyacint vykazuje nejen dobrou snášenlivost na velké zatížení, ale i velkou adaptabilitu na slanost odpadních vod (De Casabianca & Laugier 1995).

3.15.1.2 Umělé mokřady s ponořenými rostlinami

Ponořené rostliny mají fotosyntetické orgány ponořeny ve vodě, díky tomu jsou schopny asimilovat živiny přímo z vody. Jedná se o rozmanité druhy rostlin jak z hlediska morfologického, tak i ekologického. V oligotrofních vodách rostou především malé druhy, je

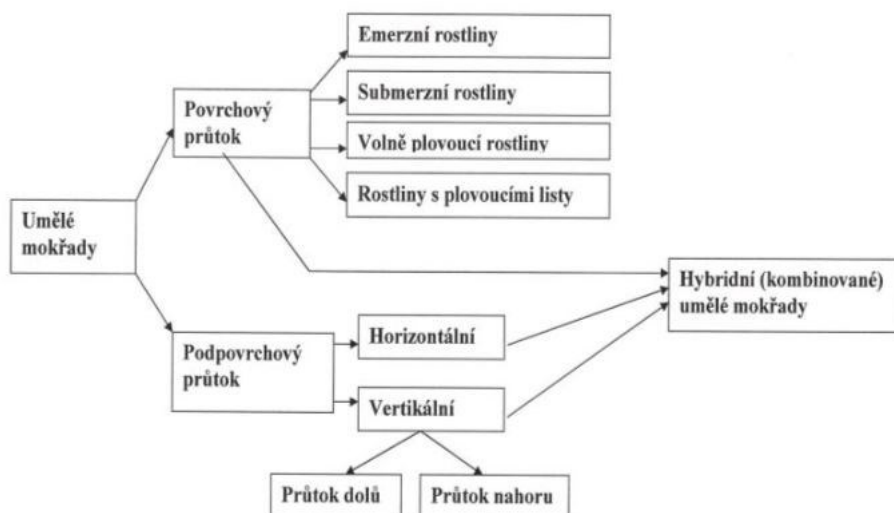
to například šídlatka jezerní. Oligotrofní vody jsou tekoucí nebo stojaté vody s nízkým obsahem živin, zejména dusíku a fosforu. V eutrofních vodách se vyskytují i větší druhy jako například vodní mor kanadský. Eutrofní vody jsou stojaté a tekoucí vody s vysokým obsahem živin, zejména dusíku a fosforu, ale obvykle chudé na kyslík. Eutrofní vody jsou většinou průzračné do hloubky 1–2 m. Podmínkou pro použití ponořených rostlin je dobře prokysličená voda, to se o většině odpadních vod říct nedá, proto jsou tyto systémy využívány pro dočišťování (Vymazal 1995).

3.15.1.3 Umělé mokřady s vynořenými rostlinami

Mokřady s vynořenými rostlinami jsou jednoznačně nejrozšířenější skupinou umělých mokřadů a můžeme je rozdělit do tří hlavních skupin:

- ✚ mokřady s povrchovým tokem
- ✚ mokřady s podpovrchovým horizontálním tokem
- ✚ mokřady s podpovrchovým vertikálním tokem

Nejčastěji používaným typem umělých mokřadů pro čištění odpadních vod je systém s podpovrchovým horizontálním tokem. Základním principem tohoto způsobu čištění je horizontální průtok odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadními rostlinami. Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k ucpávání a následnému povrchovému odtoku (Vymazal 1995).



Obr. č. 3 Rozdělení umělých mokřadů pro čištění odpadních vod (Vymazal 2004).

3.15.1.4 Umělé mokřady s vertikálním průtokem

Vertikální kořenová čistírna je taková, kterou přitéká odpadní voda povrchově anebo podzemně. Vertikální s dolním prouděním, kde je odpadní voda přiváděna na povrch, mělce pod povrch kořenové čistírny. V zimním období se rozdělovací potrubí umísťuje do zamrzné hloubky. Odpadní voda se filtruje porézním prostředím a je odváděna sběrným drénem uloženým na dně těsněné jímky. Před zimou se kořenová čistírna zatopí a povrch se nechá zamrznout a odpadní voda je přiváděna pod ledem. Druhý druh je vertikální s horním prouděním, kde je odpadní voda přiváděna těsně u dna kořenové čistírny do rozdělovacího potrubí, filtruje se ve filtračním prostředí směrem vzhůru, na povrchu přepadá do sběrného žlabu a je odváděna sběrným drénem pod povrchem. Povrch kořenové čistírny se krátkodobě zatopí, aby zničil plevel (Šálek & Tlapák 2006).

V současné době se nejvíce navrhuje kořenové čistírny s vertikálními pulzně skrápěnými filtry. Tyto technologie splňuje požadavky na nejlepší dostupné technologii. U těchto filtrů je mechanicky předčištěná voda pulzně přiváděna na celý povrch kořenového filtru.

Od roku 2000 bylo provedeno v Dánsku několik výzkumů s cílem vyvinout systém vybudovaných mokřadů, který bude splňovat nejpřísnější třídu čištění. Tyto studie, stejně jako výzkumy prováděné v jiných zemích, prokázaly, že systémy vybudovaných mokřadů s vertikálním průtokem byly schopny splnit nejpřísnější třídu čištění (Brix 2005).

3.15.1.5 Umělé mokřady s horizontálním průtokem

Horizontální kořenová čistírna je taková, na kterou přitéká odpadní voda povrchově nebo podpovrchově. Horizontální kořenová čistírna s povrchovým prouděním slouží k čištění odpadních a znečištěných povrchových odpadních vod. Horizontální podpovrchové proudění slouží čištění srážkových, splaškových odpadních vod a dočištění. Horizontální kořenové čistírny s povrchovým průtokem jsou umělé mokřady s volnou vodní hladinou. Horizontální kořenové čistírny odpadních vod s podpovrchovým průtokem se skládají z filtračního lože, které je osázeno mokřadními nebo vlhkomilnými rostlinami (Vymazal 1995; Šálek & Tlapák 2006).

V roce 2003 byl uveden do provozu vybudovaný mokřad Břehov. Je to typický horizontální systém podpovrchového proudění k čištění komunálních vod v České republice (Kröpfelová 2008).

3.16 Průběh čištění v kořenových čistírnách odpadních vod

Kořenové čistírny odpadních vod (dále jen KČOV) využívají samočisticí pochody, které probíhají v porézním půdním prostředí za spoluúčasti rostlin (Šálek et al. 1996).

V kořenových čistírnách dochází k biologickému stupni čištění a je tedy důležité před vlastním čištěním provést mechanické předčištění.

3.16.1 Předčištění

Jedním z nutných předpokladů úspěšného použití kořenových čistíren je dobré mechanické předčištění odpadních vod. Pro nejmenší zdroje znečištění (do 50 EO) se nejčastěji používá pouze septik. Pro větší zdroje splaškových vod je nejvýhodnější použití kombinace česlí a šterbinové nádrže. V případě, že jsou na čistírnu vedeny vody z jednotné kanalizace, je nutné zařazení lapáku písku a dešťového přelivu. Kvalitní a plně funkční mechanický stupeň čištění odpadních vod rozhoduje nejen o výsledném čistícím účinku vegetačních kořenových čistíren, ale i o její životnosti (Šálek 1999).

Prvním článkem na čistírnách jsou česle. Před KČOV se zpravidla navrhují jako jemné česle. Další je septik, což je zařízení sloužící k mechanicko-biologickému předčištění před KČOV. Pro správnou funkci septiku je nutné při jeho vyvážení (mělo by být minimálně jednou ročně) ponechat na dně vrstvu vyhnílého kalu jako očkovacího kalu. Vyhníly kal je kal, který byl anaerobně stabilizovaný. Očkovací kal se používá například na zapracování domovní čistírny odpadních vod z dobře fungující biologické aktivační ČOV. Dále je lapák písku, který slouží k zachycení písku a minerálních částic o velikosti zrn nad 0,1 – 0,2 mm. Jako poslední je možné zmínit šterbinovou nádrž. Jedná se o etážové nádrže, které mají v horní etáži usazovací prostor oddělený od prostoru vyhnívajícího. Výhodou je jednoduchá obsluha. Půdorys nádrží je čtvercový, obdélníkový, kruhový nebo oválný.

3.16.2 Filtrační lože

Filtrační lože je prostředí, jímž proudí čištěná odpadní voda. Tvoří prostředí pro zakořenění a růst rostlin a život mikroorganismů. Filtrační lože je odděleno od podloží nepropustnou vrstvou, nejčastěji plastovou folií, aby nedocházelo k nekontrolovatelným průsakům do podloží a následnému znehodnocování podzemních vod. Plastovou folii je nutné ochránit před poškozením například geotextilií (Cooper 1993).

Ve Velké Británii bylo od roku 1985 uvedeno do provozu více než 120 kořenových čistíren, které využívají zrnitost materiálu 5-10 mm, případně 3-6 mm, a dosud ani jeden systém netrpí ucpáváním a následným povrchovým odtokem (Cooper & Green 1995).

Hloubka lože je většinou 60 až 80 cm a substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k ucpávání. V současné době se nejvíce používá praný štěrk, drcené kamenivo nebo kačírek o zrnitosti 4/8 nebo 8/16 mm (Vymazal 1995).

3.17 Vegetace v kořenových čistírnách

Vegetace mokřadů je definována jako hydrofytní vegetace rostoucí ve vodě nebo v substrátu, ve kterém je periodicky kyslíkový deficit v důsledku vodního obsahu mokřadu (Sehar & Nasser 2019).

Přítomnost rostlin v kořenových čistírnách má základní a mnohostranný význam. Kromě kyslíku do filtračního lože, rostliny poskytují podklad pro růst různých druhů bakterií, které jsou vázány na podzemní část rostlin, zateplují povrch kořenové čistírny, poskytují organické látky potřebné pro mikrobiální metabolické procesy, například pro denitrifikaci, svými kořeny vylučují řadu baktericidních látek, dále plní nezanedbatelnou funkci estetickou a ekologickou (Vymazal 1995).

Ve světě se používá celá řada mokřadních rostlin, u nás je nejčastější rákos obecný, chrastice rákosovitá nebo zblochan vodní. Pro zajištění estetické funkce se používá kosatec žlutý, šmel okoličnatý anebo puškvorec obecný. Kritérii pro výběr vhodných druhů je mnoho. Mělo by se jednat o vytrvalé rostliny s vysokou produkcí biomasy a akumulací živin ve svých tělech. Také je důležitá dobrá množivost a snadná manipulace. Rákos obecný je vytrvalá rostlina, která v našich podmínkách dosahuje výšky až 4 m, čímž se řadí mezi naše největší trávy. V zemi zakořeňuje mohutným plazivým oddenkem a kořeny, které prorůstají do značných hloubek. Všeobecně se uvádí hloubka prorůstání v rozmezí 60-70 cm, ale není výjimka hloubka až 1,5 m. Rákos obecný patří k nejproduktivnějším mokřadním bylinám. Vegetační rozmnožování je velmi intenzivní a děje se dlouhými podzemními oddenky, které dorůstají délky až 5 m nebo nad povrchovými steleny, které mohou dorůstat délky i přes 12 m (Moshiri 1993).

3.18 Účinnost čistícího procesu

Kořenové čistírny jsou navrhovány a dimenzovány hlavně pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek. Účinnost čištění, která je dosahována v České republice, je srovnatelná s účinností kořenových čistíren odpadních vod po celém světě. Na Obrázku č. 4 je uveden celkový přehled funkcí kořenových čistíren odpadních vod v České republice (Vymazal 2004).

Parametr	Přítok [mg.l ⁻¹]	Odtok [mg.l ⁻¹]	Účinnost [%]	n *	N **
BSK ₅	150	14,4	85,8	184	65
CHSK _{Cr}	333	53	76,1	109	40
Nerozpuštěné látky	165	11,9	84,8	125	44
N _{celk}	56	27,6	47	37	16
N-NH ₄ ⁺	27,5	18	33,4	77	31
N-NO ₃ ⁻	5,8	2,45	40,9	31	12
P _{celk}	6,8	3,3	41,4	68	26

Obr. č. 4: Účinnost kořenových čistíren v České republice (Vymazal 2004).

*n – počet ročních průměrů

**N – počet kořenových čistíren odpadních vod

3.18.1 Odstraňování organických látek

Znečištění organickými látkami dle hodnot BSK₅ je odstraňováno velmi efektivně. Rozklad probíhá ve filtračním loži aerobně i anaerobně. Již z dřívějších výzkumů byla zjištěna určitá korelace mezi vstupním a odstraněným organickým znečištěním, proto lze odstraněné množství organických látek předpovědět (Vymazal 2004).

3.18.2 Odstraňování nerozpuštěných látek

Díky filtraci a sedimentaci jsou nerozpuštěné látky odstraňovány opravdu efektivně. Podobně jako organické látky je většina nerozpuštěných látek odstraněna v první části filtračního lože a nezávisí na míře zdržení ve filtračním poli. Účinnost odstraňování také záleží na důkladnosti předčištění. Ve většině případů přesahuje 90 % (Vymazal 1995).

3.18.3 Odstraňování dusíku

Kvůli nedostatku kyslíku ve filtračním loži není efektivita kořenových čistíren při odstraňování dusíku příliš vysoká. Nitrifikace je limitována nedostatkem kyslíku. Proto k ní dochází pouze v těsném okolí kořenů. Kyslík, který se uvolňuje z kořenů, vytváří z amoniakálního dusíku dusičnany, které jsou dále v anoxických částech filtračního lože přeměňovány na plynné formy dusíku. Pokud chceme zvýšit účinnost při eliminaci amoniakálního dusíku, je dobré čistírnu zkombinovat s předřazenými umělými mokřady s vertikálním průtokem, ve kterých dochází k intenzivní nitrifikaci (Vymazal 2007).

3.18.4 Odstraňování fosforu

Odstranění fosforu je velmi důležité, protože jeho zvýšená koncentrace ve vodních tocích může způsobit eutrofizaci. Fosfor je převážně odstraňován chemicko-fyzikálními procesy, tedy absorpcí a srážením ve filtračním loži. Malý podíl cca 5 % má i absorpce rostlinami, která je, jak se ukázalo, neúčinnější na začátku vegetační sezóny, kdy dochází k růstu biomasy (Vymazal 2007).

3.18.5 Odstraňování těžkých kovů

V odpadních vodách z malých sídel nepředstavují těžké kovy příliš velký problém. V kořenových čistírnách odpadních vod se těžké kovy zadržují hlavně v sedimentu a podzemních částech rostlin a jen v malé míře jsou zachycovány v nadzemní biomase. Mezi hlavní faktory, které ovlivňují zadržování těžkých kovů v kořenových čistírnách, patří přítomnost rozpuštěného kyslíku ve filtračním loži, koncentrace organických látek, železa a dusičnanů v odpadních vodách. V aerobních podmínkách se železo oxiduje za vzniku sraženin oxyhydroxidů železa, kdy v této sraženině dochází k souběžnému srážení dalších kovů. V anaerobních podmínkách je železo redukováno a stává se více rozpustným za současného uvolňování dalších kovů do vody. V České republice bylo v období od března 2006

do června 2008 měřeno odstraňování 34 stopových prvků a nejlepší stupně odstranění 90 % byl zjištěn u hliníku. U zmiňovaného železa bylo odstranění v rozmezí 50–75 % (Kröpfelová et al. 2009).

3.18.6 Odstraňování mikrobiálního znečištění

Mnoho studií se zabývalo účinností odstranění bakterií, ukázaly zajímavé výsledky, ale stále je zapotřebí dalších studií (Ghermandi 2007).

Předpokládá se, že největší podíl na odstranění má přirozený úhyn. Také se na odstranění podílí oxidace, působení antibakteriálních látek vylučovaných z kořenů, predace a sedimentace, a z tohoto důvodu je velmi složité určit podíl jednotlivých procesů. U většiny kořenových čistíren je odstraňování koliformních a termotolerantních koliformních bakterií větší jak 90 %, a redukce fekálních streptokoků je většinou větší jak 95 % (Vymazal 2004).

3.19 Výhody a nevýhody kořenových čistíren

K výhodám kořenových čistíren oproti klasickým technologiím patří:

- + nevyžadují elektrickou energii na rozdíl od klasických technologií
- + umějí čistit odpadní vody i s nízkou koncentrací organických látek
- + jsou méně náchylné k haváriím systému
- + jsou součástí krajiny plnicí také estetickou funkci
- + umějí pracovat přerušovaně, na to nejsou klasické čistírny přizpůsobené

K nevýhodám kořenových čistíren oproti klasickým technologiím patří:

- + oproti klasickým čistírnám vyžadují větší plochu
- + méně vhodné pro odstranění amoniakálního dusíku a fosforu
- + nutné velice účinné odstranění nerozpuštěných látek před vstupem vody do filtračního lože.
- + nutnost chránit čistírnu před náletovými rostlinami, které by mohly svými kořeny protrhnout izolační vrstvu
- + velký vliv změn ročních období (v zimě rostliny nefungují) a vliv okolní teploty

4 Zhodnocení podkladových údajů

4.1 Základní údaje o městě a zájmovém území

Nová Paka je město v okrese Jičín v Královehradeckém kraji. Administrativní centrum oblasti Nová Paka se nachází 50 km severozápadně od krajského města Hradec Králové a 100 km severovýchodně od hlavního města Praha. Rozloha města Nová Paka je 2 868,62 ha. Územím prochází silnice I. třídy I/16, dále prochází územím čtyři železniční tratě.

Ve městě žije přibližně 9000 obyvatel a díky rozšiřující se výstavbě nových domů v části města Vlkov se předpokládá, že počet obyvatel bude dále narůstat.

K městu Nová Paka patří čtvrti Štikov, Heřmanice, Vrchovina, Zlámaniny, Přibyslav, Valdov, Studénka, Radkyně, Podlevín, Pustá Proseč, Na Patříně, Vlkov a Kumburský Újezd.

Největší nárůst výstavby je ve čtvrti Vlkov. První zmínka o Vlkově pochází z roku 1392, kdy je zmiňován Mikso ze Slemene a Václav z Vlkova. Poblíž vsi leží lokality nazývané Zlámaniny, Hrádek nebo Na zámkách. Známa je zde tzv. Sopka, která je tvořena čedičem s olivínem amfibolem. Do roku 1813 zde byly zbytky tvrze, ta zmizela v době výstavby nedaleké silnice. V terénu jsou vidět zbytky původní přístupové cesty. Čedičová hornina je dnes již vytěžená. Kumburský Újezd je ves jižně od Nové Paky. Dle Monografie Novopacko (1927) v okolí stavského kostelíka zmiňuje Újezd a Újezdec. Historie obou začíná pravděpodobně v 17. století, v období třicetileté války byly zničeny. Později se podařilo pouze obnovit původní Újezdec, který převzal jméno Újezd. Do roku 1891 patřila ke Kumburskému Újezdu i Pustá Proseč. Pro výstavbu nové kořenové čistírny bude zaměření na Vlkov, kde se rozrůstá výstavba rodinných domů a průmyslové zóny.

Ve městě Nová Paka nejsou žádní významní producenti znečištění.

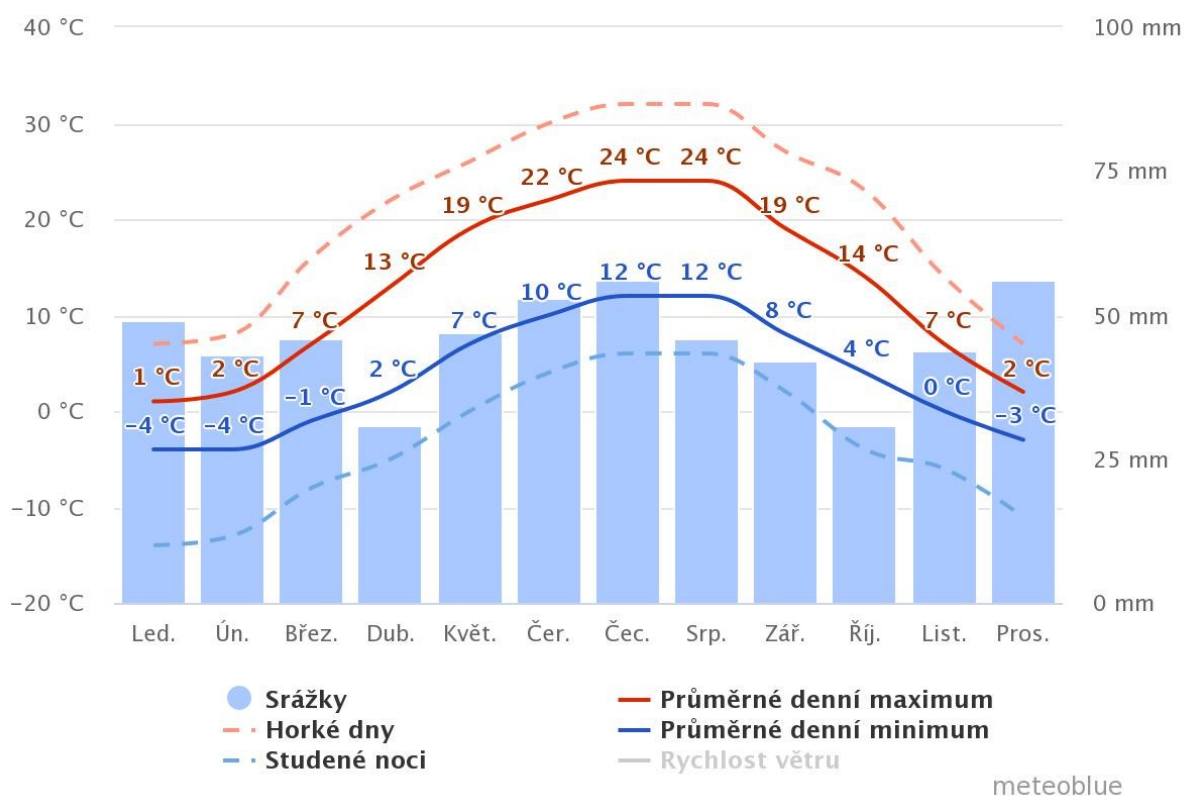
Obytná zástavba na Vlkově, je vesměs rodinnými domy venkovského charakteru. V minulosti zde začala výstavba průmyslové zóny, která je především kancelářského charakteru nebo se jedná o sklady. V nedávné době začala nová zástavba rodinných domů.

Starosta města: Mg. Josef Cogan

4.2 Charakteristika území

V zájmovém území Vlkov žije 31 obyvatel. Území je výškově umístěné ve 427 m n. m. V okolí jsou rozsáhlá pole a lesy. Územím protéká bezejmenný potok, do kterého je vyústění stávající kanalizace. V místě vyústění kanalizace se uvažuje o napojení nové kořenové čistírny odpadních vod. Odtok z kořenové čistírny odpadních vod bude zpět do místního potoka. Město spadá do povodí Labe.

4.3 Klimatické údaje



Obr. č. 5 Ukázka průměrných teplot a úhrnu srážek (Meteoblue 2022).

Obrázek č. 5 nám ukazuje maximální a minimální teploty v Nové Pace a srážky. Přerušované čáry ukazují průměr nejteplejších dnů a nejchladnějších nocí v každém měsíci za posledních 30 let. Vidíme, že srážky jsou v roce rovnoměrně rozloženy. Průměrné roční srážky v Nové Pace v roce 2021 se pohybovaly okolo 774 mm. Nová Paka spadá do oblasti mírně teplé.

4.4 Geologické poměry

Podle regionálního geomorfologického členění České republiky je území součástí:

provincie: Česká Vysočina,

soustavy: Krkonoško – jesenická soustava,

podsoustavy: Krkonošská podsoustava,

celku: Krkonošské podhůří,

podcelku: Podkrkonošská pahorkatina,

okrsků: Staropacká a Novopacká vrchovina (Demek 1987).

Z geologického hlediska je pro toto území typický Podkrkonošský permokarbon s červeně zbarvenými půdami vzniklými lateritickým zvětráváním mateční horniny v aridním klimatu období Permu, ve kterém se místy nacházejí nálezy zkamenělých dřev nahosemenných stromů, částí přesliček a rašelin. Lokálně tímto geologickým podložím pronikají čedičové vyvřeliny jako například kopec Kumburk. Z hlediska pedologické charakteristiky jsou převážně půdním typem kambizemně, typ substrátu – svahoviny sedimentárních hornin, střední.

4.5 Stav kanalizační sítě v zájmové části města Nová Paka

V zájmovém území Vlkov, je vyústění stávající kanalizace do bezejmenného potoka. V této části se nacházejí pozemky, na kterých má vyrůst nová zástavba města Nová Paka. Bude se tu řešit jak příjezdová komunikace k novým rodinným domům, tak komunikace pro přímou obsluhu plánovaných rodinných domů, a to včetně vybudování technické infrastruktury. Bude zde i řešena kanalizace splaškové a dešťové vody. Budou v této oblasti vytvořeny podmínky pro odvedení splaškových vod ze zájmového území prostřednictvím veřejné kanalizační sítě zakončené městskou čistírnou odpadních vod. Součástí řešení jsou i přípojky pro stavební parcely. Přípojky pro nové stavební parcely budou ukončeny vždy přípojkovými šachtami. Kanalizace je navržena jako oddílná pro odvádění odpadních vod ze zájmového území a je řešena prostřednictvím dílčích stavebních objektů (kanalizace splašková a kanalizace dešťová). V rámci této výstavby se bude počítat s napojením stávajících rodinných domů. Tyto rodinné domy, mají své domovní čistírny odpadních vod, septiky nebo jímky, funkce tohoto druhu čištění odpadních vod je vysvětlena v kapitole 5.5.

4.6 Čistírna odpadních vod pro Novou Paku

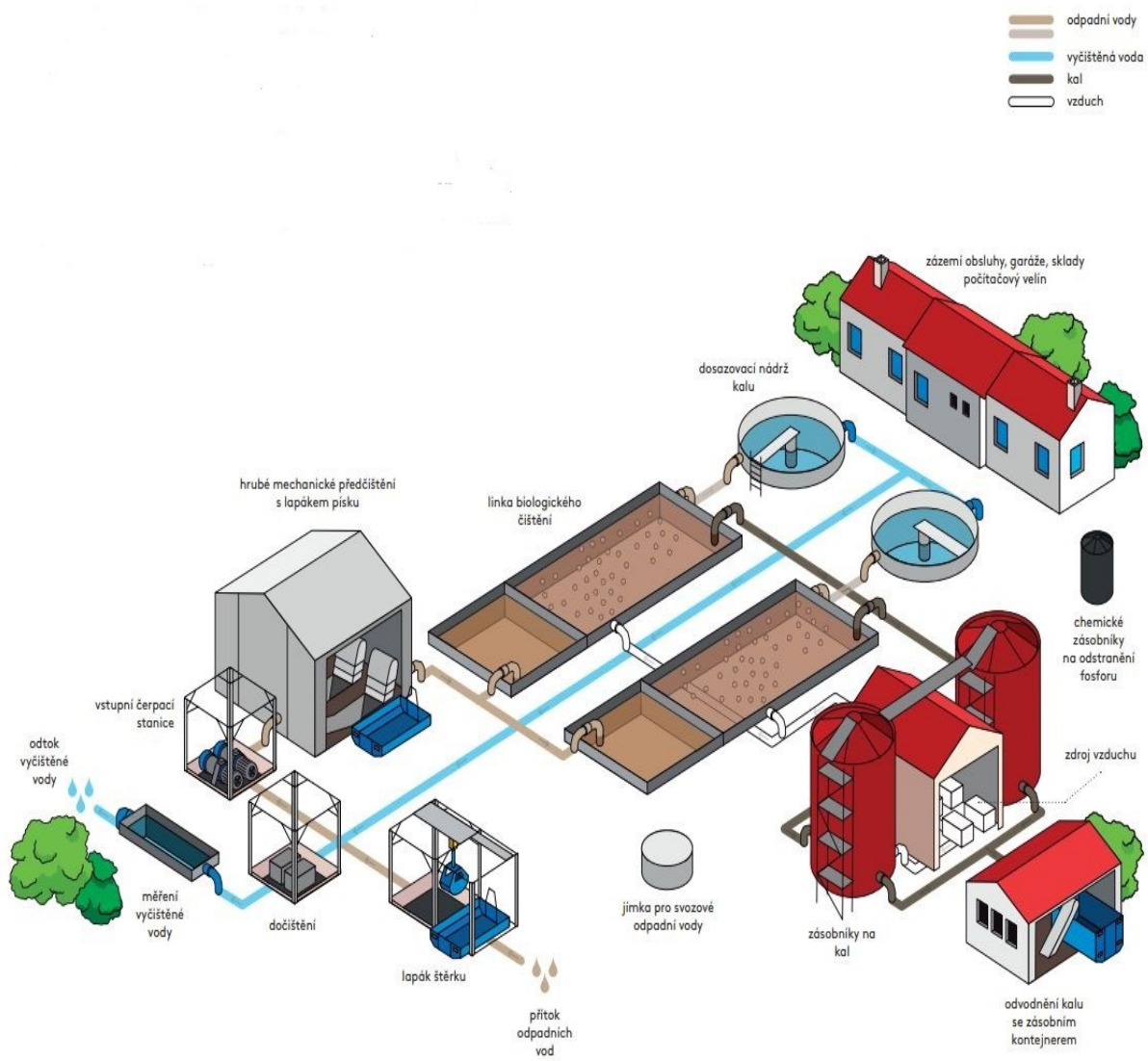
Čistírna odpadních vod zajišťuje čištění splaškové vody jak z Nové Paky, tak i ze Staré Paky. Na základě nájemní smlouvy provozuje čistírnu Vodohospodářská a obchodní společnost, a.s. Před rokem 2012 vznikaly provozní potíže zejména se stavem technologických vestaveb v biologických nádržích. Hydraulicky byly nevyhovující především dosazovací nádrže – jednalo se o těžko regulovaný atyp nádrží, odvozený z méně výhodného, podélného typu nádrží. Tvar a způsob vyklízení byly důsledkem úniku velkého množství nerozpuštěných látek. Dodatečné znečištění bylo možné redukovat na pískových filtrech, avšak docházelo k jejich přetížení. Problém byl i zimní provoz, kdy obsluha s velkými potížemi zajišťovala chod dosazovacích nádrží, a to zejména řetězového pohonu vyklízecího zařízení. Nevyhovující byl

způsob čerpání vratného kalu, který nemohl zajistit rovnoměrnou koncentraci odtahovaného kalu. Rekonstrukci vyžadoval i objekt hrubého předčištění, který nebyl vybaven praním písku a shrabku a jejich lisování. Proto se v roce 2012 rozhodlo o k rekonstrukci této čistírny odpadních vod a byla to stavba inženýrská, a i vodní dílo. Účelem bylo zajistit efektivní čištění odpadních vod v souladu s právními předpisy. Čistírna je od rekonstrukce založená na technologii mechanicko – biologického čištění s nitrifikační a denitrifikační zónou a terciálním stupněm čištění, pracující na principu dlouhodobé aktivace s úplnou stabilizací kalu. Do roku 2012 byla ČOV využívána pro cca 11 600 EO a po rekonstrukci je nyní dimenzována na stav 14 000 EO. Čistí se zde jak splaškové vody, tak vody dešťové, za použití nejmodernější dostupné technologie čištění. Čistírna vyčistí až 3821 m³/den. Ročně vyprodukuje 1000 tun kalu, z čehož je více jak 90 % použito na rekultivace a zbytek materiálu je deponován na skládku.

Financování, které je znázorněné na Obrázku č.6, bylo smluvně vázáno s městem Nová Paka, které získalo dotaci a následně akci zaplatila Vodohospodářská a obchodní společnost, a.s. ve které má město Nová Paka významný akciový podíl. Na Obrázku č. 7 máme znázorněnou vizualizaci čistírny odpadních vod a následně na Obrázku č. 8 je letecký pohled na ČOV.

Projektová cena	119 mil. Kč (a 23 mil. Kč DPH)
Nejnižší nabídky v rámci soutěže další	89,34 mil. Kč (Metrostav) 89,81-94,83-94,95 mil. Kč
Náklady celkem (i příprava)	95,92 mil. Kč (a 20 mil. Kč DPH)
Dotace	61,72 mil. Kč (FS EU) 3,63 mil. Kč (SFŽP ČR)
Úvěry	7,26 mil. Kč (SFŽP – 10 let) 23,31 mil. Kč (komerční úvěr – 10 let)
Úroky na 10 let	0,36 mil. Kč (SFŽP – 1,0 % p. a.) 2,33 mil. Kč (cca 2,0 % p. a)
Nutno zaplatit	33,26 mil. Kč
Roční splátka	3,33 mil. Kč

Obr. č. 6 Financování čistírny odpadních vod (zdroj město Nová Paka)



Obr. č. 7 vizualizace čistírny v kreslené podobě (zdroj město Nová Paka)



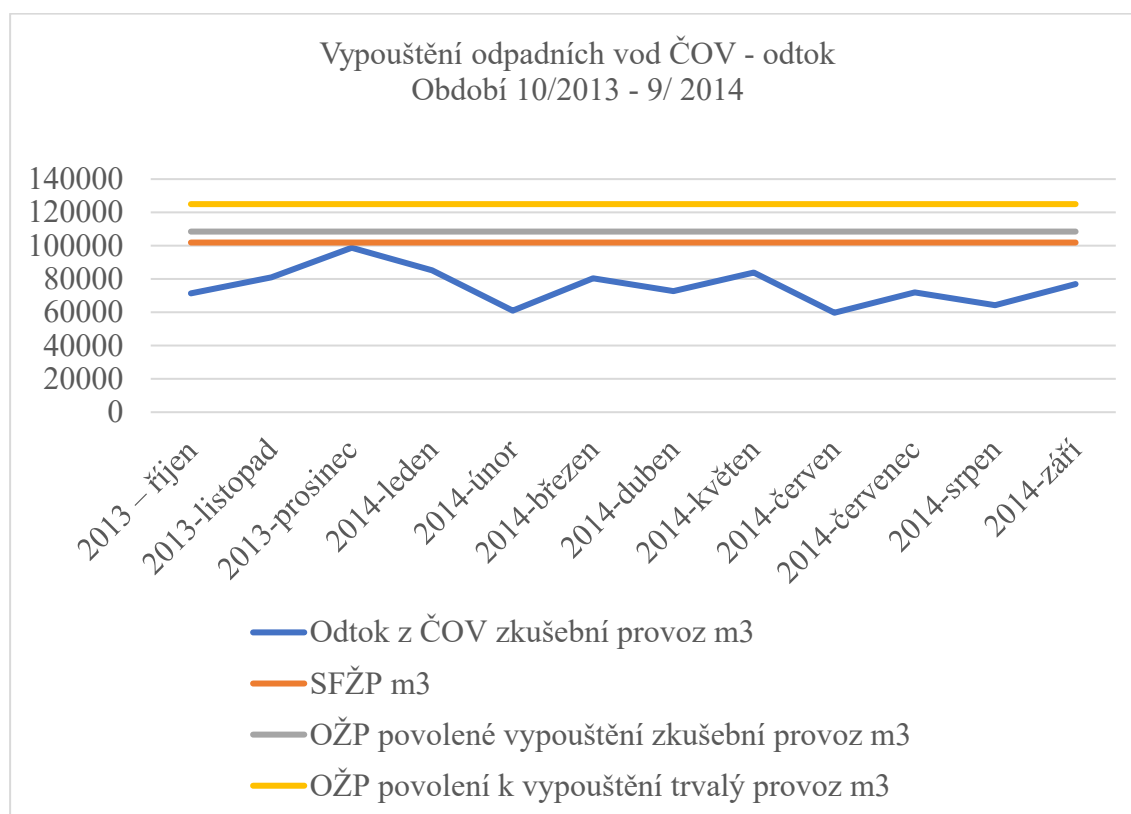
Obr. č. 8 letecký pohled na čistírnu odpadních vod (zdroj Google mapy)

4.7 Zhodnocení výsledků čištění po rekonstrukci

Projektová stavba ČOV řešila intenzifikaci a rekonstrukci stávající ČOV s ohledem na platnou legislativu a stanovené limity znečištění vypouštěných odpadních vod do vod povrchových. Účelem rekonstrukce a modernizace ČOV bylo zajištění čištění odpadních vod v souladu s platnou legislativou a zajištění do budoucna možnost odkanalizování nových území. ČOV je mechanicko-biologická s nitrifikační a denitrifikační zónou a terciálním stupněm dočištění. Jak již bylo zmíněno před rekonstrukcí, jednalo se o zatížení 11 600 EO a po modernizaci se počítá s cílovým stavem 14 000 EO.

4.7.1 Vyhodnocení provozu

Zkušební provoz ČOV Nová Paka byl z důvodů sledování provozní činnosti a účinnosti odstranění znečištění nátokových odpadních vod zahájen v měsíci září 2013 do konce září 2014. Od tohoto období, respektive počátkem měsíce října 2013 byly po celou dobu provozu sledovány jednotlivé provozní technologické objekty a zpracovány a archivovány veškeré laboratorní rozbory odpadních vod natékajících na ČOV, viz Graf č. 1. Nedílnou a prioritní součástí sledování a vyhodnocování jsou hodnoty čištění odpadních vod na odtoku z ČOV. Tyto podklady jsou zpracovávány jednak k průběžnému sledování účinnosti ČOV v odstranění znečištění, jednak k plnění podmínek k vypouštění odpadních vod do vod povrchových, dle rozhodnutí Odboru životního prostředí Městského úřadu Náchod, ale především z důvodu včasného odstranění nedostatků provozu v případě nevyhovujících výsledků odtokových vod z ČOV. Rozbory vzorků byly prováděny akreditovanou laboratoří Vodohospodářské laboratoře, s.r.o. Pardubice.



Graf č.1 Vypouštění odpadních vod ČOV – odtok za období 10/2013 – 9/2014

Pro jednotlivé výpočty vyhodnocení zkušební provozu byly použity hodnoty množství čištění vod na ČOV za sledovaného období, kdy byla intenzifikovaná ČOV v plném provozu. Průměrné denní vypouštěné množství odpadních vod ve sledovaném období zkušební provozu (10/2011–9/2012):

$$Q_{\text{denní}} = 2486,12 \text{ m}^3/\text{den}$$

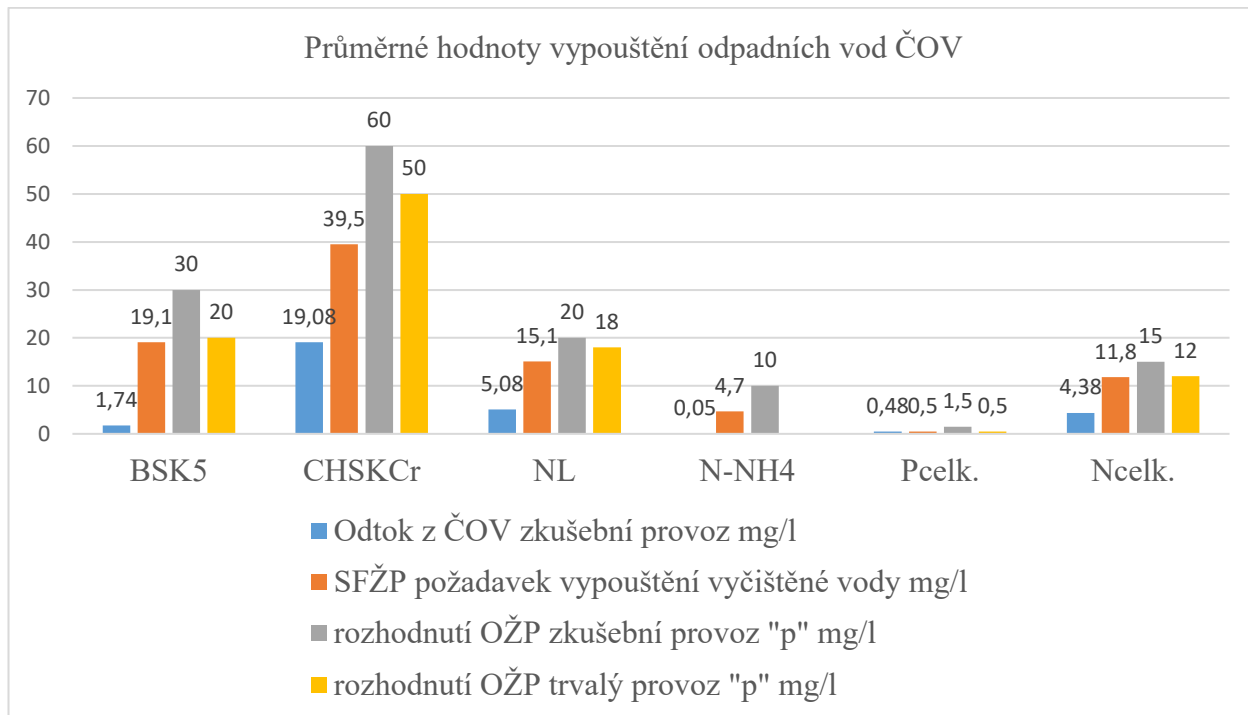
Výsledky měření nejen na odtoku z ČOV v průběhu zkušební provozu prokázaly menší množství odpadních vod přitékající na ČOV, než se původně předpokládalo a než bylo v minulých letech. Na základě Tabulky č. 1 a grafického znázornění na Grafu č. 2 je patrné, že roční povolené množství odpadních vod z ČOV ani parametry její jakosti nebyly v roce 2013 a následně ani v roce 2014 dosaženy a pravděpodobně nebudou překročeny.

Jakost vypouštěných odpadních vod

Parametr	Odtok z ČOV zkušební provoz	SFŽP požadavek vypouštění vyčištěné vody	rozhodnutí OŽP zkušební provoz "p"	rozhodnutí OŽP trvalý provoz "p"
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
BSK5	1,74	19,1	30	20
CHSKCr	19,08	39,5	60	50
NL	5,08	15,1	20	18
N-NH4	0,05	4,7	10	
Pcelk.	0,48	0,5	1,5	0,5
Ncelk.	4,38	11,8	15	12

Tab. č.1 Jakost vypouštěných odpadních vod

Grafické znázornění průměrných hodnot vypouštění odpadních vod z ČOV



Graf č. 2 průměrné hodnoty vypouštění odpadních vod z ČOV

Přes přepočítání ukazatele znečištění BSK5 (60 g/os/den), kdy byly výsledné hodnoty zprůměrovány vyplývá, že množství znečištění natékající na ČOV odpovídá hodnotě: 11 089 EO.

Výpočet:

BSK5

Nátok (průměr mg/l) x denní nátok (průměr m³): 60 = nátok EO

$$267,63 \quad \times \quad 2486,12 \quad : \quad 60 = 11\,089,3$$

Likvidace odvodněného přebytečného kalu je smluvně zajištěno se společností SETRA spol. s r.o. V průběhu zkušebního provozu byly provedeny rozborů přebytečného kalu. Hodnocení se provádělo dle vyhlášky č. 382/ 2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (vyhláška byla k 31.1.2016 zrušena a nahrazena vyhláškou č. 437/2016 Sb.). Smluvní partner zajišťující likvidaci využívá odvodněný čistírenský kal k rekultivaci.

Ze všech hodnot, které jsou uvedeny je patrné, že čistírna odpadních vod veškeré limity pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových splňuje. Požadavky na kvalitu vyčištění odpadní vody, stanovené vodoprávním úřadem a požadavky poskytovatele dotace množství odstranění znečištění byly také plněny.

4.8 Výstavba nové kanalizační sítě

Jak již bylo v práci zmíněno, v okrajové části města Nová Paka se chystá výstavba nových rodinných domů. Pro odvádění odpadních vod z tohoto zájmového území je v rámci infrastruktury pro výstavbu nových rodinných domů navržena oddílná kanalizace, která je řešena prostřednictvím dílčích stavebních objektů: Kanalizace splašková, Kanalizace dešťová. Délka kanalizace splaškové bude 512,30 m a kanalizace dešťová bude mít 502,70 m.

Materiály jsou navrženy dle standardů provozovatele kanalizace. Pro stoky jsou navrženy běžně dostupné materiály – trubky z plastických hmot PVC-U Ultra Solid BP SN 12, prefabrikované dílce kanalizačních šachet včetně poklopů. Kanalizační přípojky jsou navrženy z hladkého potrubí DN 150 v celkové délce 201 m.

Dešťová kanalizace bude v celém úseku vedena souběžně se splaškovou kanalizací. Nedílnou součástí dešťové kanalizace bude i zrušení hlavního odvodňovacího zařízení (dále jen HOZ), v délce cca 41 m a jeho nahrazení potrubím vloženého do koryta HOZ umožňujícího výškové napojení do otevřeného koryta HOZ. Zároveň s kanalizací zde bude řešen i vodovod. Co se týká geologických poměrů, tak před samotnou stavbou nebyly prováděny žádné průzkumy, bylo využito znalostí z předchozích staveb v daném území.

Kanalizace je, jak již bylo zmíněno navržena jako oddílná, proto je zapotřebí budovat zvláště splaškovou a dešťovou. Likvidace splaškových odpadních vod bude probíhat na ČOV Nová Paka, která díky modernizaci dokáže pojmout větší množství odpadních vod. Do kanalizace nesmí vnikat žádné balastní vody, (balastní vody jsou podzemní vody vnikající do kanalizačního potrubí vlivem jeho netěsnosti). Toto zhotovitel doloží předepsanými zkouškami těsnosti. Veškeré výrobky, technologie a materiály použité při této stavbě musí odpovídat příslušným závazným ČSN, být schváleny pro použití v České republice a mít příslušné hygienické a bezpečnostní atesty.

Pro stávající obyvatele rodinných domů se tato stavba stala rušivým elementem. Především jde o prach a hlučnost stavby, která narušuje pohodu. Dopady výstavby lze tedy označit jako dočasné zhoršení faktoru pohody. Určitě bude dobré, aby byly maximálně omezeny všechny rušící vlivy, které by narušovaly nepříjemným způsobem pohodu v přilehlých částech staveniště.

Po dokončení stavby a úspěšném ukončení přejímacího řízení bude nové vybavení veřejné kanalizace předáno k provozování způsobilému provozovateli kanalizace ve smyslu zákona č. 455/1991 Sb. o živnostenském podnikání a zákona č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů.

4.9 Financování kanalizační sítě

V zadávacím řízení v roce 2021 byl vybrán dodavatel na základě kritéria ekonomicky nejvýhodnější nabídky (nejnižší nabídkové ceny bez DPH) za realizaci všech sítí v dané lokalitě. Pokud bychom v současné době požadovali cenovou nabídku, určitě by se ceny pohybovaly výše s ohledem na současné ceny stavebních materiálů.

Cena vybraného dodavatele v Kč bez DPH (08/2021) činí za splaškovou kanalizaci 3.658.426,77 Kč a za dešťovou kanalizaci 3.069.910,05 Kč.

Na část dešťové kanalizace bude čerpána dotace z Ministerstva pro místní rozvoj z programu Technická infrastruktura 117D063. Výzva je zaměřena na podporu výstavby technické infrastruktury obcí, tj. výstavbu vodovodu, kanalizace a komunikace. Cílem této výzvy je rozšířit nabídku zainvestování stavebních pozemků z výše uvedeného programu pro následnou výstavbu bytových a rodinných domů. Žadatelem jsou zde obce a města. Výše dotace je 80 tis. Kč na jeden stavební pozemek zainvestovaný z uvedeného programu, na kterém následně vzniknou rodinné nebo bytové domy. Pro výši je rozhodující počet naprojektovaných přípojek nebo sjezdů k pozemkům pro výstavbu rodinných nebo bytových domů. Město Nová Paka žádost podalo a žádalo o 1 440 000,- Kč a Ministerstvo pro místní rozvoj schválilo v plné výši.

5 Vlastní projekt

5.1 Návrh nové kořenové čistírny ve městě Nová Paka

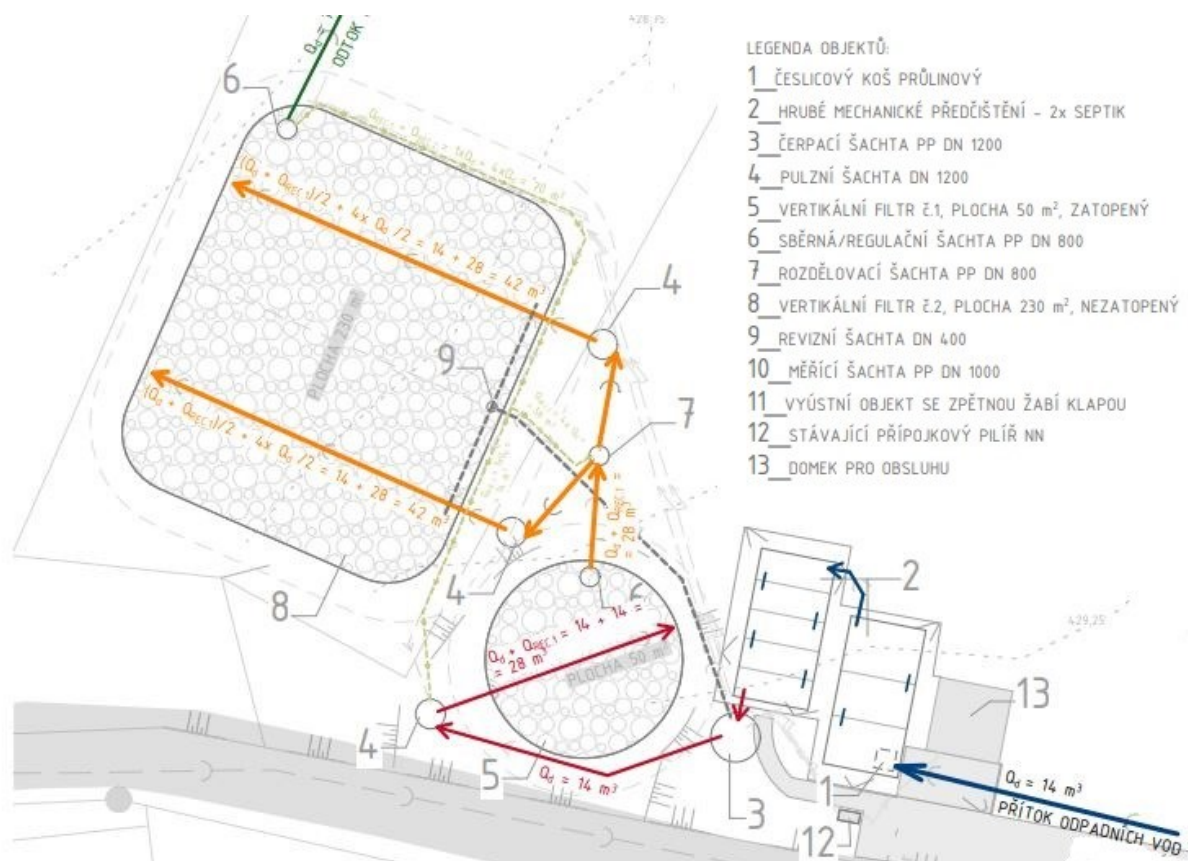
Ze zájmového území, kde se buduje nová kanalizační síť se bude muset odpadní voda hnát čerpadlem na městskou ČOV, protože je zde kopec, který brání gravitačnímu napojení, což je z ekonomického hlediska neefektivní. Na základě průzkumu stavu kanalizační sítě a čištění odpadních vod pro zájmové území, kde má vyrůst nová zástavba rodinných domů, vzešlo jako optimální řešení vybudování kořenové čistírny.

Nová kořenová čistírna odpadních vod bude vycházet z nejnovějších dostupných technologií pro realizaci kořenové čistírny. Tato technologie bude splňovat příslušné legislativní požadavky. Navržený areál kořenové čistírny odpadních vod je situován na pozemku číslo 3639/1, k.ú. Nová Paka (705128) s výměrou 3482 m², který je znázorněn na Obrázku č. 9. Pozemek je vedený jako orná půda. Pozemek se nenachází v chráněném území, v záplavovém území, není v poddolovaném území a není ložiskem nerostů a podzemních vod. Vlastníkem pozemku je město Nová Paka. Tento pozemek byl z hlediska dostupnosti pozemku, blízkosti vodního toku, vyhodnocen jako nejvíce vhodný. Stavba nebude mít negativní vliv na okolní stavby, ani na životní prostředí. Pozemek se nachází z morfologického hlediska pod zájmovým územím, což umožňuje gravitační napojení, bez nutnosti čerpání.



Obr. č. 9 zájmová lokalita s vyznačeným pozemkem, k.ú. Nová Paka (zdroj cuzk.cz)

Stavba KČOV se skládá z jednotlivých částí: mechanického předčištění odpadních vod (dva anaerobní separátory – septiky), biologicko-chemického čištění odpadních vod (dva vegetační vertikální filtry), šachet, vyústění objektu do vodního toku, domku pro obsluhu a oplocení, viz Obrázek č. 10. Příjezdová komunikace bude řešena ze stávající komunikace. Vlivem stavby KČOV nebudou okolní pozemky dotčeny ochranným pásmem.



Obr. č. 10 Schéma KČOV (zdroj – vypracováno ve spolupráci s projektantem kořenových čistíren)

5.2 Základní charakteristika stavby a jejího užívání

Jedná se o novostavbu čistírenského zařízení – vegetační kořenové čistírny odpadních vod, která bude sloužit pro čištění splaškových odpadních vod z části města Nová Paka – Vlkov. Jednou z výhod KČOV je možnost omezení přítoku odpadních vod, až přerušení provozu na KČOV, a to jak krátkodobě, tak dlouhodobě, bez ohrožení účinnosti po následném zapojení. Čistírna čistí i nízko organicky zatížené odpadní vody. Je zvolen tento druh čištění odpadních vod, neboť vyžaduje minimální náklady na provoz a údržbu. Zásah do krajiny je minimální, a naopak se stane její součástí a rozšíří rozmanitost dané lokality. Vycištěná voda bude odváděna do stávající vodoteče. Jedná se o trvalou stavbu a její životnost je při dodržování provozního řádu desítky let. KČOV je dimenzována na 140 EO. Na novou kořenovou čistírnu budou napojeni všichni stávající obyvatelé Vlkova a následně všichni obyvatelé z nově vybudovaných rodinných domů. Jedná se o trvalou stavbu, kdy velikost a technické údaje čistírny byly řešeny autorkou diplomové práce ve spolupráci s projektantem, který se touto problematikou zabývá již řadu let. Výpočet jakosti vypouštění vod pomocí účinnosti stanové dle ČSN pro 140 EO je zobrazen v Tabulce č. 2, hodnoty jsou garantovány předpokládaným zhotovitelem KČOV.

Počet připojených osob: 140

Přítok na KČOV Q₂₄ (vč. balastních vod 10 %) : 15,2 m³/den
 Plocha KČOV: 280,0 m²

Látka	Znečištění 140 EO	Anaerobní separáto - septik		KČOV - VF s vegetací		Limity (BAT)	
	mg/l	účinnost v %	celkem mg/l	účinnost v %	celkem o mg/l	celkem p mg/l	celkem m mg/l
CHSK _{cr}	1200	51	588	79,6	12	110	170
BSK ₅	600	62,5	225	85,5	32,6	30	50
NL	550	70	165	85	24,8	40	60
N-NH ₄ ⁺	11	17	91	79,4	18,8	x	x
N _{celk}	11	15	94	74,5	23,8	x	x
P _{celk}	25	27,5	18	12,5	15,9	x	x

Tab. č. 2 Výpočet jakosti vypouštění vod pomocí účinnosti stanovené dle ČSN

m – nepřekročitelná hodnota ukazatele znečištění OV vypouštěných do vod povrchových a do kanalizací.

o – maximální hodnota ukazatele znečištění přečištěných OV,

p – přípustné hodnoty,

BAT – nejlepší dostupné technologie

Potřeba vody (dle zákona č. 274/2001 Sb. a jeho prováděcí vyhlášky č. 120/2011 Sb.) je pro 140 obyvatel 13,8 m³/ den, což je zřejmé z Tabulky č 3. Množství balastní vody v oddílné splaškové kanalizaci se předpokládá 10 %. Srážkové vody nebudou procházet přes navrhovanou KČOV.

Výpočet potřeby vody dle zákona č. 274/2001 Sb. A prováděcí vyhlášky č. 120/2011 Sb.								
kategorie	skupina	druh potřeby	směrné číslo potřeby vody m ³ /rok/jedno tka	jednotka	počet jednotek	l/den	počet dnů roce	m ³ /rok
I. Bytový fond	byty	03. s tekoucí teplou vodou (teplá voda na kohoutku) za rok	35	na jednoho obyvatele bytu	140	13425	365	4900
I. Bytový fond	rodinné domy	1,0 m ³ na spotřebu spojenou o očistou okolí rodinného domu bez kropeň zahrad a provozu bazénu	1	na 1 obyvatele domu	140	384	365	140

Celkem Q ₂₄ + Q _{B(10)}		Q _d	15 208,22	l/dečn
Souč. max. denní nerovnoměrnosti kd	1,5	Q _{dmax}	22812,329	l/den
Průměrný průtok		Q _p	0,176	l/s
Max. průtok se souč. max. hod.nerovnoměrnosti kh	4,4	Q _{hmax}	1,162	l/s
Týdenní potřeba	7	Q _{týden}	106,46	m ³ /týden
Měsíční potřeba	30,4	Q _{měsíc}	462,33	m ³ /měs
Celková potřeba		Q _{celek}	5551	m ³ /rok

Tab. č. 3 Množství a průtoky odpadních vod

Q₂₄ – průměrný denní bezdeštný průtok,

Q_{B(10)} – přítok balastních vod je navrhován na 10 % z Q₂₄

Výstavbou KČOV budu dodrženy všechny limity pro vypouštění vod dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích o hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

5.3 Celkové urbanistické a architektonické řešení

Jedná se o vodohospodářskou stavbu umístěnou v zemi. Součástí stavby jsou nadzemní objekty (domek pro obsluhu a oplocení). Stavba bude plnit požadavky ekologického způsobu likvidace odpadních vod z části města Nová Paka a nebude negativně ovlivňovat životní prostředí.

Umístění objektu bude zvoleno s ohledem na dispozici pozemku. Vyčištěné odpadní vody budou před vypouštěním do vodního toku pravidelně kvantitativně a kvalitativně monitorovány.

Ornice v místě stavby tl. 150 mm bude sejmuta a rozprostřena na ploše pozemku. Ostatní výkopek bude také použit na terénní úpravy, nebo uložen na příslušnou deponii. Začišťovací práce budou provedeny ručně. První vertikální filtr s pulzní šachtou bude umístěn v násypu, který je třeba řádně provést, obzvlášť nepodcenit volbu vhodného násypového materiálu a proces zhutňování. Při zakládání veškerých konstrukcí a objektů se doporučuje přizvat geologa pro převzetí základové spáry. Zemní práce musí být prováděny v souladu s ČSN 73 6133. Násypy a zasypy nutno hutnit P.S min. 95 % po 200 mm vrstvách. Investor se v průběhu výstavby rozhodne, zda vytěženou zeminu využije k terénním úpravám pozemku, či ji bude deponovat. Bezprostřední okolí vertikálních filtrů se doporučuje zatravnit z důvodu retence a filtrace povrchových vod, okolí může být osazeno keři či menšími dřevinami, ale nedoporučuje se osazovat v blízkosti vertikálních filtrů dřeviny vyššího vzrůstu, hrozí narušení fólie kořeny nebo poškození vývratem.

5.4 Základní technický popis staveb

Základní technický popis byl konzultován s projektantem KČOV, který se tímto probléme zabývá řadu let. Odpadní vody z části města Nová Paka natékají potrubím oddílné splaškové kanalizace na objekty mechanického předčištění – dva sériově zapojené septiky. První septik je tříkomorový a v první komoře u nátokového potrubí je umístěn česlicový koš pro zachycení hrubých nečistot. Druhý septik je pětikomorový. Za tímto mechanickým předčištěním se voda akumuluje v čerpací šachtě, která je opatřena havarijním přepadem, zaústěným do druhého vertikálního filtru.

Z čerpací šachty bude voda pravidelně přečerpávána na biologicko-chemickou část KČOV – dva vertikálně skrápěné filtry osázené mokřadní vegetací. Čerpaná voda se akumuluje v pulzní šachtě, odkud natéká na první vertikální filtr, který je navržen jako zatopený vertikálně skrápěný filtr (možnost přeměny na filtr nezatopený). Z tohoto prvního filtru je voda sbírána v rozdělovací šachtě, odkud odtéká dvěma potrubími do pulzních šachet druhého vertikálního filtru. Tento filtr je navržen jako nezatopený vertikálně skrápěný filtr. V druhém filtru je umístěno recirkulační čerpadlo, které vrací čištěnou odpadní vodu zpět do čistícího procesu. Vyčištěná voda odtéká z druhého filtru do měřicí šachty, osázené měrným Parshallovým žlabem s možností odběru vzorků. Poté je voda vypouštěna do vodního toku.

Jednotlivé prvky KČOV budou uloženy do výkopů a spojeny potrubím. Kal ze septiků bude pravidelně odčerpáván a vyvážen fekálním vozem na nejbližší velkou ČOV.

5.4.1 Septiky a česlicový koš

Po konzultaci s projektantem kořenových čistíren, který je v oboru již řadu let jsou navrženy dva septiky zapojené sériově za sebou o celkovém objemu 60 m³. Jde o betonové prefabrikované pravoúhlé nádrže, každá o objemu 31,34 m³ a rozměrech: délka 5800 mm, šířka 2800 mm, výška 1930 mm, tloušťka stěny 140 mm. Septiky jsou vícekomorové, kde jsou komory vytvořeny příčkami. Příčky jsou z polypropylenových stěnových dílců tloušťky 80 mm a za pomoci nerezových úhelníků a šroubů jsou ukotveny ke stěnám septiku. Jednotlivé komory jsou propojeny systémem potrubí. Betonové vnitřní povrchy septiků je doporučeno ve výrobě opatřit ochranným nátěrem proti agresivní odpadní vodě.

První septik je rozdělen na tři komory. Do první komory je zaústěna splašková kanalizace, natékající do septiku přes česlicový koš. V třetí komoře je udělán přepad do druhého septiku, který je pětikomorový. Odpadní voda postupně přetéká z komory do komory, zatímco v každé komoře probíhá sedimentace pevných částí kalu. Sediment v septiku je pak pomoci bakterií a enzymů rozkládán na jednodušší látky. Odpadní voda zbavená pevných částic je odváděna k dalšímu stupni čištění. Vyvážení kalu se provádí, když jeho vrstva v komoře přesahuje jednu třetinu užité hloubky (tj. cca 2x-4x za rok).

Česlicový koš je průlinový na nosném rámu ukotveném do stěn septiku. Je ovládaný zvedacím zařízením (elektrický/ručně ovládaný jeřábek), umístěným na otočném stojanu. Materiál celého systému česlicového koše je nerez a žárový pozink. Rozměry koše jsou navrženy 750x750x1000 mm, šířku průlin lze volit od 10 do 30 mm.

5.4.2 Kořenová pole

Kořenová pole jsou vlastně takové zemní jámy od okolního horninového prostředí izolované polyethylenovou hydroizolací tloušťky 1 mm, vyplněné praným kamenivem osázené mokřadní vegetací. Jde o biologicko-chemický (částečně i mechanický) stupeň čištění.

Jsou navrženy pulzně skrápěné vertikální filtry o celkové ploše 280 m², což odpovídá cca 2 m²/EO. První vertikální filtr (zatopený) je o užité ploše 50 m², druhý vertikální filtr (nezatopený) má užítkovou plochu 230 m². Voda protéká převážně ve vertikálním směru.

Ve vertikálním filtru dojde k vlastnímu čištění odpadních vod. Hlavním způsobem likvidace nerozpustných látek je filtrace. Látky rozpustné i nerozpustné jsou rozkládány působením mikroorganismů jak aerobním, tak anaerobním způsobem. Amoniakální dusík obsažený ve splaškové vodě je bakteriemi nitrifikován na dusitanový a následně dusičinový dusík. Ten je pak anaerobními bakteriemi denitrifikován na plynný dusík, který následně uniká do atmosféry. Fosfor se odstraňuje srážením a přeměnou na nerozpustné fosforečnany a částečným zabudováním do tkání rostlin a mikroorganismů.

Náplň kořenového pole zatopeného je tvořena ode dna praným drceným kamenivem fr. 16/22 o tloušťce 150 mm, dále praným drceným kamenivem fr. 8/16 o tloušťce 300 mm, na kamenivu je vrstva dřevní štěpky o tloušťce 50 mm a vrstva praného drceného kameniva fr. 16/22 o tloušťce 200 mm.

Náplň kořenového pole nezatopeného je tvořena ode dna praným drceným kamenivem fr. 8/16 o tloušťce 200 mm, dále praným drceným kamenivem fr. 2/4 o tloušťce 600 mm a vrstvou drceného kameniva fr. 16/22 o tloušťce 200 mm.

Rozvodové přítokové potrubí vertikálního filtru je uloženo ve svrchních vrstvách filtrů zasypané vrstvou kameniva. Pro rovnoměrný přítok je navrženo HT potrubí PP DN 125 a perforované HT potrubí PP DN 40. Sběrné perforované potrubí PVC DN 150 je uloženo na dně filtru. Rozvodné i sběrné potrubí musí být uloženo velice přesně ve vodorovné rovině (tolerance mezi nejnižší a nejvyšší úrovní max. 1,0 cm). Havarijní obtokové potrubí PVC DN150 (gravitačně z čerpací šachty do druhého filtru) je rozvedeno přítokovým rozvětveným perforovaným potrubím do střední výškové úrovně druhého filtru.

Kořenová pole jsou osázena mokřadními rostlinami s čistící funkcí. Pole je osázeno mezi obsypy perforovaných vtokových a výtokových potrubí. Obsypy se neosazují z důvodu ucpání perforovaného potrubí kořeny. Sází se buď v pravidelných pásech nebo v nepravidelných úsecích. Pro navrhovanou KČOV bude vysazen, díky svým čistícím schopnostem a odolnosti rákos obecný v kombinaci chřastice rákosovité. Kombinací s chřasticí rákosovitou je navržena, protože roste rychleji než rákos a vytváří kompaktní porost již během prvního vegetačního období. Jako doprovodné mokřadní rostliny se doporučuje vysadit kosatec žlutý, kyprej vrbici, různé druhy sítin, ostřic, orobinců. Rostliny jsou většinou světlomilné, tzn., při zastínění stromy se doporučuje prořezání, prosvětlení. Tyto rostliny se stanou barevnou součástí KČOV. Před zimou se nechají uschnout na filtru, kde zůstávají až do jara, tvoří tak tepelnou izolaci pro čištěnou odpadní vodu a neustále probíhají čistící procesy. Na jaře se vrchní suché části rostlin posekají a zkompostují.

5.4.3 Sběrná šachta

Do této šachty PP DN 800 je zaústěno sběrné perforované potrubí a voda z něj dále odtéká odtokovým potrubím. Šachta slouží pro kontrolu a proplach sběrného potrubí. U prvního zatopeného filtru je v šachtě vyvedeno odtokové regulační potrubí. U druhého filtru je šachta zahloubena více ve dně filtru a v její zatopené části u dna je umístěno recirkulační čerpadlo odpadních vod.

5.4.4 Pulzní šachta

Její konstrukce umožňuje pulzní plnění vertikálních filtrů. Přitékající voda je postupně akumulována v šachtě a po dosažení určité hladiny (objemu) je šachta vyprázdněna. Její provoz je plně automatický bez dodání elektrické energie a je založen na principu vztlakových sil a gravitačního vypouštění. Pulzní šachta před vertikálním filtrem zajistí intenzivní odtok odpadní vody na rozdělovací potrubí a tím pulzní napouštění vertikálního filtru. Jsou navrženy 3 kusy pulzních šachet DN 1200 s plovákovým mechanismem s flex hadicí. Před prvním filtrem je navržena jedna pulzní šachta, do které je voda přečerpávána z čerpací šachty potrubím a do které je zaústěno recirkulační potrubí opatřené uzávěrem. Na druhý filtr je voda rozváděna za pomoci dvou pulzních šachet.

5.4.5 Rozdělovací šachta

Tato šachta před druhým filtrem slouží pro rozdělení průtoku odpadní vody do dvou pulzních šachet. Přítokové potrubí je zaústěno pod poklopem šachty, z šachty poté vychází dvě potrubí a rozvětjuje tak množství odpadní vody do dalších objektů KČOV. Je navržena rozdělovací šachta PP DN 800.

5.4.6 Čerpací šachta

Čerpací šachta PP DN 1200 je navržena pro akumulaci mechanicky předčištěné odpadní vody ze septiků. Voda je čerpána za pomoci kalového čerpadla na další stupeň čištění. Pro případ poruchy čerpadla je šachta opatřena havarijním přepadem s čidlem, signalizujícím přepad vody v šachtě na druhý filtr. Objem šachty je 2 m³.

5.4.7 Měřicí šachta

Za výstupem z KČOV je navržena šachta PP DN 1000 s osazeným Parshallovým žlabem a čidlem pro měření průtoku. Z této šachty je možnost odběru vzorků vody.

5.4.8 Kanalizace

Mezi objekty je převážně navrženo gravitační potrubí z PVC. Rozvodné gravitační potrubí vegetačních polí je z materiálu PP. Tlakové potrubí z čerpací šachty a sběrné recirkulační šachty bude z PE.

5.4.9 Vyústní objekt

Výpust' se situuje zásadně do přímých úseků vodních toků. Umístění do vzdutých nebo vypouklých úseků je možno uvažovat pouze ve výjimečných případech ve stávající zástavbě, nelze-li navrhnout výhodnější umístění. Nadzemní výpusti (čelo, římsa, křídla, trubka) nesmí zasahovat do příčného profilu vodního toku. Úprava vyústních objektů do přirozených koryt se řídí specifickými podmínkami dle požadavků orgánů ochrany přírody, respektive správců vodních toků. U menších profilů výpustí, do profilu DN 300 včetně, se navrhuje vyústní objekty jako pronik profilu výpustí se svahem koryta. Vyústní objekt je vhodné opatřit proti vniknutí živočichů do kanalizace a proti případné vzduté vodě klapkovým uzávěrem. Vyústní objekt včetně opevnění břehu bude součástí kanalizace, majitel je povinen zajišťovat jeho údržbu a opravy.

5.4.10 Oplocení a příjezdová komunikace

Mechanické předčištění KČOV (septiky) s domkem pro obsluhu budou oploceny plotem z laťových modřínových prken. Celková délka plotu je okolo 37 m a výška se bude pohybovat okolo 1,5 m. Vstup do oplocené části bude zajištěn vjezdovou bránou šířky 3,7 m. K domku pro obsluhu, k septikům a čerpací šachtě bude využita stávající komunikace. Komunikace bude sloužit pro potřeby manipulace fekálního vozu při vývozu septiků a také pro příjezd/příchod obsluhy KČOV při údržbě a provozování. Jako finální povrch na přístupové chodníky k jednotlivým objektům KČOV může být zvolen mlat. Přístup na pozemek je tedy bez omezení.

5.5 Základní popis technických a technologických zařízení

Systém KČOV pracuje převážně samostatně pomocí přirozeného spádu odpadních vod a přečištěných vod. Avšak vlivem mírně svažitého terénu bude použit přečerpávací systém mechanicky předčištěných odpadních vod, kdy voda ze septiků natéká do čerpací šachty a z té je voda čerpána na biologický stupeň – první vertikální filtr. Zbytek čistírny je opět plně gravitační. Pro zvýšení účinnosti čištění pomocí recirkulace bude instalováno čerpadlo do revizní/regulační šachty ve druhém filtru. Kalové čerpadlo v čerpací šachtě, recirkulační čerpadlo v revizní šachtě, čidlo Parshallova měrného žlabu, elektro kabely domku pro obsluhu a další možné ovládací a signalizační kabely budou napojeny elektřinou z elektro pilíře (případně rozvaděče v domku pro obsluhu).

Provozní systém KČOV je navržen na obslužnost v četnostech: cca 1x týdně, kdy musí obsluha zkontrolovat chod všech čerpadel. 2x-4x ročně, kdy je potřeba zkontrolovat obsah kalu v separátoru (kal může být max. do výšky 1/3 maximální hladiny v septiku, aby nedocházelo

k pronikání pevných částic do kořenového filtru, což může zapříčinit zanešení vtokové části. Při zaplnění septiku do předepsané výšky je nutné zajistit jeho vyvezení. 1x ročně, a to tak, že před zimou se nechají rostliny uschnout na filtru, kde zůstávají až do jara, tvoří tak tepelnou izolaci pro čištěnou odpadní vodu a neustále probíhající čistící procesy. Na jaře se vrchní suché části rostlin posekají a zkompostují.

Náklady na navrhovanou výstavbu kořenové čistírny odpadních vod situovanou ve městě Nová Paka budou činit 4-5 mil. Kč.

Provozní náklady byly zjištěny po telefonické konzultaci se starostou obce, která provozuje KČOV stejné velikosti. Roční náklady byly cca 40 tis. Kč. Pan starosta uvedl, že čistírna je v provozu již 18 let bez poruch a oprav a s opravdu minimálními náklady.

5.6 Vliv stavby na životní prostředí

Po dobu realizace stavby bude dočasný negativní vliv na životní prostředí, zejména hlučností a prašností při provádění zemních prací. Před zásypem usazených objektů KČOV bude provedena zkouška vodotěsnosti systému.

Upravený kal z KČOV ze septiků bude vyvážen certifikovanou formou k likvidaci na centrální ČOV v Nové Pace s vydaným souhlasem příslušného úřadu pro příjem odpadů. Shrabky z česlicového koše budou shromažďovány a předány oprávněné firmě k odvozu a likvidaci.

Celá stavba je navržena tak, aby se splaškové odpadní vody nedostaly do kontaktu s okolní krajinou dříve, než budou vyčištěny na KČOV.

Stavba neleží v chráněném území Natura 2000. Výstavbou kořenové čistírny odpadních vod dojde prioritně ke zlepšení kvality vody ve vodním recipientu, ke zlepšení odtokových poměrů a ke zlepšení hygienických, estetických, ekologických a ekonomických aspektů v zájmovém území.

Pro představu, jak vypadá KČOV z leteckého pohledu byl použit Obrázek č. 11 kde je letecký pohled na KČOV v Obci Kotenčice, ze kterého je zřejmí minimální zásah do krajiny.



Obr. č. 11 Letecký pohled na kořenovou čistírnu odpadních vod Obec Kotečice (zdroj Google mapy)

6 Diskuse

V literární rešerši byly popsány druhy čištění odpadních vod jak v mechanicko-biologických čistíren odpadních vod tak i v kořenových čistírnách odpadních vod. Nástup kořenových čistíren byl v České republice pomalý a nyní jich funguje přes dvě stovky a některé ani nemůžeme spočítat, protože se jedná o malé domovní kořenové čistírny odpadních vod. Můžeme s určitostí říct, že kořenová čistírna odpadních vod je originální stavba, která je zasazena do krajiny, klasická ČOV je vždy projektována dle určitých normovaných projektů. O nárůstu vybudovaných KČOV bylo provedeno mnoho studií a nárůst potvrzuje i studie z Belgie, že se počet vybudovaných KČOV v posledních desetiletích exponenciálně zvýšil (Rousseau et al. 2004).

Tyto údaje potvrzuje i studie z Norska, kde vzrostl zájem o vytváření a obnovu mokřadů (Odland 1997).

Z ekonomického hlediska je mechanicko-biologické čistírny situovaná v Nové Pace oproti návrhu kořenové čistírny stavebně složitější, a to i z hlediska provozu. U mechanicko-biologických čistíren je pravděpodobně největší investiční položkou technologie. Další výrazná položka je určitě kompletní stavba objektu oproti kořenové čistírně. Je otázkou, zda literární zdroje neberou v potaz pouze ekonomickou výhodnost, kdy je to dáno nižšími provozními náklady kořenových čistíren. Provozní náklady kořenových čistíren jsou určitě velkou ekonomickou výhodou proti mechanicko-biologickým čistírnám odpadních vod. Předpokladem nižších provozních nákladů je, že provoz kořenové čistírny bude zajišťovat město. U mechanicko-biologických čistíren odpadních vod jsou provozní náklady z velké části za spotřebovanou elektrickou energii, mzdy zaměstnanců, různé opravy a rozbory vod. Při rozhodování o výstavbě jak ČOV, anebo KČOV jsou tedy samozřejmě na prvním místě investice a předpokládané provozní náklady. S cílem diplomové práce vytvořit návrh kořenové čistírny a umožnit obyvatelům napojení na novou čistírnu je zřejmé, že i pro obyvatelé bude výhodnější napojení na navrhovanou kořenovou čistírnu odpadních vod. Předpoklad o ušetření nákladů potvrzuje i studie, která byla provedena v Turecku za účelem vyhodnocení ekonomického hlediska decentralizovaných a centralizovaných čistíren odpadních vod, když vyšlo jako ekonomicky výhodnější odvádění odpadních vod do centralizovaných čistíren než provádět proces čištění odpadních vod v decentralizovaných čistírnách (Onucyildiz et al. 2008).

Největší investicí u KČOV bude určitě filtrační pole. Velmi významnou položku tvoří i zemní práce, která je v porovnání s ostatními zeměmi EU vyšší. Je dobré si uvědomit, že náklady na zemní práce se dají snížit vhodným místem pro stavbu. Tím, že je pozemek pro navrhovanou kořenovou čistírnu blízko komunikace, nebude se muset stavět. Důležité je si uvědomit, že KČOV oproti ČOV potřebují dostatek místa na výstavbu. Náklady se dají ušetřit v případě, že pozemek je ve vlastnictví obce/města. Navrhovaná kořenová čistírna toto splňuje, protože její výstavba bude na pozemku, který patří městu Nová Paka.

Když se podíváme na srovnání obnovy obou typů čištění odpadních vod z hlediska životnosti, je určitě otázkou, zda kořenová čistírna, ač má nízké provozní náklady, nebudou dražší její náklady na revitalizace. Průměrná životnost dobře provozované KČOV je dle

literatury více než 20 let (Shutes 2001). Dvě desetiletí literatury o KČOV prokázaly, že životnost by mohlo ovlivnit ucpávání. Je tedy důležité, aby byl brán tento poznatek v úvahu při návrhu výstavby kořenových čistíren (Knowles 2011).

Cena rekonstrukce KČOV byla po telefonické konzultaci řešena se starostou vzdálenější obce, který provozuje KČOV od roku 1998. V roce 2015 u obecní KČOV řešil pan starosta intenzifikaci a přestavbu. Revitalizace proběhla přestavbou na kořenovou čistírnu s vertikálními filtry. Původní KČOV stála obec v roce 1998 -6,75 mil. Kč a byla řešena na 550 EO. Po intenzifikaci má čistírna 670 EO a náklady na intenzifikaci byly 5,7 mil. Kč. Při zhodnocení modernizace ČOV v Nové Pace po 20 letech provozu, je zřejmé, že náklady na rekonstrukci přesáhly 90 milionů korun. Byla sice navýšena kapacita EO a město Nová Paka získalo na část stavby dotaci, ale i tak můžeme říct, že je to ohromná suma, nyní je od rekonstrukce 9 let a určitě přijde na řadu nějaká další i když menší rekonstrukce. Když laicky srovnáme náklady na modernizaci, tak u kořenové čistírny na 1 EO byla modernizace 8.507,- Kč a u klasické čistírny je cena na 1 EO 8. 567,- Kč. Ač suma na modernizaci klasické čistírny by se zdála vysoká, tak při přepočtu na 1 EO je zřejmé, že náklady byly srovnatelné. Lidské vnímání je postaveno koukat se na věc jako na jednu položku a možná jen málo lidí napadne, že v porovnání, kolik EO je napojeno je cena srovnatelná s kořenovou čistírnou. Modernizace nebo výstavby čistíren odpadních vod jak klasických, tak i kořenových by měly komplexně zvážit různé faktory, jako je technická vhodnost, ekonomická proveditelnost, enviromentální/geografické charakteristiky lokalit a určitě nezapomenout na společenskou přijatelnost. Chápání rekonstrukce a ceny za takovou modernizaci bylo řešeno ve studii zaměřenou na ČOV v Jižní Koreji. Tato studie může poskytnout zpětnou vazbu i jiným zemím. Studie provedla peněžní ohodnocení a možnosti alternativ čistíren odpadních vod laickou veřejností. Ze studie je zřejmé, že laické veřejnosti záleží na lokalitě výstavby čistírny, na druhu čistírny a bylo zde zjištěno, že nejlepší alternativou by bylo vybudování podzemní čistírny odpadních vod, nad kterou by mohl vzniknout park (Huh 2020).

Z pohledu vlivu čistírny odpadních vod na životní prostředí můžeme v rámci celosvětové snahy o minimalizaci dopadů na životní prostředí se zkoumají možnosti zlepšení udržitelnosti v mnoha oblastech, a to včetně komunální infrastruktury. Čistírny odpadních vod jsou jistě kritickou infrastrukturou pro místní, ale i regionální a národní udržitelnost vodních zdrojů. Na jedné straně ČOV snižují dopady na životní prostředí v souvislosti s kvalitou vody, ale na druhé straně jejich výstavba a provoz mají dopady na životní prostředí. Vzhledem k omezenějším ekonomickým zdrojům na realizaci a provoz konvenčních infrastruktur a zařízení pro čištění odpadních vod se stále více pozornosti věnuje vývoji alternativních a inovativních technologií čištění odpadních vod. Do popředí se dostávají kořenové čistírny odpadních vod, které jsou navrženy, aby využívaly přirozené funkce mokřadní vegetace, půdního prostředí a s tím spojených mikrobiálních společenstvem k čištění odpadních vod. Díky nízkým nákladům, dobrému potenciálu opětovného využití vody a živin a funkci významného stanoviště pro volně žijící živočichy je můžeme uzнат jako udržitelnou možnost nakládání s odpadními vodami. Toto tvrzení potvrzuje studie provedena v chladném podnebí, kde byly úspěšně používány pro čištění různých odpadních vod po celá desetiletí a byly identifikovány jako udržitelná možnost nakládání s odpadními vodami po celém světě (Wang 2017).

V neposlední řadě jsou umělé mokřady i stanoviště pro volně žijící živočichy. Mokřady jsou nejcennější zdroje, ale zaznamenal se jejich úbytek. Současně s úbytkem přirozených mokřadů dochází k nárůstu mokřadů pro čištění odpadních vod. Díky vzrůstajícímu počtu těchto mokřadů pro čištění odpadních vod se staly tyto mokřady významným zdrojem biotopů pro vodní ptáky a mají nepředpokládanou roli v ochraně přírody. Což dokazuje i studie, která se zabývala pohledem na čištění odpadních vod mokřadů a ochranu vodních ptáků (Murray & Hamilton 2010).

Z pohledu účinnost čištění je u mechanicko-biologických čistíren odpadních vod, tak i kořenových čistíren odpadních vod srovnatelná. Nemůžeme na 100 % říct, že je kořenová čistírna účinnější. Je zde řada proměnných, které mohou fungování kořenových čistíren ovlivnit. Hraje zde roli nadmořská výška, okolní teploty, když rostliny v zimě defacto nefungují. Je tedy čistící schopnost minimální, ale neznamená to, že by proces nefungoval vůbec, kořenové čistírny fungují i v zemích jako je například Norsko, kde je klima chladnější a kořenové čistírny zde fungují. V zimním období je jen účinnost nižší, protože biologické procesy neprobíhají tak intenzivně. Účinnost se v České republice intenzivně studuje více jak tři desetiletí. Srovnatelnost účinnosti nám i dokazuje studie která byla provedena právě v České republice (Vymazal 2002).

Co se týká účinnosti, zde se nastudovaná literární rešerše trochu rozchází, protože všude je zmiňováno, že rostliny nefungují tak dobře v zimních obdobích, ale přesnější vyjádření je, a to potvrzuje i studie, která studovala umělé mokřady skrze roční období. Ukázalo se, že lepší vyjádření je, že řídicím faktorem je spíše teplota než roční období (Van de Moortel et al. 2010).

V důsledku nedostatku vodních zdrojů je velký zájem o zlepšení čištění odpadních vod. Bylo vyvinuto mnoho technologií týkajících se čištění odpadních vod a opětovnému využití vody. Jednou z technologií jsou i zmiňované mokřady, které zahrnují systémy čištění odpadních vod navržené, aby vyhovovaly, a dokonce posilovali fyzikální, chemické a biologické mechanismy pro procesy čištění vody. Rozšiřováním výstavby mokřadů bychom mohli docílit použití vyčištěné odpadní vody k opětovnému využití například pro krajinné účely. V souvislosti s tímto způsobem čištění odpadních vod se často mluví o plovoucích čistících mokřadech. První zmínka o plovoucích mokřadech pochází z Německa. Studie, které byly provedeny potvrdily účinnost na odstranění dusíku, fosforu, které byly odstraňovány především interakcí mezi rostlinami a bakteriemi prostřednictvím rozkladu, příjmu rostlinami, sorpcí, zachycení v kořenech, a nakonec sedimentací a srážením. Což dokazuje i studie, která se zabývala plovoucími mokřady a jejich účinností v návaznosti na opětovné využití vyčištěné odpadní vody (Oliveira 2021).

Hlavním cílem diplomové práce bylo navrhnout kořenovou čistírnu pro zájmovou oblast Vlkov, kde se rozrůstají nové rodinné domy a průmyslová zóna. Je zde výstavba kanalizační sítě a odpadní voda se bude hnát čerpadlem na ČOV, protože musí překonat kopec. Stávající rodinné domy mají jímky, septiky, domovní čistírny odpadních vod a vyčištěná voda je odváděna do bezejmenného potoka. Vybudováním kořenové čistírny město ušetří za výstavbu splaškové kanalizace, protože se nebude muset odpadní voda hnát čerpadlem na ČOV, ale

gravitačně půjde svést na navrhovanou KČOV. Dalším plusem je, že se to bude týkat všech obyvatel a nejen těch, kteří by byli u plánované kanalizační sítě blízko. Když se zaměříme na fakta. Argumentem pro výstavbu je určitě ušetřená energie a peníze za výstavbu kanalizační sítě. Mínusem můžeme brát nároky na plochu, ale ty jsme vyřešili tím, že jsme našli pozemek, který je ve vlastnictví města a je situován blízko vodního toku. Navrhovaná kořenová čistírna je plánovaná pro 140 EO. Kapacita počítá se všemi obyvateli zájmové části, a i s novými, kteří zde výstavu rodinných domů chystají. Zůstane zde ještě rezerva pro případnou další výstavbu rodinných domů. Pokud se městu bude návrh a vyřešená situace líbit určitě je možné navrhnout kořenovou čistírnu pro více EO. Tato potenciální KČOV by mohla pojmut více čtvrtí města Nové Paky. Je jisté, že budování tohoto druhu čištění odpadních vod nebude moc lukrativní pro stavební firmy, pro které je jistě výhodnější stavět klasické ČOV, díky velkému spotřebování betonu. Určitě měla vyvstat ve městě nějaká diskuse, jak se bude řešit odvádění odpadní vody ze zájmové části. Jak už bylo napsáno a řešeno studií v Jižní Koreji, lidé se rádi podílejí na rozvoji města. Kdyby měli vysvětlení fungování jednotlivých druhů čištění odpadních a mohli se přiklonit k nějakému druhu určitě by to bylo dobré. Většina lidí může žít v povědomí, že kořenová čistírna plná kytíček nemůže nikdy vyčistit vodu tak, jako to je u klasické čistírny odpadních vod. Ještě stále je plno lidí, kteří tento druh neznají anebo se o čištění odpadních vůbec nezajímá. Je velká škoda, že se při rozvoji územního plánu, který by měl určitě chránit a rozvíjet přírodu a při budování nových pozemků pro výstavbu rodinných domů nepočítá město/obec s možností, že by se využila pro tuto oblast kořenová čistírna odpadních vod. Lidé, kteří si kupují pozemky za městem nebo v okrajových částech města se chtějí cítit jako na venkově. Vybudováním KČOV by lidé měli pocít, že sice zabrali půdu výstavbou rodinných domů, ale alespoň odpadní vody jsou likvidovány přírodnějším způsobem. Stačí vybrat správný druh kořenové čistírny pro danou oblast (Sehar & Nasser 2019).

Výsledkem diplomové práce je jednoznačná odpověď, že vybudováním kořenové čistírny se vyřeší čištění odpadních vod v části Nové Paky – Vlkov, ušetří se náklady na vybudování kanalizační sítě a kapacita kořenové čistírny by nemusela být konečná. Pokud bude návrh výstavby odsouhlasen vedením města Nová Paka, mohl by být návrh upraven na požadovaný počet EO.

7 Závěr

- Dle stanovených cílů je v první části diplomové práce sepsána literární rešerše, která se věnuje popisu čištění odpadních vod. Je zde vysvětleno fungování jak klasických mechanicko-biologických čistíren odpadních vod, tak i kořenové čistírny odpadních vod. Postupně jsou popsány všechny procesy obou typů čištění odpadních vod.
- Praktická část je věnována zhodnocení podkladových údajů, kde jsou základní informace o městě, popis morfologie a geologie území a stav kanalizační sítě v Nové Pace a následně vlastní projekt kořenové čistírny odpadních vod pro část Nové Paky.
- Samotný vlastní projekt kořenové čistírny odpadních vod situované v Nové Pace byl podrobně probrán s projektantem kořenových čistíren, který se touto problematikou zabývá již řadu let. Celkový návrh nové kořenové čistírny vyhovuje všem normám. Díky tomuto návrhu se ušetří městu náklady na vybudování kanalizační sítě v zájmové části. Tuto kanalizační síť by hnala čerpadla díky kopci, který musí překonat. Vybudováním se nenavýší náklady na pracovníka. Doufám, že na základě této diplomové práce dojde ze strany města k zamyšlení, zda tento způsob čištění odpadních vod by nebyl ekonomičtější a charakterem stavby by dobře zapadl do rázu krajiny.

8 Literatura

- Bedinger MS et al. 1997. Site Characterization and Design of On-Site Septic Systems. ASTM International, Pennsylvania
- Brix HA. 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering* **25**:491-500.
- Broncová D. 2002. Historie kanalizací: dějiny odvádění a čištění odpadních vod v Českých zemích. MILPO MEDIA. Praha
- Cooper P, Green B. 1995. Reed bed treatment systems for sewage treatment in the United Kingdom-the first 10 years' experience. *Water Science and Technology* **32**:317-327.
- Cooper PE. 1993. European design and operation guidelines for reed bed treatment systems. Pages 203-217 in Moshiri GA. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. LEWIS PUBLISHERS INC, Florida.
- De casabianca ML, Laugier T. 1995. Eichhornia crassipes production on petroliferous wastewaters: Effects of salinity. *Bioresource Technology* **54**:39-43.
- Demek J. 1987. Hory a nížiny: zeměpisný lexikon ČSR. Academia, Praha.
- Dohányos M et al. 1994. Čištění odpadních vod. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- Ekosystém. 2003. Návod k použití. Praha.
- Enviweb. 2009. Odpadní žumpa u rodinného domu. České sdružení pro biomasu, Praha. Available from <https://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/odpadni-zumpa-u-rodinneho-domu> (accessed April 2022).
- Gelt J. 1997. Water Resources Research Center. The University of Arizona, Tucson. Available from <https://wrrc.arizona.edu/publications/arroyo-newsletter/constructed-wetlands-using-human-ingenuity-natural-processes-treat-wa> (accessed April 2022).
- Ghermandi AD. 2007. The role of free water surface constructed wetlands as polishing step in municipal wastewater reclamation and reuse. *Science of The Total Environment* **380**:247-258.
- Hey T et al. 2017. Influences of mechanical pretreatment on the non-biological treatment of municipal wastewater by forward osmosis. *Environmental Technology* **38**:295-2304.
- Hlavínek P et al. 2001. Příručka stokování a čištění. NOEL 2000, Brno.
- Huh SY. 2020. Expand, relocate, or underground? Social acceptance of upgrading wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research* **27**:45618-45628.
- Kanaujiya DK et al. 2019. Biological Treatment Processes for the Removal of Organic Micropollutants from Wastewater: a Review. *Current Pollution Reports* **5**:112-128.

- Kashi G et al. 2021. Carwash wastewater treatment using the chemical processes. *Water Science and Technology* **84**:16-26.
- Knowles P et al. 2011. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors. *Ecological Engineering* **37**:99-112.
- Kröpfelová L. 2008. *Constructed Wetland Břehov: Three Years of Monitoring. Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands.* Springer Netherlands, Dordrecht.
- Kröpfelová L et al. 2009. Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic. *Environmental Pollution* **157**:1186-1194.
- Kyncl M. 2007. *Technologie, zpracování a využití vodárenských kalů.* Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava.
- Lin S. 2004. Chemical and physical treatments of chemical mechanical polishing wastewater from semiconductor fabrication. *Journal of Hazardous Materials* **108**:103-109.
- Meteoblue. 2006. Meteoblue. Meteoblue AG. Available from https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelled/nov%C3%A1-paka_%C4%8Cesko_3069669 (accessed April 2022).
- Moshiri GA. 1993. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement.* CRC Press, Florida.
- Murray CHG, Hamilton AJ. 2010. Perspectives on wastewater treatment wetlands and waterbird conservation. *Journal of Applied Ecology* **47**:976-985.
- Obaja D et al. 2003. Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor. *Bioresource Technology* **87**:103-111.
- Odland A. 1997. Development of vegetation in created wetlands in western Norway. *Aquatic Botany* **59**:45-62.
- Oliveira GA et al. 2021. Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. *Science of The Total Environment* **773**.
- Onucyildiz M et al. 2008. Evaluation of decentralized and centralized wastewater treatment plants. *International Multidisciplinary Scientific geoconference* **1**:651-658.
- Rousseau L et al. 2004. Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis. *Ecological Engineering* **23**:151-163.
- Sehar S, Nasser HAA. 2019. Wastewater treatment of food industries through constructed wetland: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology* **16**:6453-6472.
- Sevostianov IV et al. 2021. Development of the Scheme of the Installation for Mechanical Wastewater Treatment. *Journal of Ecological Engineering* **22**:20-28.

- Shutes RBE. 2001. Artificial wetlands and water quality improvement. *Environment International* **26**:441-447.
- Sojka J. 2001. Malé čistírny odpadních vod. Stavíme, Brno.
- Sojka J. 2004. Malé čistírny odpadních. ERA, Brno.
- Sojka J. 2013. Čistírny odpadních vod: pro rodinné domy. GRADA, Praha.
- Šálek J. 1999. Vegetační kořenové čistírny – jak dále ?. *Vodní hospodářství* **10**:214-217.
- Šálek J et al. 1996. Use of artificial wetland for the treatment of surface and wastewater. *Water Science and Technology* **33**:309-313.
- Šálek J, Tlapák V. 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT, Praha.
- Van de Moortel AMK et al. 2010. Effects of Vegetation, Season and Temperature on the Removal of Pollutants in Experimental Floating Treatment Wetlands. *Water, Air, & Soil Pollution* **212**:281-297.
- Vymazal J. 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI, Třeboň.
- Vymazal J. 2002. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Ecological Engineering* **18**:633-646.
- Vymazal J. 2004. Kořenové čistírny odpadních vod. ENVI, Třeboň.
- Vymazal J. 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of The Total Environment* **30**:48-65.
- Vymazal J. 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice. *Vodní Hospodářství* **4**:114-118.
- Vymazal J. 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water* **2**:530-549.
- Wang M. 2017. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review. *Journal of Environmental Sciences* **57**:293-311.
- Withers PJ et al. 2014. Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality? *Frontiers in Ecology and the Environment* **12**:123-130.
- Woods GJ et al. 2013. Centralized versus Decentralized Wastewater Reclamation in the Houghton Area of Tucson, Arizona. *Journal of Water Resources Planning and Management* **139**:313-324.
- Zehnsdorf A et al. 2018. Abwasserreinigung mit Schilf in einer mobilen wurzelraumkläranlage. *Chemie ingenieur technik* **90**:333-339.

Zhang QW et al. 2016. Current status of urban wastewater treatment plants in China
Environment International . Environment International **92-93**:11-12.

1927. Novopacko:vlastivědná monografie okresu. Kresní školní výbor, Nová Paka.