

MORAVSKÁ VYSOKÁ ŠKOLA OLOMOUČ, o.p.s.

Zdeněk Švitorka

Ekonomická efektivita provozu úpraven a čistíren vod

Economic efficiency operation of water treatment plants

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Ing. Miroslav Rössler, CSc., MBA

Olomouc 2018

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené informační zdroje.

Tištěná verze textu práce je shodná s textem práce na CD nosiči.

Olomouc 25. 3. 2018

vlastnoruční podpis

Rád bych poděkoval RNDr. Ing. Miroslavu Rösslerovi, CSc., MBA za odborné vedení, cenné rady a trpělivost v průběhu zpracování této práce.

Zdeněk Švitorka

Obsah

Úvod.....	6
1 Úpravný a čistírný odpadních vod	7
1.1 Základní pojmy	7
1.2 Legislativa v oboru úpravy pitné vody a čištění odpadních vod	11
1.2.1 Tvorba cen vodného a stočného.....	12
1.3 Základní postupy úpravy pitné vody	15
1.3.1 Technologie úprav surové vody.....	18
1.3.2 Specifika podzemní vody.....	19
1.3.3 Specifika povrchové vody	20
1.4 Metody a postupy čištění odpadních vod	20
1.4.1 Mechanický stupeň	21
1.4.2 Biologický aerobní stupeň	21
1.4.3 Biologický anaerobní stupeň	22
1.4.4 Terciální čištění.....	22
1.5 Zpracování kalu	23
1.5.1 Zpracování kalu v úpravárnách vod.....	23
1.5.2 Zpracování kalu v čistírnách odpadních vod	27
2 Metodika výzkumu	29
2.1 Základní pojmy	29
2.2 Dotazníkové šetření	30
2.2.1 Průběh dotazníkového šetření	30
2.2.2 Výhody, nevýhody a rizika dotazníkového šetření.....	34
3 Praktická část	35
3.1 Výchozí analýza.....	35
3.2 Vyhodnocení dotazníkového šetření.....	36
3.2.1 Úpravný pitné vody	37
3.2.2 Čistírný odpadních vod.....	39
3.3 Zpracování získaných informací.....	40
3.4 Zhodnocení a doporučení.....	49
3.4.1 Úpravný pitné vody	49
3.4.2 Čistírný odpadních vod.....	50
Závěr	52
ANOTACE	54
Literatura.....	55

Seznam zkratek	58
Seznam obrázků.....	59
Seznam tabulek	60
Seznam příloh	61

Úvod

Ve své práci jsem se soustředil na jednu součást celkové ekonomické efektivity úpraven a čistíren vod a to jejich energetickou efektivitu. Energetická efektivita je nedílnou součástí ekonomické efektivity a má podstatný vliv na celkové náklady provozu. Každá aglomerace se potýká s problémem úpravy a čištěním odpadních vod. Mnohé provozy disponují poměrně starým technologickým zařízením. Práce bude sbírat data pro odpověď na otázku, která zařízení, či technologie se vyplatí modernizovat či nahradit. Vybraným kritériem v této práci bude energetická úspornost.

K vyhodnocení a zpracování dat jsem využil kombinace dotazníkového šetření (kvantitativní metoda statistické analýzy), analýzy obsahu (kvalitativní metoda) a konzultací. Analýza získaných dat umožní vytipovat oblasti úpravy a čištění vod, na které by bylo dobré se zaměřit a kde by aplikace opatření přinesla co nejvyšší pozitivní efekt. Kde by došlo k největšímu snížení energetické náročnosti provozu. Dopad snížení energetické náročnosti se pozitivně projeví nejen na ekonomické bilanci provozovatele, ale vzhledem k promítnutí snížení provozních nákladů provozovatele do konečných cen odběratelů dojde i k snížení nákladů odběratelů. Tento jev může pak svým multiplikačním efektem podpořit rozvoj ekonomiky nejen dané komunity.

Cílem této práce je vytipovat ty oblasti úpravy a čištění odpadních vod, ve kterých by mohla být navržena opatření vedoucí k největšímu snížení energetické náročnosti provozu.

1 Úpravy a čistírny odpadních vod

1.1 Základní pojmy

Definice základních pojmů oboru nalezneme v zákoně o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů („zákon o vodovodech a kanalizacích“) č. 274/2001 Sb. (zejména §2 a §3) a v zákoně o vodách a o změně některých zákonů („vodní zákon“) č. 254/2001 Sb. §2.

Aerobní – proces či prostředí s dostatkem molekulárního kyslíku.

Anaerobní – proces či prostředí, kde není přítomen vzdušný kyslík.

Disperzní systémy – soustava, která obsahující alespoň dvě fáze nebo dvě složky, z nich je jedna fáze nebo složka nespojitá a je více nebo méně rozptýlena v druhé spojitě fázi nebo složce.¹

Čistírna odpadních vod – objekty a zařízení sloužící k čištění odpadních vod. Tento soubor v sobě zahrnuje mechanický, biologický případně i další stupně čištění. Septiky, žumpy ani další jednoduchá zařízení s mechanickou funkcí určená pro hrubě předčištění odpadních vod, pokud nejsou pravidelně sledována a obsluhována, nejsou z hlediska zákona považovány za čistírny odpadních vod.²

Hrubá disperze – disperzní soustava obsahující částice větší než 1000 nm případně 500nm.³

Huminové látky – vznikají rozkladem přírodních organických látek, jedná se převážně o rostlinné zbytky. Další rozklad huminových látek je obtížný a kromě vody jsou ve velkém množství obsažené v půdě, rašelině, uhlí.⁴

Jednotná kanalizace – kanalizace odvádějící společně odpadní i srážkovou vodu.⁵

Kanalizace – vodní dílo, provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních vod a srážkových vod společně nebo odpadních vod samostatně

¹ Disperzní systémy. In: *Wikiskripta* [online].

Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Disperzní_systémy>.

² ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], §1a.

³ Koloid. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online].

Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Koloid>>.

⁴ Huminové látky. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online].

Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Huminové_látky>.

⁵ Srov. ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], §2.

a srážkových vod samostatně, kanalizační objekty, čistírny odpadních vod, jakož i stavby k čištění odpadních vod před jejich vypouštěním do kanalizace.⁶

Koagulace – přechod koloidního systému na hrubě disperzní.⁷

Kogenerace – kombinovaná výroba tepla a energetické energie, využitím jinak odpadního tepla se zvyšuje účinnost využití paliv.

Koloidní systém – disperzní soustava s částicemi o velikosti 1 nm až 1000 nm případně 500nm.⁸

Odběratel – vlastník pozemku nebo stavby připojené na vodovod nebo kanalizaci, není-li v zákoně č. 274/2001 Sb. stanoveno jinak.⁹

Oddílná kanalizace – typ kanalizace, která odvádí srážkovou a odpadní vodu samostatně.¹⁰

Odpadní voda – voda, jejíž kvalita byla snížena lidskou činností, dělí se na **komunální** odpadní vodu, tedy vodu znečištěnou běžnou lidskou činností a **průmyslovou** vznikající v průmyslových podnicích.

Pitná voda – její definici nalezneme v několika předpisech. Vyhláška 252/2004 Sb. jí charakterizuje takto: pitná voda je zdravotně nezávadná voda její fyzikálně-chemické vlastnosti nepředstavují ohrožení veřejného zdraví.¹¹ Velmi obsáhlou definici pak nalezneme v zákonu č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů „Pitnou vodou je veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání. Hygienické požadavky na zdravotní nezávadnost a čistotu pitné vody (dále jen "jakost pitné vody") se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů, které jsou upraveny prováděcím právním předpisem, nebo jsou povoleny nebo určeny podle tohoto zákona příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví. Hygienické limity se stanoví jako nejvyšší mezní hodnoty, mezní hodnoty a doporučené hodnoty. Doporučené hodnoty jsou nezávazné hodnoty ukazatelů ja-

⁶ Srov. ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], §2.

⁷ Pojem koagulace. In: *www.slovník-cizich-slov.abz.cz* [online].

Dostupné z: <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/koagulace>>.

⁸ Koloid. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online].

Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Koloid>>.

⁹ Srov. tamtéž

¹⁰ Srov. tamtéž

¹¹ Srov. ČESKO. Vyhláška č. 252/2004 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

kosti pitné vody, které stanoví minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky, nebo optimální rozmezí koncentrace dané látky. Za pitnou vodu se nepovažuje přírodní léčivý zdroj a přírodní minerální voda, o níž bylo vydáno osvědčení podle zvláštního právního předpisu.¹²

Podzemní vody – přirozeně se pod zemským povrchem vyskytující vody vyskytující se v pásmu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající podzemními drenážními systémy a vody ve studních.¹³

Povrchové vody – jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu; tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních.¹⁴

Provozovatel (vodovodu nebo kanalizace) – osoba, které provozuje vodovod nebo kanalizaci a je držitelem povolení k provozování tohoto vodovodu nebo kanalizace vydaného krajským úřadem podle zákona č. 274/2001 Sb. §6.¹⁵

Srážkové vody – povrchové vody vzniklé dopadem atmosférických srážek na zem.¹⁶

Stočné – platba za odvedení odpadní vody veřejnou kanalizací a její následné čištění. „Vlastník kanalizace má právo na úplatu za odvádění odpadních vod (dále jen „stočné“), pokud ze smlouvy uzavřené podle odstavce 2 nevyplývá, že stočné se platí provozovateli kanalizace (§ 20). Právo na stočné vzniká okamžikem vtoku odpadních vod do kanalizace. Stočné je cenou za službu spojenou s odváděním a čištěním, případně likvidací odpadních vod.“¹⁷

Surová voda – neupravená voda z povrchového či podzemního zdroje. Slouží jako základní surovina pro výrobu pitné vody.

Úpravna vody – slouží k úpravě zdrojové, surové, vody z povrchových či podzemních zdrojů svým složením k pití nevhodné na pitnou vodu splňující požadavky vyhlášky č. 252/2004 Sb..¹⁸

¹² ČESKO. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Zákony pro lidi.cz* [online], § 3.

¹³ Srov. ČESKO. Zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) In: *Zákony pro lidi.cz* [online], § 2.

¹⁴ Srov. tamtéž

¹⁵ Srov. ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], § 2.

¹⁶ Srov. ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) In: *Zákony pro lidi.cz* [online], § 2.

¹⁷ ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], § 8.

¹⁸ Srov. ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

Vnitřní kanalizace – není vodním dílem, potrubí určené k odvádění odpadních vod, popřípadě i srážkových vod, z pozemku nebo stavby až k místu připojení na kanalizační přípojku.¹⁹

Vnitřní vodovod – není vodním dílem, je to potrubí určené pro rozvod vody po pozemku nebo stavbě navazující na konec vodovodní přípojky.²⁰

Voda 4.0 – pojem využívaný v oblasti vodárenství a čištění odpadních vod. Jedná se pojmenování pro její digitální éru. Jedná se o variantu ve výrobní sféře používaného termínu Průmysl 4.0. Jeho hlavní ideou je, že efektivní využití práce s daty může velmi posunout dynamiku, flexibilitu, ekonomiku i efektivitu celého oboru. Významným propagátorem této koncepce je firma Siemens.²¹

Vodovod – „Vodovod je provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující vodovodní řady a vodárenské objekty, jimiž jsou zejména stavby pro jímání a odběr povrchové nebo podzemní vody, její úpravu a shromažďování. Vodovod je vodním dílem.“²²

Vodné – je cenou za pitnou vodu a za službu spojenou s jejím dodáním. „Vlastník vodovodu má právo na úplatu za dodávku pitné vody (dále jen „vodné“), pokud ze smlouvy uzavřené podle odstavce 2 nevyplývá, že vodné se platí provozovateli vodovodu (§ 20). Právo na vodné vzniká vtokem vody do potrubí napojeného bezprostředně za vodoměrem, a není-li vodoměr, vtokem vody do vnitřního uzávěru připojeného pozemku nebo stavby, popřípadě do uzávěru hydrantu nebo výtokového stojanu. Vodné je cenou za pitnou vodu a za službu spojenou s jejím dodáním.“²³

Vodní dílo – každá stavba sloužící k zadržování, jímání, vedení či jinému nakládání s povrchovou nebo podzemní vodou.²⁴

Vodní recipient – vodní útvar, do kterého vyústí povrchové vody nebo znečištěné odpadní vody. V rámci problematiky čištění odpadních vod se takto nazývá vodní útvar (většinou vodní tok), který je využíván k dočištění odpadních vod, kde je využita samočistící schopnost recipientu.

¹⁹ Srov. ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], §2.

²⁰ Srov. tamtéž

²¹ Srov. Voda 4.0: Digitalizace řeší budoucnost vodohospodářství. *VodaDnes.cz* [online].

²² Srov. tamtéž

²³ ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], §8.

²⁴ Srov. tamtéž

1.2 Legislativa v oboru úpravy pitné vody a čištění odpadních vod

Vodní hospodářství a oblast provozování vodovodů a kanalizací je upravena řadou obecně závazných právních předpisů jako je stavební zákon, vyhlášky, pomocí kterých se stavební zákon provádí, či správní řád. Základní oborovou legislativu pak představuje zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (dále jen „zákon o vodovodech a kanalizacích“) včetně prováděcí vyhlášky č. 428/2001 vyhlášky č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vod a vodní zákon č. 254/2001 Sb.

Zákon č. 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů („zákon o vodovodech a kanalizacích“) Zákon upravuje některé vztahy, které vznikají při výstavbě, rozvoji či provozu vodovodů a kanalizací sloužících veřejné potřebě a přípojky na ně. Rovněž upravuje působnost orgánů územních samosprávných celků a správních úřadů na této oblasti. V úvodní části zákon definuje předmět úpravy a vymezuje základní pojmy s tímto zákonem související. V následných částech se pak věnuje pravidlům provozování vodovodů a kanalizací, technickým požadavkům na výstavbu, požadavkům na jakost vody, dodávkám, měřením, cenám a řešením krizových situací. Dále se zabývá i ochranou vodovodních řadů a kanalizačních stok, působnosti orgánu veřejné správy, sankcím a ochraně odběratele. Stanovuje také pravidla dozoru, technických a ekonomických auditů. Má vliv na další zákony např. živnostenský a zákon o přestupcích.²⁵

Vyhláška č. 428/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). V patnácti částech se zabývá vymezením základních pojmů, zpracováním a aktualizací plánu rozvoje a evidence vodovodů a kanalizací, způsoby výpočtu náhrady za množství odpadní a srážkové vody vypuštěné do kanalizace, obsahem plánů na obnovu vodovodů a kanalizací. Z hlediska úpravy a čištění vody však hlavně obsahuje ukazatele jakosti, určuje množství odebíraných vod a technickými podmínkami měření a odebírání vzorků.²⁶

Vodní zákon č. 254/2001 Sb. §1 odst. 1. „Účelem tohoto zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství). Účelem tohoto zákona je též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů.“²⁷ Zákon upravuje právní vztahy fyzických a právnických osob k povrchovým a podzemním vodám, vztahy k jejich využívání a i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí. Zákonodárce sleduje zájem o zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod, bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povod-

²⁵ Srov. ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

²⁶ Srov. ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích. In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

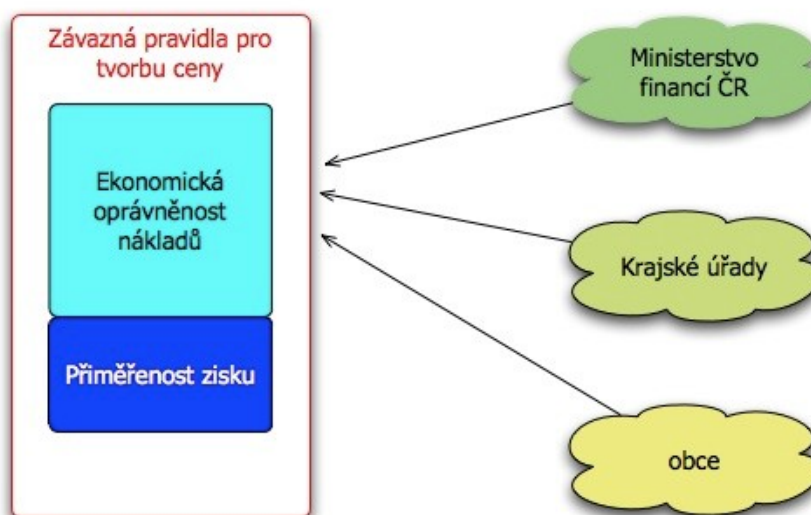
²⁷ ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

ní a sucha.²⁸

1.2.1 Tvorba cen vodného a stočného

Cena vodného a stočného nalezneme v Cenového věstníku vydávaným Ministerstvem financí ČR, patří tedy v České republice mezi tak zvané věcně usměrňované ceny. Tato cena je přísně podřízena kalkulaci Ministerstva financí. Pro provozovatele vodárenské sítě to znamená, že je do ceny vodného a stočného oprávněn promítnout jen oprávněné náklady a přiměřený zisk.

Veškeré legislativní podmínky pro výpočet (kalkulaci) cen vodného a stočného nalezneme ve Vyhlášce č. 428/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích a to v přílohách 19,19a a 20. Při stanovení přiměřeného zisku se přihlíží i k Zákonu č. 526/1990 Sb. o cenách. Dalšími předpisy jsou pak zákon č. 265/1991 Sb., o působnosti orgánů České republiky v oblasti cen, zákon č. 456/2011 Sb., o finanční správě České republiky a vyhláška č. 450/2009 Sb., kterou se provádí zákon č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů. Základními stavebními kameny pro tvorbu ceny vody jsou oprávněné náklady, přiměřený zisk a kalkulační objemy (viz Obrázek 1)



Obrázek 1: Jak se tvoří cena vodného a stočného²⁹

Náklady jsou vztažené k prodanému množství pitné vody (u vodného) nebo odvedené odpadní vody (u stočného). Vzhledem k tomu, že 80% nákladů je fixní³⁰ a nezávisí na množství prodané vody, je cena na tomto množství významně závislá. Konkrétně je dle údajů vodárenských společností spotřeba v České republice ve výši 90 – 103 litrů/os./den. Tato hodnota je 60 % úrovně z konce 80. let.

²⁸ ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

²⁹ Podle jakých pravidel se stanovuje cena vody? *VODARENSTVI.CZ* [online]. [obrázek]

³⁰ Jak se tvoří cena? *Královéhradecká provozní* [online].

Cenový výměr určuje ekonomickou oprávněnost nákladů, stanovuje, které náklady mohou být do kalkulačního vzorce započítány a které ne. Největší položkou v nákladech jsou odpisy vodohospodářského majetku popřípadě také nájemné placené vlastníkovu majetku. Tato položka tvoří cca 40 % všech nákladů provozovatele. Tyto náklady generují zdroje na obnovu vodovodní a kanalizační sítě. Mezi další významné položky patří například opravy a provozní náklady. Z provozních nákladů pak především spotřeba elektrické energie, chemikálií, náklady na kontrolu kvality vody, poplatky státu za čerpané množství surové vody či poplatky za vypouštění odpadních vod.³¹

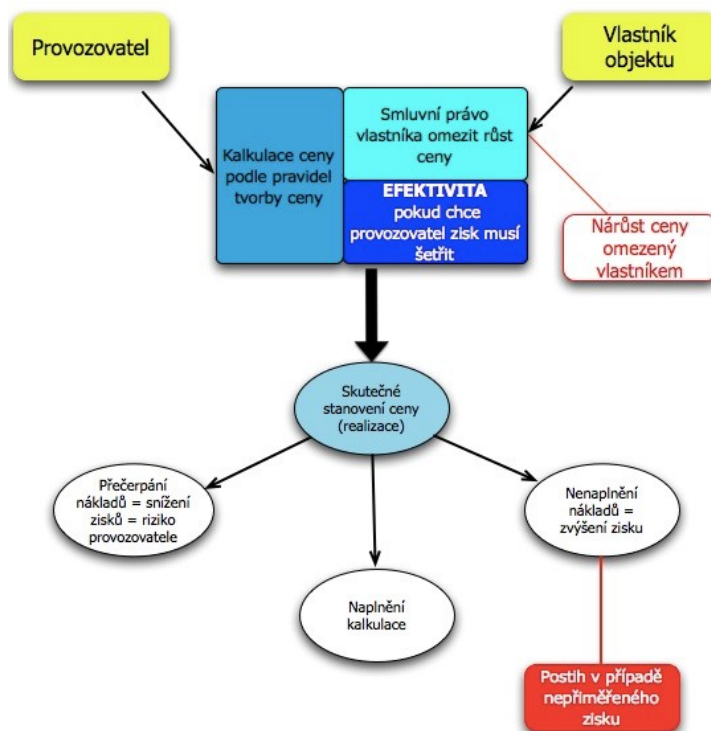
Přiměřený zisk je definován v §2 odst. 7 písm. b) zákona č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů „přiměřený zisk považuje zisk spojený s výrobou a prodejem daného zboží odpovídající obvyklému zisku dlouhodobě dosahovanému při srovnatelných ekonomických činnostech, který zajišťuje přiměřenou návratnost použitého kapitálu v přiměřeném časovém období.“³² Přiměřený zisk provozovatele vodovodní sítě slouží společně s odpisy ke tvorbě zdrojů na obnovu a další rozvoj vodohospodářského majetku. Předepsané postupy kontroluje stát prostřednictvím příslušného finančního ředitelství. Sledují se například plánované a skutečně dosažené náklady, kdy musí být rozdíl vyšší než 5% od kalkulace zveřejněn a současně je věnována mimořádná pozornost tomu, aby byl plánovaný a skutečně dosažený zisk znovu investován do obnovy vodovodní sítě.³³

³¹ Srov. Podle jakých pravidel se stanovuje cena vody? *VODARENSTVI.CZ* [online].

³² ČESKO. Zákon č. 526/1990 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online], § 2.

³³ Srov. tamtéž.

Při určení konečné ceny vodného a stočného sehrávají podstatnou roli vlastníci vodohospodářského majetku (tedy většinou obce), kteří mohou omezit růst ceny. Tento nástroj má vést provozovatele k úsporným opatřením.



Obrázek 2: Úpravy ceny vodného a stočného³⁴

U vodného a stočného také hovoříme o sociálně únosné hranici pro výdaje na vodné a stočné. Ta je definována jako cena pro vodné a stočné, která představuje maximálně 2 % průměrných ročních čistých příjmů domácností se standardní specifickou spotřebou vody 80 litrů na osobu a den. Pro jednotlivé kraje vychází sociálně únosná výše vodného a stočného ze statistických údajů o příjmech a životních podmínkách domácností, které jsou indexované o skutečnou meziroční změnu indexu spotřebitelských cen. Průměrné ročné čisté příjmy domácností jsou navýšeny o průměrnou inflaci za rozhodné období.

Konečná cena vodného se pak získá ze vzorce

$$\text{Úplné vlastní náklady} + \text{zisk} / \text{vody fakturovaná} = \text{cena Kč/m}^3 + \text{DPH}$$

Obdobně pro stočné platí

$$\text{úplné vlastní náklady} + \text{zisk} / \text{vody fakturovaná odpadní} + \text{srážková} = \text{cena Kč/m}^3 + \text{DPH}$$

³⁴ Podle jakých pravidel se stanovuje cena vody? VODARENSTVI.CZ [online]. [obrázek]

1.3 Základní postupy úpravy pitné vody

V České republice bylo v roce 2016 na vodovod pro veřejnou potřebu připojeno 9 972 000 lidí. Průmyslové technologie úpravy vody na vodu pitnou tedy zasahují minimálně³⁵ 94,4% všech obyvatel.³⁶ V České republice existují dokonce dva regiony, kde k vodovodům pro veřejnou potřebu je připojeno 100% obyvatel (jedná se celkem očekávaně o Prahu a poměrně překvapivě o Karlovarský kraj a to ještě Moravskoslezskému kraji do sta procent chybí pouhá jedna desetina!).³⁷ K těmto lidem musíme připočítat ty, kteří sice nejsou připojeni na veřejný vodovod, ale nějakým způsobem si upravují vodu ze svého lokálního zdroje. Množství lidí konzumujících vodu bez jakýchkoli úprav bude proto velmi malé a dá se říci, že se v České republice bude těžko hledat někdo, kdo by se s upravenou vodou nesetkal. Tento fakt jen zvýrazňuje důležitost tohoto oboru a jeho dopad na společnost.

Surovina pro přípravu pitné vody, tedy voda získaná z přírodního zdroje, surová voda, obsahuje většinou příměsi látek, které je před její distribucí, již v režimu pitná voda, do vodovodní sítě odstranit. Tyto mechanické, chemicko-biologické a chemické úpravy se provádí v úpravárnách vod, které zajišťují, že výsledný produkt, pitná voda, bude vyhovovat všem požadavkům na ní kladeným. Kromě legislativou požadovaných, jako je zdravotní nezávadnost, či požadavků na technické vlastnosti vody by úpravna vod měla zajistit u pitné vody především i dobré chuťové a vizuální vlastnosti.³⁸

Surová voda je pro potřeby legislativy rozdělena do kategorií dle obsahu koncentrace sledovaných látek (A1, A2, A3, nesplňující ani kategorii A3), toto rozdělení je zakotveno ve vyhlášce „Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)“ č. 428/2001 Sb. Konkrétní hodnoty jednotlivých ukazatelů jsou pro povrchové vody uvedeny v tabulce 1. Pro podzemní vodu pak platí stejné ukazatele s výjimkou ukazatelů uvedených v tabulce 2, pro ně platí hodnoty v ní uvedené.

Tabulka 1: Ukazatelé jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na pitnou vodu³⁹

Pořadové číslo	Ukazatel	Jednotka	A1 mezní	A2 mezní	A3 mezní
1.	Reakce vody (pH)	pH	6,5-9,5	5-6,5	9,5-10 <5 >10
2.	Barva po filtraci	mg/l Pt	20	100	200
3.	Nerozpuštěné látky suš.	mg/l	10		
4.	Teplota	°C	20	25	25
5.	Konduktivita	mS/m	125	125	125
6.	Pach		příjemný	nepříjemný	

³⁵ Slovo minimálně je zde použito záměrně, protože statistika nezachycuje například neveřejné vodovody.

³⁶ *Statistická ročenka České republiky 2017: Statistical yearbook of the Czech Republic 2017*. str. 111

³⁷ Tamtéž str. 111

³⁸ KAŇKOVSKÝ, Petr. *Vodní stavby a vodní hospodářství*.

³⁹ ČESKO. *Vyhláška č. 428/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích*. [online], příloha č. 13.

Pořadové číslo	Ukazatel	Jednotka	A1 mezní	A2 mezní	A3 mezní
7.	Dusičnany	mg/l	50	50	50
8.	Fluoridy	mg/l	1,5	1,5	1,5
9.	Adsorbovatelné org. vázané halogeny (AOX)	mg/l	0,01	0,02	0,03
10.	Železo celkové	mg/l	0,2	1	2
11.	Mangan	mg/l	0,05	0,5	1,5
12.	Měď	µg/l	50	50	100
13.	Zinek	mg/l	3	5	5
14.	Bor	mg/l	1	1	1
15.	Berylium	µg/l	2	2	2
16.	Nikl	µg/l	20	30	30
17.	Arsen	µg/l	10	10	20
18.	Kadmium	µg/l	5	5	5
19.	Chrom veškerý	µg/l	50	50	50
20.	Olovo	µg/l	10	25	50
21.	Selen	µg/l	10	10	10
22.	Rtuť	µg/l	1	1	1
23.	Kyanidy celkové	mg/l	0,05	0,05	0,05
24.	Sírany	mg/l	250	250	250
25.	Chloridy	mg/l	100	100	250
26.	Tenzidy aniontové	mg/l	0,2	0,2	0,5
27.	Uhlovodíky C10-C40	mg/l	0,1	0,1	0,1
28.	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)	µg/l	0,1	0,1	0,2
29.	Pesticidní látky celkem	µg/l	0,5	0,5	0,5
30.	Chemická spotřeba kyslíku manganistanem	mg/l	3	10	15
31.	Biochemická spotřeba kyslíku (BSK5) při 20°C s vyloučením nitrifikace	mg/l	3	5	7
32.	Amonné ionty	mg/l	0,5	1	3
33.	Celkový organický uhlík (TOC)	mg/l	5	7	10
34.	Huminové látky	mg/l	2,5	5	8
35.	Escherichia coli	KTJ/100 ml	50	5000	50000
36.	Termotolerantní koliformní bakterie	KTJ/100 ml	20	2000	20000
37.	Intenstiální (střevní) enterokoky	KTJ/100 ml	20	1000	10000
38.	Mikroskopický obraz	jedinci/ml	50	3000 500	10000 1000
39.	Pesticidní látky	µg/l	0,1	0,1	0,5
40.	Hliník	mg/l	0,2	1	2

Tabulka 2: Ukazatelé jakosti surové podzemní vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na pitnou vodu⁴⁰

Ukazatel	Jednotka	A1	A2	A3
Železo	mg/l	0,2	5	20
Mangan	mg/l	0,05	1	2
Sulfan	mg/l	platí limity pachu		

Minimální typy úprav surové vody na vodu pitnou se nacházejí v příloze „Zákona o vodovodech a kanalizacích“ č. 274/2001 Sb (viz

Tabulka 3: Legislativní vymezení povinných úprav vody). Zde je předepsán minimální rozsah povinné úpravy surové vody a tím i technologické minimum potřebné pro provozování úpravny vod dle zákona.

Tabulka 3: Legislativní vymezení povinných úprav vody⁴¹

Pro kategorii	Typy úprav
A1	Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plynných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
A2	Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtrace, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltrace, pomalou biologickou filtrace, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
A3	Úprava surové vody vyžaduje dvou či více-stupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinací. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.
Vyšší koncentrace než jsou uvedeny pro ka-	Podle § 13 odst. 2 zákona lze vodu této ja-

⁴⁰ ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích. In: *Zákony pro lidi.cz* [online], příloha č. 13.

⁴¹ Zdroj: ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

Pro kategorii	Typy úprav
tegorii A3	kosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.

1.3.1 Technologie úprav surové vody

Popišme si zde nejprve technologii úpravy vody. Proces úpravy surové vody začíná přimícháním koagulantu. Tento proces se skládá ze dvou fází, v první zvané **číření** se do surové vody přidá za intenzivního míchání dávka koagulantu, druhá fáze probíhající za pomalého míchání pak probíhá ve vložkovacích nádržích. Koagulant je chemická látka (síran hlinitý, chlorid železitý, skalice zelená), jejímž působením se nečistoty obsažené v surové vodě vysráží do formy vloček proces vyvločkování také zvaný **flokulace** (viz kapitola 1.3.3). Protože jsou vločky, tedy směs přidaného koagulantu a nečistot, těžší než voda, tyto vločky klesají ke dnu. Současně záporný náboj vloček na sebe váže mikrobiologické látky, což opět přispívá k růstu jejich velikosti a tedy i jejich usazování.

Následuje proces zvaný **separace**, ve kterém se snažíme oddělit vodu od nežádoucích látek. Nejčastěji se k separaci využívá technologie usazovacích nádrží, kterými voda pomalu protéká, dochází zde k **sedimentaci**, a kde se usazené nečistoty odebírají ode dna ve formě kalu. Následuje **filtrace** obvykle přes jemný písek, která z vody odstraní nejen případné zbytky „vloček“, ale i veškerých drobných mechanických nečistot. K filtraci se využívá buď **pomalých filtrů** – tyto filtry obsahují vrstvu říčního písku a křemelinu na jejich povrchu se vytváří vosková vrstva zvaná filtrační pokožka. Tuto filtrační pokožku tvoří vrstva neprofiltrovaných řas, která zvyšuje účinnost filtru. Její odstraňování je tedy nutné dobře zvážit. Tyto filtry dosahují filtračního efektu až 7000:1, to znamená, že ze sedmi tisíc mikroorganismů projde jeden. Druhou variantou jsou tak zvané **rychlé filtry** – zde probíhá filtrace pod tlakem. Výhodou tohoto postupu filtrace je zkrácení času nutného k filtrování a tím je možné takto očistit daleko větší objem vody. Na druhou stranu je tato metoda filtrace méně účinná. Mezi rychlými filtry – rychlofiltry rozlišujeme dva typy a to tlakové a gravitační. Variantně se můžeme i u nás setkat s dalším ze separačních procesů – **flotací**. Floatace je nadnášení částic mikrobublinkami vzduchu a jejich následné stírání u hladiny.

Po separaci (filtraci) se u vody upravuje tvrdost a pH vody.

Před samotnou distribucí je nutné z hygienických důvodů vodu desinfikovat. K desinfikaci se tradičně nejčastěji využívá plynný chór, kdy je jeho čistá podoba stále častěji nahrazována jinými sloučeninami na chlorové bázi, například oxid chloričitý nebo chlornan sodný. Chlorace desinfikuje vodu tím, že ničí bakterie, spóry a viry, tyto mikroorganismy

neničí samotná přítomnost chlóru, nýbrž jsou ničeny reakcí s molekulárním kyslíkem, vznikajícím spolu s kyselinou chlorovodíkovou, při reakci chlóru s molekulou vody. Hlavní výhodou chlorace je její dlouhodobější působení, může tedy pomoci udržet mikrobiální čistotu i u kvalitativně mírně problematických vodovodních sítí (omezí vliv případně kontaminace pitné vody ve vodovodním řadu). Další oblíbenou metodou je ozonizace, či desinfekce pomocí UV záření. V poslední době se také čím dále tím více začíná i u velkých úpraven prosazovat proces mikrofiltrace. Tyto metody desinfekce (UV záření, ozonizace, mikrofiltrace) kromě dezinfekce, odstraňují z vody zápach a na rozdíl od chlóru a jeho sloučenin mají neutrální vliv na chuť vody. Vzhledem k lokálnosti působení této desinfekční metody jí lze použít pouze v nové a kvalitní vodovodní síti, zaručující, bezpečný přenos pitné vody ke spotřebiteli tedy vodovodní síti kde se pitná voda po cestě ke spotřebiteli nemůže nekontaminovat.⁴² Toto byl popis základních typů úprav vody, v některých vodárenských provozech můžeme najít i jiné z nich bych alespoň zmínil tyto:

Sorpce – tímto procesem je možné z vody odstranit nízkomolekulární přirozené organické látky, nízkomolekulární ropné látky, tenzidy, pesticidy, fenoly, chlorované uhlovodíky a jiné. K sorpci se využívají aktivní materiály (obvykle aktivní uhlí). Aktivní látka – sorbent se dávkuje přímo do vody či je voda filtrována přes jeho granulovanou formu. Jedná se o poměrně nákladný proces úpravy.⁴³

Provzdušňování (aerace) – slouží k nasycení vody kyslíkem. To vede k odstraňování zápachajících látek (amoniaku a sulfanu) Současně aerace napomáhá k oxidaci železnatých kationtů ve vodě a jejich změně na oxidy železité. Ty jsou ve vodě nerozpustné a to umožňuje po jejich vysrážení jejich odstranění z vody filtrací.⁴⁴

1.3.2 Specifika podzemní vody

U podzemní vody je všeobecně požadována méně náročná technologie úprav. Podzemní vody obvykle, z hlediska nevyhovujících vlastností, nalézáme vysokou kyselost (nízké pH), tvrdost a vysoké koncentrace rozpuštěného železa a manganu. Dle umístění zdroje pak surová voda může obsahovat i dusičnany či radon. Například pH lze upravit provzdušněním, tedy velmi jednoduše dokonce bez nutnosti využití chemie. Provzdušňování, které procesem oxidace, současně pomáhá snižovat koncentraci, železa a manganu, probíhá například v aeračních věžích. Až v případě vyšších koncentrací je nutné nasazení chemie typicky manganistanu draselného, chlóru či ozónu.⁴⁵

⁴² Srov. KAŇKOVSKÝ, Petr. *Vodní stavby a vodní hospodářství*.

Srov. BINDZAR, Jan a kol. *Základy úpravy a čištění vod*.

⁴³ Srov. Vodárenská úprava pitné vody. In: *Wikiskripta* [online].

⁴⁴ Srov. tamtéž

⁴⁵ Když se řekne úprava vody. *VodaPitná.cz* [online].

Dostupné z: <<http://www.vodapitna.cz/index.php/uprava-vody-cerpadla/72-kdyz-se-rekne-uprava-vody>>.

1.3.3 Specifika povrchové vody

Specifickým problémem u surové vody z povrchových zdrojů je nejčastěji zákal. Zákal je způsoben přítomností velmi jemných částic ve vodě. Jedná se jak o koloidní látky, tak i látky jemně suspendované. Tyto látky jsou jak organického, tak i anorganického původu. Další častou nepříznivou vlastností vody z povrchového zdroje, kterou je nutno v procesu úpravy na pitnou vodu, je barva. Nejčastěji se setkáváme se žlutým, či žlutohnědým zbarvením způsobeným huminiovými látkami ve vodě. K odstranění zákalu a zbarvení se upravují za pomoci přídavku chemikálií, které spustí proces zvaný koagulace. Vločky jsou řádově o velikosti milimetrů, takže je lze snadno separovat v procesu zvaném separace (viz kapitola 1.3.1).⁴⁶

1.4 Metody a postupy čištění odpadních vod

Podíl lidí napojených na kanalizační soustavu je sice nižší oproti počtu lidí napojených na veřejný vodovod, dosahuje čísla 8 944 402 (z nich je 8 585 513 napojeno na kanalizaci s koncovou čistírnou odpadních vod) jedná se tedy o 84,7% obyvatel, avšak podíl čištěných odpadních vod přesto dosahuje pěkných 97,3% a s výjimkou Zlínského kraje (93, 2%) a Vysočiny (88,1%) všude přesahuje hranici 95%.⁴⁷ Dá se tedy říci, že základní infrastruktura je již téměř dobudována. Tím spíše by bylo nyní dobré zaměřit se na její optimalizaci, kde velkou roli hraje i energetická optimalizace provozu čistíren odpadních vod.

Tato práce se zaměřuje na čistírny odpadních vod (ČOV) tak, jak jsou definovány dle § 1 písm. h) vyhlášky č. 428/2001 Sb.⁴⁸. Tyto ČOV musí obsahovat minimálně dva stupně čištění tedy mechanický a biologický. Většina vybudovaných ČOV této velikosti pochází z 60. a 70. let minulého století. Jejich předností bylo využití poměrně pokrokových řešení. Bohužel vzhledem k tehdy nepsanému pravidlu používat pouze tuzemské strojně-technologické vybavení nebylo často dosaženo optimálního výsledku. Moderní čistírny odpadních vod se pak začaly stavět hlavně po roce 1990. Technologie těchto ČOV je již více zaměřena na zvýšené odstraňování biogenních prvků dusíku a fosforu. Zařazení denitrifikační linky do procesu čištění umožnilo u nově postavených ČOV dosahovat lepší kvalitu odtoku, než je v současnosti požadováno legislativou České republiky.

⁴⁶ Když se řekne úprava vody. *VodaPitná.cz* [online].

Dostupné z: <<http://www.vodapitna.cz/index.php/uprava-vody-cerpadla/72-kdyz-se-rekne-uprava-vody>>.

⁴⁷ *Statistická ročenka České republiky 2017: Statistical yearbook of the Czech Republic 2017*. str. 112

⁴⁸ Srov. ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online].

1.4.1 Mechanický stupeň

Mechanický stupeň ČOV tvoří dvě části:

- Předčištění – ochranná část ČOV, hrubé předčištění – odstranění hrubých nečistot z přitékající odpadní vody a současně ochrana strojního vybavení ČOV
- První stupeň čištění, primární čištění – separace jemnějších podílů nerozpuštěných látek znečištění odpadní vody ve formě kalu

Předčištění – Odpadní voda přiváděná do ČOV z kanalizace může obsahovat hrubé nečistoty, zvláště pokud se jedná o jednotnou kanalizaci. Proto je na začátku procesu čištění umístěn lapák šterku, jeho funkcí je z vody odstranit nejhrubší nerozpuštěné nečistoty jako je šterk, dlažební kostky a podobně. Následně se z vody odstraňují plovoucí nečistoty jako je papír či listí. K tomuto účelu slouží buď síta či česla s ručním nebo strojovým shrabáváním naplavenin. Malé čistírny odpadních vod zde využívají i mělníci česle, desintegrátory. Následuje lapák písku často kombinovaný s lapákem tuků. Cílem je oddělit organické a anorganické látky. Zatímco organické látky jsou prospěšné pro další fáze čištění, anorganické látky je potřeba z odpadní vody odstranit. Odstraněním písku se například snižuje abrazivní poškození dalších částí ČOV. K separování se využívá buď gravitační či odstředivá síla, kdy se využívá toho, že různé látky obsažené v odpadní vodě mají různou hustotu.⁴⁹

Primární čištění – Tento proces probíhá v usazovacích nádržích, kde dochází k usazení jemných, ve vodě nerozpuštěných látek. Současně jsou z povrchu odstíněny i drobné plovoucí nečistoty. Vzniklému odpadu se říká surový kal. Surový kal je dále zpracováván v kalovém hospodářství.

1.4.2 Biologický aerobní stupeň

Do tohoto stupně vstupuje voda po mechanickém vyčištění. Principem je využití aerobních bakterií, které ve svém metabolismu odbourávají 99 % organického znečištění vody. Mezi hlavní procesy tohoto stupně patří mineralizace, kde se v procesu aerobní respirace odbourávají uhlíkaté organické látky za vzniku CO₂ a vody. Další částí mineralizace je amonifikace, kdy dojde k odbourání dusíkatých organických látek na amonný iont. Dalšími procesy jsou nitrifikace (přeměna amonného iontu na dusičnany), imobilizace, a detoxikace. Takto zpracovaná voda vstupuje do II. sedimentace. Zde vzniká čistá voda, která opouští čistírnu, a aktivovaný kal. Aktivovaný kal je následně využit v anaerobním stupni (přebytečný aktivovaný kal), nebo k zaočkování biologického stupně (vratný aktivovaný kal).

Biologické čištění probíhá v biologickém reaktoru. Zde je znečištění z odpadní vody odstraňováno pomocí mikroorganismů nazývaných aktivovaný kal. Aktivovaný kal je v biologickém reaktoru kultivován buď jako suspenze (tzv. aktivační systémy), nebo na pevném nosiči (tzv. biofilmové reaktory). Těchto reaktorů je celá řada typů. Aktivovaný kal dokáže z odpadní vody odstranit značné množství organického znečištění i sloučenin du-

⁴⁹ Srov. KAŇKOVSKÝ, Petr. *Vodní stavby a vodní hospodářství*.
Srov. BINDZAR, Jan a kol. *Základy úpravy a čištění vod*.

síku a fosforu.

Směs vody a aktivovaného kalu pak teče do dosazovací nádrže, kde dochází k oddělení vyčištěné vody od aktivovaného kalu v důsledku jeho sedimentace. Část aktivovaného kalu je vracena zpět do biologického reaktoru a část je oddělena jako přebytečný kal a odváděna ke zpracování do kalového hospodářství.⁵⁰

1.4.3 Biologický anaerobní stupeň

V tomto stupni dochází k rozkladu organické hmoty za anaerobních podmínek pomocí mikrobiálního rozkladu. U malých ČOV do 10000 EO se využívá většinou jednostupňový nevyhříváné vyhnívání u větších pak tzv. dvoustupňové vyhříváné vyhnívání. Nevyhříváný, také zvaný studený kryofilní proces probíhá za běžných teplot (10 – 30°C), vyhříváný pak v podmínkách mezofilních (30 – 40°C) nebo termofilních (50 – 55°C). Působením mikroorganismů se z aktivovaného kalu uvolňují plyny. Obvykle v poměru 65 – 68 % CH₄, 30 – 31 % CO₂ a malá množství do 1 % H₂, N₂ a O₂. CH₄ metan se dá využít jako zdroj energie.⁵¹

1.4.4 Terciální čištění

Zde se odpadní vody dočišťují a zbavují se nerozpuštěných látek a fosforu a dochází zde k odstranění patogenů, tedy hygienizaci odtoku před vypuštěním do recipientu.

⁵⁰ Srov. KAŇKOVSKÝ, P. *Vodní stavby a vodní hospodářství*.

⁵¹ Tamtéž. str. 95-108.

1.5 Zpracování kalu

1.5.1 Zpracování kalu v úpravnách vod

V případě úpraven vody existují dvě možné varianty zpracování vzniklého vodárenského kalu. Buď jsou zpracovány v areálu úpravny vod, nebo jsou vypuštěny do kanalizace a samotné zpracování a případné konečné využití probíhá až v objektu čistírny odpadních vod společně s další odpadní vodou.

Kaly produkované ve vodárenství obsahují velké množství vody (až 99%), proto je nutné před jeho dalším zpracováním nutné její množství snížit. K tomuto účelu slouží procesy zahušťování a odvodňování. Jejich cílem je dosáhnout koncentrace sušiny ve výsledném kalu o hodnotě 1,5 – 4%. Horní hranice 4% je zvolena s ohledem na možnost dopravy kalů pomocí čerpání. Tyto procesy se provádí pomocí technologie sedimentace či floatace. Ve vodárenství převažuje sedimentace v usazovacích nádržích s následným zahuštěním v zahušťovacích nádržích.⁵²

K zahušťování získaného z usazovacích nádrží se využívají tak zvané **zahušťovací nádrže**. Technologicky sice lze usazování a zahušťování provést i v jedné nádrži, avšak zde většina usazovacích nádrží je nevyhovující vlastnosti. Velkým problémem je zejména malá výška kalového prostoru. Zahušťovací nádrž většinou předchází procesu odvodnění (odstředivky, kalolisy atd.), protože zahuštěním se zmenší objem zpracovávaného kalu, což snižuje nároky na potřebnou kapacitu odvodňovacích zařízení. Samotná konstrukce zahušťovacích nádrží je obvykle podobná kruhovým usazovacím nádržím. Nádrže mohou pracovat v odstavném (přerušovaném) nebo průtočném (kontinuálním) režimu.

U úpraven vod se obvykle používají dvě zahušťovací nádrže v odstavném režimu, kdy jedna se plní a v druhé probíhá zahušťování. V případě že je nádrž navržena na průtočný režim, stačí obvykle i jedna nádrž. V tomto případě se před průtočnou nádrží instaluje vyrovnávací komora, kde se homogenizuje kal z různých procesů. Zahuštěný kal se k dalšímu zpracování odebírá ze dna zahušťovací nádrže. Voda odebírána od hladiny je vrácena před první separační stupeň nebo vypouštěna do kanalizace. Zahušťování podporuje pomalé míchání. Zahušťování dokáže, při době zdržení 1 až 5 dní, zvýšit množství sušiny až na trojnásobek.⁵³

Proces flotace je vhodný pro separaci suspendovaných látek, mikroorganismů a částic, které vznikly koagulací, případně koagulací s následnou flokulací z kapaliny. Tento proces bývá až o řád účinnější než sedimentace. Při úpravě pitné vody se flotace zařazuje jako první separační stupeň v rámci dvoustupňové úpravy a jako perspektivní se flotace na úpravnách vod jeví i pro zahušťování kalů. Její výhodou je oproti zahušťovacím nádržím menší potřebná plocha a objem zahušťovacího zařízení a rychlejší zahuštění suspendovaných látek. V České republice se floatace využívá například v kalovém hospodářství úpravny vody Souš. V roce 2014 byla po rekonstrukci uvedena do provozu úpravna vody Mostiště, kde byla do kalového hospodářství navržena flotace kombinovaná se šnekovým lisem. V rámci rekonstrukce byly

⁵² BIELA R., ŠEVČÍKOVÁ I. Možnosti zpracování vodárenských kalů. *TZB-info 2015* [online]

⁵³ KAŇKOVSKÝ, P. *Vodní stavby a vodní hospodářství*.

dvě nové flotační jednotky určené k zahuštění odpadních vod nainstalovány i v úpravně vody III. Mlýn.

Aby šlo s kalem manipulovat jako se zeminou, dostat ho do rypatelné konzistence je zapotřebí využít procesu odvodňování. Kaly se odvodňují dvěma způsoby. První způsob zvaný přirozený (gravitační) využívá k odvodňování kalová pole a laguny. Druhý využívá strojní síly na kalolisech, pásových lisech, odstředivkách a dalších zařízeních. Tyto procesy se liší efektivitou. Přirozený způsob má nízkou efektivitu, která je závislá na klimatických podmínkách, proto je jejich využívání na ústupu. Tento způsob tak zůstává v úpravách vody s malou produkcí kalů.

Kalová pole jsou většinou nezastřešené obdélníkové nádrže, ohraničení tvoří betonová stěna. Dno tvoří sypaná vrstva šterku následovaná vrstvou písku. Ve šterkové vrstvě se nachází drenáž, která vyústí do hlavního sběrače. U větších polí, rozměry mohou být až 20×8 m, je část dna zpevněna pro pojezd mechanismu. Výška napuštění kalem je 30 – 50 cm. Odsazená voda, odváděná přepady, by měla být v kvalitě umožňující její vypouštění do recipientu. Proces odvodňování uplatňuje na kalových polích kombinace sedimentace, filtrace za využití sluneční energie. Na tento proces mají velký vliv povětrnostní vlivy. Cyklus vysoušení vyžaduje nejméně tři samostatné jednotky, které si periodicky mění svou funkci: napouštění, vysychání a vybírání s přípravou na další napouštění. Každá jednotka obsahuje posuvné hradící zařízení ke stahování odsazené vody. Vyklizený kal tvoří vrstvy s malou výškou, typicky 10 – 30 cm. To umožňuje k vybírání využít pouze jednoduché mechanismy. Zdržení 1 – 2 měsíce vytvoří cca 10 cm tlustou vrstvu kalu s 10 – 20 % sušiny.⁵⁴

Kalová laguna je ohrázkovaná nádrž s funkcí odsazení, zahuštění, promrznutí a vysoušení kalů. Hrázky a dno jsou dle potřeby zpevněny.⁵⁵ Dno kalových lagun je na rozdíl od kalového pole přirozené bez drenážní vrstvy. Obvod laguny je tvořen zemí, zpevněné drnováním, dlažbou nebo panely. Laguny bývají opatřeny vjezdem pro mechanizaci. Navrhují se nejméně dvě jednotky. V kalové laguny probíhají zahušťovací i odvodňovací funkce. Laguny lze plnit i kaly zahuštěnými již na 1–2 % ze zahušťovacích nádrží. Výška napuštěného kalu je 0,6–1,0 m. Tato vrstva vysychá cca 5–6 měsíců. Vzhledem k tomu, že technologie pro správnou funkci požaduje promrznutí kalu, se kalové laguny obvykle navrhují na dvouletý pracovní cyklus. Tento způsob odvodnění a zahuštění klade vysoké nároky na plochu, takže je jejich využití vhodné pro úpravný do 300 l s^{-1} . Pro větší objemy se k odvodnění využívá strojních technologií, jako jsou kalolisy.⁵⁶

Další variantou odvodnění kalů jsou tak zvané **odvodňovací vaky**. Jsou to vaky vyrobené z hydrofobního materiálu (nejčastěji polypropylen). Nacházejí využití u menších úpraven s produkcí kalu v sušině do 200 kg den^{-1} . K odvodnění kalu ve vaku se využívají póry v tkanině, kterými voda působením gravitace vytéká ven, současně materiál zabraňuje průni-

⁵⁴ BIELA R., ŠEVČÍKOVÁ I. Možnosti zpracování vodárenských kalů. *TZB-info 2015* [online]

⁵⁵ Srov. BIELA R., ŠEVČÍKOVÁ I. Možnosti zpracování vodárenských kalů. *TZB-info 2015* [online]

⁵⁶ Srov. BIELA R., ŠEVČÍKOVÁ I. Možnosti zpracování vodárenských kalů. *TZB-info 2015* [online]

ku vody zvenku, takže vaky není nutno ukládat do budov. Uvolněné místo ve vaku se doplňuje dalším kalem, než je dosaženo obsahu sušiny 15 až 20 %. Tento proces trvá jeden až dva dny, po kterých následuje po dobu 1- 2 měsíců vysušování kalu. Výsledkem je obsah sušiny až 50 %. Vaky je možné skladovat i venku, protože vodu propouští pouze směrem ven.⁵⁷

Ze strojních metod odvodňování kalů jsou ve vodárenské praxi nejčastěji využívány odstředivky, kalolisy případně pásové lisy. Před samotným strojním odvodňováním je vhodné kal upravit, které sníží spotřebu energie. Tyto úpravy jsou založeny buď na fyzikálních procesech jako jsou ohřev, vymrazování, ultrazvuk či přidání zrnitého materiálu (popílek, piliny) nebo chemických (přidání flokulantů, vápna).

Kalolisy odvodňují kaly za působení tlaku, kdy je kal hydraulicky stlačován mezi deskami. Těchto desek bývá v jednom kalolisu více za sebou, kdy ta největší zařízení mají až 50 ráků o velikosti 2,5 × 2,5 m. Pevný podíl kalu se zachycuje na plachetkách v podobě filtračního koláče, vytlačena voda odtéká drenážemi. Plachetky, které slouží k oddělení tekuté a pevné části, se vyrábí buď z klasických materiálů jako jsou bavlna a len, nebo z materiálů syntetických. U plachetek vyrobených ze syntetických materiálů se lze nejčastěji jako materiálem setkat s polyetylenem a polypropylen. Po otevření kalolisu se vzniklý filtrační koláč (pevná část kalu) dopravuje do kontejneru pásovým nebo šnekovým dopravníkem.⁵⁸

Pásový lis je tvořen dvojicí nekonečných pásů a soustavou vodících válců. Tento typ lisu je založen na tom, že se kal posouvá v zužujícím se prostoru mezi dvěma (třemi) pásy (plachetkami). Pomocí soustavy válců je kal odvodňován, na konci pak odpadá odvodněný kal s podílem sušiny 20 až 35 %. Výhodou pásových lisů je jejich nízká spotřeba energie. Nevýhodou je pak vysoká spotřeba vody používané na oplach pásů.

Pro kontinuální odvodňování kalů se využívá **odstředivka**. Odstředivka se skládá z kónického válcového bubnu a šnekového dopravníku. Buben i šnek mají stejný smysl otáčení s rozdílnou rychlostí otáčení. Přiváděný kal je vpouštěn do tělesa šneku kde jej působení odstředivé síly usměrní směrem k plášti bubnu. Těžší částice se usazují na povrchu bubnu a šnekem jsou z něj posouvány do kuželové části, kde je výstup pro odvodněný kal. Nevýhodou tohoto způsobu odvodňování kalu je hlučnost a vysoká spotřeba energie. Tato technologie, používaná převážně u čistíren odpadních vod, se v současnosti využívá například u úpravy vody v Podhradí.

Možností jak stabilizovat a tedy likvidovat stabilní kaly je několik a ty si zde popíšeme. Některé aplikace vyžadují předběžnou úpravu kalu jako je hygienizace či chemická stabilizace, například vápnění, které je vhodné pro stabilizaci a současně i hygienizaci surových i stabilizovaných kalů.

⁵⁷ Srov. BIELA R., ŠEVČÍKOVÁ I. Možnosti zpracování vodárenských kalů. *TZB-info 2015* [online] a srov. KAŇKOVSKÝ, P. *Vodní stavby a vodní hospodářství*.

⁵⁸ KAŇKOVSKÝ, P. *Vodní stavby a vodní hospodářství*.

- Zemědělství – Kaly se v zemědělství dají využít dvěma způsoby. Prvním je **pří- má aplikací** stabilizovaných kalů na půdu jako hnojiva. Tato aplikace vyžaduje předběžnou úpravu kalů. Druhou je pak kompostování. **Kompostování** umožňuje aerobní biologickou stabilizaci materiálu s jeho využitím opět jako hnojiva. Praktické uplatnění je však čím dále tím více omezováno nejen novými ekologickými předpisy v zemědělství, díky nimž neustále narůstá seznam látek potenciálně nebezpečných.
- Spalování – **Spalování** je nejúčinnější metoda hygienizace materiálu. Tím je optimální variantou pro likvidaci kalů s obsahem biologicky nerozložitelných organických, nebezpečných či přímo toxických materiálů. Pro likvidaci organických materiálů je z ekologického hlediska velmi výhodná metoda **mokrého spalování**, či **spalování v cementárenské peci**. Spalování v cementárenské peci, kdy se kal zapracuje do cementu je tak bezodpadovou metodou zpracování odpadu. V případě jiných typů kalů můžeme využít metody **spoluspalování**. Spoluspalování probíhá tak, že se kal (obvykle do 5% spotřeby) spaluje společně s energeticky bohatším palivem. Toto spalování může probíhat v teplárnách, elektrárnách či spalovnách odpadu.
- **Termické zpracování** zde mluvíme zejména o různých způsobech pyrolýzy či zplyňování.
- **Skládkování** – Skládkování (*deponie*) je uložení materiálu na zabezpečenou skládku, kdy se očekává, že se v budoucnosti nenalezne jeho snadnější metoda využití nebo zneškodnění. Skládkovat by se především měly inertní materiály. Tento způsob „likvidace“ je prostorové i ekologicky nejméně vhodným řešením. Jedná se o pouhé odložení problému a jeho posunutí na pozdější dobu.⁵⁹

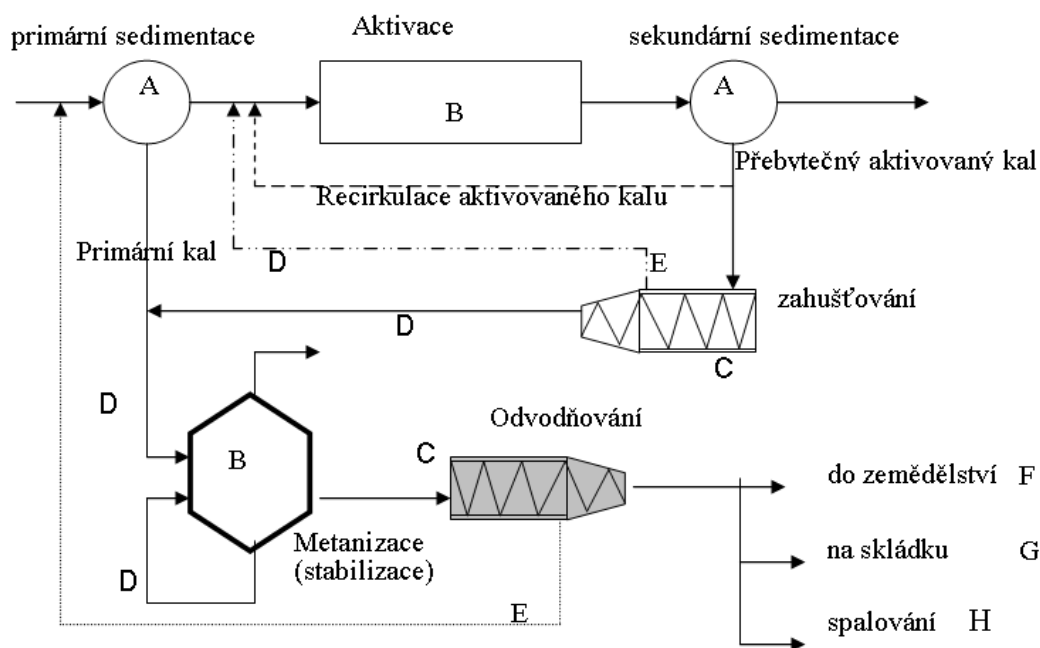
⁵⁹ DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online] BIELA R., ŠEVČÍKOVÁ I. Možnosti zpracování vodárenských kalů. *TZB-info 2015* [online]

1.5.2 Zpracování kalu v čistírnách odpadních vod

Odpadním produktem čištění odpadních vod je tak zvaný kal, do kterého se koncentrují nežádoucí složky z čistěných vod.

Kal lze dělit do několika skupin

- Primární kal (nazývaný také surový kal) – obsahuje nerozpuštěné látky, které prošly předčištěním a byly zachyceny během primárního čištění v usazovacích nádržích. Obvykle má zrnitou strukturu.
- Sekundární kal – obvykle se jedná o přebytečnou biomasu, tento kal pochází z dosazovacích nádrží a má vločkovitou strukturu



Obrázek 3: Základní schéma čistírny odpadních vod s kalovým hospodářstvím⁶⁰

Kaly vytvářené v městských ČOV mají průměrně 0,5 až 7 % sušiny. Tato sušina se obvykle skládá z 60-70 % organických látek a 30-40 % anorganických látek. Tyto údaje se od sebe značně liší v závislosti na místních podmínkách, například množství průmyslu. Částice obsažené v kalu jsou většinou koloidního charakteru. Organická hmota sušiny obvykle zadržuje velké množství vody, tato vlastnost způsobuje obtížné odvodňování kalů prostou sedimentací.⁶¹

Pro zpracování čistírenských kalů se používají obdobné postupy jako u vodárenských, proto nebudu opakovat obsah předchozí kapitoly a popíši zde jen významné rozdíly.

Hlavním rozdílem oproti kalům z úpraven vod je u čistírenských kalů podíl biologické hmoty. To umožňuje ke stabilizaci kalu výhodné využití anaerobní procesů, které produkují bioplyn. Následným využitím bioplynu pak získat zpět část energie vázané v odpadních vo-

⁶⁰ DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online] [obrázek]

⁶¹ Zpracování kalů. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online].

dách. Například po modernizaci kalového hospodářství je pražská centrální čistírna odpadních vod schopna vyprodukovat až 50000 m³ bioplynu, který následně využívá ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla a snižuje si tím svou závislost na dodávkách externí energie.

Způsoby finálního nakládání se stabilizovanými kaly vidíme na obrázku 3. Použití stabilizovaných kalů v zemědělství, jako je kompostování, rekultivace a podobně je v České republice čím dál tím obtížnější. Příčinou je jejich charakter, kdy se do kalu koncentrují znečišťující látky z vyčištěné odpadní vody. Typicky lze v kalech nalézt zbytky různých chemikálií, kovů, či léků. Je nežádoucí tyto látky vracet do životního prostředí a jejich odstranění z kalu je neefektivní. Zájem o čistírenské kaly je proto z oblasti zemědělství naprosto minimální. Jejich spalování ať již přímé, v kombinaci s jiným energeticky bohatším palivem či bezodpadová, ekologicky čistá metoda spalování v cementárnách není v České republice v provozu. V přípravě a testování jsou zatím dvě spalovny, v Brně a Jihlavě. Takže převažující metodou finálního nakládání se stabilizovaným kalem je deponie. Přitom nemluvíme o malých číslech, produkce čistírenských kalů je v absolutní sušině přibližně 200 000 t ročně. Tato produkce se bude stále zvyšovat. Česká republika se zavázala k vybudování čistíren odpadních vod ve všech obcích nad 2 000 obyvatel. V následujících letech se tak odhadované množství kalu pohybuje mezi 220 000 až 340 000 t sušiny za rok.⁶²

⁶² Zpracování kalů. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online].

2 Metodika výzkumu

2.1 Základní pojmy

Dichotomické otázky – otázka umožňuje pouze dvě odpovědi (ano/ne).

Dotazník – jedna ze standardních technik sběru dat. Jedná se o písemnou formu dotazování.

Hodnoticí škála – respondent vyjadřuje svůj postoj výběrem ze stupnice (např. 1-5).

Kvantitativní výzkum – popisuje zkoumanou skutečnost pomocí znaků, které lze vyjádřit čísly. Tyto hodnoty mohou vznikat měřením, či škálováním odpovědí respondentů. Výsledky výzkumu lze poté zpracovat statistickými metodami a lze je i pomocí nich i interpretovat. Výhodou kvantitativního výzkumu je vzhledem k jeho většímu rozsahu respondenetů, vyšší reprezentativnost menší závislost na schopnostech a kvalitách respondentů a tudíž i lepší schopnost získání snáze ověřitelných a srovnatelných výsledků. Nevýhodou je pak obtížnější interpretace výsledků a nutnost většího vstupního souboru dat.

Respondent – dotazovaný, odborný výraz pro účastníka šetření.

Trichotomické otázky – u těchto otázek má na rozdíl od dichotomických otázek respondent navíc třetí možnost (nevím).

Škála pořadí – u tohoto typu otázek respondent řadí jednotlivé položky do pořadí dle svých preferencí.

Výběrové otázky – tyto otázky umožňují výběr jedné z nabízených alternativ.

Výčtové otázky – u těchto otázek lze vybrat několik variant současně.

2.2 Dotazníkové šetření

Dotazníkové šetření je jednou z forem kvantitativního šetření. Pro kvantitativní výzkum je typický deduktivní přístup, kdy výzkumník vychází z nějaké teorie, formuje hypotézy o vztazích mezi proměnnými, aby následným sběrem dat byl schopen ověřit či vyvrátit jejich pravdivost. Současně je pro správné provedení výzkumu zásadní objektivita. Ideálně je výzkumník nezúčastněný. Jím kladené otázky nejsou tendenční. Kvantitativního výzkumu se zpravidla zúčastňuje velké množství respondentů. Pro snížení vlivu vnějších aspektů probíhá šetření obvykle anonymně.

Východiskem pro kvantitativní výzkum je výchozí hypotéza. Hypotéza je základem k výběru sledovaných znaků, které slouží tedy k tvorbě otázek. Zvolené znaky mohou mít měřitelnou, či číselnou podobu (věk, hmotnost...), ale může se jednat i o údaje kategoriální jako je například pohlaví tazatele. Tyto neměřitelné údaje je pak nutné převést obvykle pomocí škálování na čísla.⁶³

2.2.1 Průběh dotazníkového šetření

Stanovení výchozí hypotézy

První fází dotazníkového šetření je stanovení výchozí hypotézy. Výchozí hypotéza by měla být formulována slovně. Výchozí hypotéza nám, kromě stanovení výzkumného problému umožňuje formulaci cílů respektive sledovaných záměrů. Nejčastější cíle šetření jsou

- Shromáždění údajů, dat – cílem šetření je získat data, která budou využita k analýze nějakého jevu nebo situace.
- Zjištění názorů či postojů určité skupiny respondentů – využívá se například v marketingu, při hodnocení politických nálad a preferencí a podobně.
- Ověření znalostí a kompetencí respondentů.
- Ověření účinnosti proběhlých opatření – kontrolní mechanismus, který umožňuje například firmám zhodnotit dopad dříve přijatých opatření.

Sestavení skupiny respondentů

Pomocí formulovaného výzkumného problému a stanoveného cíle jsme v další fázi schopni **stanovit skupinu respondentů**. Při výběru respondentů musíme mít stále na zřeteli fakt, že výběr respondentů může podstatným způsobem zkreslit výsledek šetření. Je třeba brát v úvahu nejen základní demografické složení (věk, pohlaví, vzdělání, zaměstnání, bydliště), ale i osobní zkušenosti (kvalifikace, pracovní pozice, ale i například předchozí zkušenost s vyplňováním dotazníků). Dalšími významnými vlivy jsou i typ a místo šetření. Podstatnou roli při vyplňování dotazníku hrají psychologické faktory. Vždy je nutné při výběru respondentů pracovat s jejich motivací, momentálním vytížením. V neposlední řadě musíme brát v úvahu právní souvislosti - jsou informace, které ze zákona poskytovat nelze.⁶⁴

⁶³ Dotazníkové šetření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online].

Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dotazníkové_šetření> .

⁶⁴ Srov. CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*.

Výzkumné otázky

Formulace otázek hraje v dotazníkovém šetření klíčovou roli. Špatně naformulovaná otázka může zkreslit či dokonce znemožnit správné statistické vyhodnocení. U výzkumných otázek je důležitý nejen obsah otázky, ale i její forma. Základním požadavkem každého dotazníku je jeho relevantnost, tedy aby výsledek šetření odpovídal potřebám zadání. Výzkumné otázky by tedy měly být jednoznačné, aby snižovaly možnost zkreslení získané informace. Jednoznačnost otázek úzce souvisí s výběrem respondentů, kteří budou odpovídat. Výzkumné otázky tedy musí být respondentům „šité na míru“.

Hlavní zásady při formulování otázek jsou:

- Jednoznačnost.
- Srozumitelnost.
- Stručnost.
- Validnost.

Z těchto zásad vychází i jazykové vlastnosti výzkumných otázek mezi které zejména patří:

- Používání celých vět.
- Neutrální jazyk – není vhodné využívat emotivně zabarvená slova ať již pozitivně či negativně.
- Pozitivní formulace otázek.
- Spisovný jazyk.
- Minimalizovat použití zkratk, cizí slova či odborných termínů – dotazník má být co nejvíce srozumitelný.

Teorie pak použité otázky dělí dle formy do několika skupin.

Uzavřené – respondent si musí vybrat odpověď z několika variant, dotazovaný si musí vybrat jednu či více odpovědí z dané nabídky. Tento typ otázek je vhodný, pokud známe většinu možných odpovědí. Jedná se o otázky dichotomické, trichotomické, výběrové a výčtové. Do této skupiny se zařazují i škály (hodnotící škála, škála pořadí). Škálové otázky jsou nejvhodnější pro měření postojů a názorů. Díky svému číselnému vyjádření lze odpovědi jednoduše kvantifikovat.

Výhody:

- jednoduchost vyplnění,
- nasměrování respondenta směrem, který nás zajímá,
- snadné zpracování dotazníku.

Nevýhody:

- možnost nahodilého vyplnění,
- sugestivní odpovědi,
- nabídka nemusí přesně vystihnout názor respondenta,
- složitost při vytváření dotazníku.

Otevřené – v otevřených otázkách respondent odpovídá na otázku volně, odpověď musí vyjádřit vlastními slovy.

Výhody:

- umožňují získat odpověď, která autora dotazníku nenapadla,
- tím že respondent není omezen výběrem varianty, zachycuje věrněji názor respondenta,
- nutí k hlubšímu zamyšlení nad tématem,
- jsou užitečné, nelze-li efektivně definovat nebo vypsát všechny možné varianty odpovědi,
- napomáhají získat kontakt s respondentem, takže se hodí jako úvodní otázky.

Nevýhody:

- nesnadné zpracování díky volnosti odpovědí,
- obtížná interpretace odpovědi,
- kvalita je ovlivněna verbálními schopnostmi respondenta.

Polouzavřené – jedná se kombinaci uzavřených a otevřených otázek. Většinou vznikne z uzavřené otázky přidáním varianty jiné, která umožňuje respondentovi volně vyjádřit svůj názor.

Otázky v dotazníku můžeme také dělit dle sledovaného cíle. Zde rozlišujeme tak zvané filtrační, kontrolní a trikové otázky.

Filtrační – tyto otázky slouží k třídění respondentů do různých skupin. To umožňuje následně různým skupinám pokládat specifické otázky.

Kontrolní otázky slouží k ověření pravdivosti předchozích odpovědí.

Trikové otázky se pak používají v případě, kdy potřebujeme pomocí odvedení pozornosti respondenta získat spontánní odpovědi.

Sestavení dotazníku

Výzkumné otázky je třeba je sestavit do logického sledu a zvážit i další formální náležitosti dotazníku. Naší snahou je, aby výsledný dotazník byl co nejvíce přehledný a srozumitelný. Na kvalitu odpovědí má vliv i přehlednost na stránce, velikost a typ písma.

Výhodou je, pokud máme možnost testovací skupiny respondentů, kteří nám poskytnou zpětnou vazbu.

Distribuce dotazníku

Další fází dotazníkového šetření je výběr formy distribuce. Především je třeba uvážit, která forma nám zajistí maximální návratnost a pravdivost rozesílaných dotazníků. Formy distribuce můžeme zhruba rozdělit do těchto skupin.

- Přímé oslovení respondenta, telefonické, případně i osobní schůzka – tato metoda sice umožňuje téměř stoprocentní návratnost dotazníků. Tazatel může sledovat reakce dotazovaného a tak může tónem hlasu či jinými způsoby ovlivnit ochotu respondenta odpovídat. Avšak jedná se o variantu časově a tedy i finančně velmi náročnou.
- Zaslání dotazníku poštou – poměrně jednoduchá aplikace, ale velmi nízká míra návratnosti.
- Email, sociální sítě – velmi levný způsob, možnost rozsáhlých skupin respondentů. Problémem je nízká návratnost a motivace respondentů.

Vzhledem k tomu, že čím motivovanější je respondent, tím je relevantnost výsledků šetření vyšší je ideální pokud můžeme využít doporučení osoby respondentovi známé. Ke zvýšení motivace jsou využívány i různé dárky, slevové akce, možnost účasti v losování či jiné formy odměn za vyplnění dotazníků. Zde si musíme dát pozor na nevhodné respondenty tedy ty, kteří vyplní dotazník bez znalostí dané problematiky jen „aby získali dárek“.⁶⁵

Zpracování a analýza dat

Čím lépe je dotazník sestaven, tím efektivnější je zpracování získaných dat. Plánování a forma vyhodnocování dotazníku by mělo být součástí všech předchozích etap. V této fázi těžíme z kvalitně provedených předchozích fází. Pokud jsme správně definovali problém, cíl a zvolili správné nástroje k jeho dosažení, máme nyní k dispozici relevantní a validní data, která nám umožňují provést jejich závěrečnou analýzu a interpretaci. K analýze nám slouží nástroje kvantitativní analýzy, tedy převážně nástroje statistické matematiky.

⁶⁵ Srov. Dotazníkové šetření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online].

Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dotazníkové_šetření> a

Srov. CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*.

2.2.2 Výhody, nevýhody a rizika dotazníkového šetření

Výhody využití dotazníku

Mezi hlavní výhody dotazníkového šetření zejména patří:

- Jednoduchost.
- Rychlost vyplnění a zpracování – dle výzkumu 80% času spotřebuje přípravná fáze.
- Možnost velkých až velmi velkých vzorků – rychlost a jednoduchost vyhodnocení umožňuje velký počet respondentů.
- Náklady – moderní formy distribuce umožňují výrazně snížit náklady dotazníkového šetření. Nevýhodou moderních forem distribuce může být jista anonymizace a tedy i snížení motivace respondentů/
- Přehlednost.

Nevýhody využití dotazníku

Nevýhody dotazníkového šetření jsou převážně ovlivněny formou zadání dotazníku.

- Nízká motivace respondentů.
- Náklady – je nutné pečlivě volit formu distribuce (viz výše).
- Nízká efektivnost – větší množství dotazníků vede k určité „únavě“ respondentů.

Rizika využití dotazníku

Možná zkreslení při vyplnění i hodnocení otázek jsou například nízká návratnost dotazníků k tazateli. Tento jev je významný zejména při dotaznících distribuovaných moderní formou (email, internetové stránky, sociální sítě). Dotazníkové šetření dále ohrožují špatně zadané údaje ať již záměrně či omylem, neznalostí. V marketingu je též známé riziko, že respondent vyplňuje dotazník spíše podle toho, co považuje za žádoucí či očekávané, místo toho aby uplatnil své názory. Respondenti mají tendenci zastírat své neznalosti, když nevědí, volí náhodnou variantu odpovědi. Vyplnění dotazníku ovlivňuje – může být ovlivněno emočním vztahem, například loajalita (např. k zaměstnavateli), víra v určitou obecně hláсанou pravdu. Velký vliv může mít i aktuální situace či nálada respondenta.

Rizika při vyhodnocování výsledků jsou pak spojena především se statistickou chybou, její dopad je tím menší, čím větší je vzorek respondentů. Dalším rizikem dotazníkového šetření je zkreslení výsledků nevhodně zvolenou skupinou respondentů.⁶⁶

⁶⁶ Srov. CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*.

3 Praktická část

3.1 Výchozí analýza

Abychom mohli nalézt možné oblasti úspor energie, je potřebné si nejprve rozdělit celkovou spotřebu energie do skupin s obdobnými vlastnostmi. Jeden ze způsobů rozdělení energie do skupin s podobnými vlastnostmi je například rozdělení podle způsobu jejího využití. Prvním hrubým dělením může být rozdělení spotřeby na energii spotřebovanou na provoz jednotlivých technologií (transport vody celým technologickým procesem, chlazení, ohřívání), energii spotřebovanou samotným technologickým procesem (UV filtrace) a ostatní spotřebu.

Pokud se na výše uvedené skupiny podíváme detailněji, zjistíme, že z hlediska podílu na celkové spotřebě jednoznačně dominují první dvě, tedy spotřeba na provoz technologií a spotřeba samotných technologií. Nyní se na tyto skupiny podívejme z úhlu možné aplikace opatření zvyšujících efektivitu.

Začneme první skupinou. Transport vody je poměrně technologicky nenáročný proces, efektivita různých variant používaných zařízení (čerpadel) je převážně závislá na efektivitě pohonu – elektromotoru a jeho řízení. Výhodou je i snadná implementace změn. Samotná výměna pohonu čerpadel, či jejich řízení nemá vliv na technologii úpravy či čištění vody. Technologie řízení elektromotorů – frekvenčních měničů navíc v poslední době udělala výrazný pokrok. Obdobný stav je i u ohřevu či chlazení vody během technologického procesu. Opětovně jde o technologicky jednoduché vodárensky nesespecifické procesy, kdy změna způsobu jakým jsou zajišťovány, nemá dopad na samotnou úpravu či čištění vody. Velký vliv na zvyšování úspornosti procesů z této skupiny má také postupné zavádění vizí a idejí v průmyslu známých pod pojmem Průmysl 4.0, pro který se ve vodárenství vžil termín Voda 4.0. Při realizaci projektů dle této vize, jejímž hlavním propagátorem je například firma Siemens, se předpokládá snížení energetické náročnosti využitím efektivní práce s daty a možnosti inovativních řídicích systémů například u pohonů.⁶⁷

U druhé skupiny tedy u energie pro různé technologické procesy se v úvaze o možných úsporách dostáváme do mnohem složitější situace. Jedna z možností připadajících v úvahu by bylo upustit od energeticky náročných procesů. Tato varianta je však v praxi velmi problematická. Technologický proces v úpravě surové vody, či čištění odpadních vod je legislativně definován. Dle kvality vstupu jsou definovány minimální požadované postupy, které nelze v procesu vynechat. Možnou úsporu lze tedy hledat pouze u procesů, které nejsou legislativou požadovány, ale jejich vypuštěním nutně snižujeme kvalitu výsledné vody. U vypouštěných vod se dá očekávat sledováním úrovně dalších znečišťujících látek k dalšímu zpřísnování norem a z toho plynoucí nutnost opětovného nasazení případnou optimalizací „vyřazeného“ procesu.

Tím se dostáváme do skupiny ostatní, kde nalezneme energetické spotřeby přímo nesouvisející se samotnou úpravou, čištěním vody. Ačkoli se jedná, stejně jako u první skupiny,

⁶⁷ Srov. Voda 4.0: Digitalizace řeší budoucnost vodohospodářství. *VodaDnes.cz* [online]

o skupinu, jejíž změny nemají vliv na výsledný produkt, dá se očekávat, že její podíl na celkové spotřebě bude zanedbatelný a možné úspory tedy nebudou mít praktický dopad na celkovou energetickou spotřebu úpravny, či ČOV.

Doteď jsme se zabývali pouze úvahami o přímých úsporách, ale při čištění odpadní vody nám vznikají i „odpadní“ látky (kal, bioplyny – převážně metan), které se dají energeticky využít ať již jednoduše, nahrazení ohřevu zemním plynem jejich spalováním, či efektivnější kogenerací. Můžeme uvažovat i o využití tepelné energie odpadních vod pomocí tepelných čerpadel na vytápění objektů, sušení kalu, či jiných technologických procesů. Změnit chápání ČOV z místa kde se čistí voda na místo čištění vod a recyklace energie.

Jaké výsledky očekáváme? Předpokládám, že pokud budeme sledovat jednotlivé skupiny rozdělené dle kvality zdrojové vody, respektive využitých technologií úpravy, či čištění vody (tedy technologické spotřeby, které je jak jsme si řekli prakticky daná) dá se očekávat u úpravy surové vody i ČOV velký vliv spotřeb energie zajišťujících provoz technologií. Konkrétně u úpravy surové vody technologie transportu zdrojové vody. U ČOV bude kromě transportu významnou položkou energetické spotřeby i technologií požadované udržování teploty čištěné vody a bude zde také velmi významný vliv způsob práce s odpadními produkty.

3.2 Vyhodnocení dotazníkového šetření

Forma dotazníku byla vybrána po konzultacích se vzorkem respondentů jako nejpříjemnější forma poskytnutí požadovaných informací. Současně byl konzultován i samotný rozsah poskytovaných informací vzhledem k obavě z možného zveřejnění údajů, které jsou vedením některých provozovatelů chápány jako „citlivé“. Dotazník je proto před začátkem vyhodnocování plně anonymizován a ani se v něm nezískávají informace finančního, obchodně právního charakteru.

Rozesílaný dotazník se skládá ze čtyř sekcí a přílohy

- Sekce A slouží k identifikaci respondenta v průběhu vyhodnocení, respektive umožňuje kontrolu případných duplicit provozovatelů, či jejich organizačních jednotek (samotné odpovědi jsou v rámci práce samozřejmě anonymizovány).
- V sekci B je respondent dotazován na celkové informace o provozovně
- Sekce C a D pak obsahují specifické otázky k provozované formě produkce (úpravna vody, ČOV).

Přílohou dotazníku je tabulka s legislativně stanoveným rozdělením surové vody dle znečištění na vstupu a minimálními požadovanými typy jejich úprav na vodu pitnou.

Část respondentů byl pomocí elektronické pošty zaslán dotazník s průvodním dopisem na uvedenou kontaktní adresu, u menší části se podařilo získat spojení na přímo na kontaktní osobu z provozu provozovatele vodovodní sítě. Tyto osoby pak byly osloveny přímo osobním

emilem respektive telefonicky, touto cestou se povedlo získat většinu zde prezentovaných dat.

Celkově se podařilo získat údaje od 30 respondentů, kteří poskytli data za 174 úpraven vod a 193 čistíren odpadních vod.

3.2.1 Úpravny pitné vody

Během dotazníkového šetření byla získána data o 174 úpravách, ve vzorku výrazně převažovaly (156, tedy téměř 90 %) úpravny s produkcí kapacitou 1 – 5 milionu m³ pitné vody. Podíl větších úpraven byl 4,6 % a menších pak 5,6 %. 62% úpraven pak získávalo surovou vodu přečerpáváním z povrchových zdrojů, 32% úpraven pak využívalo k získání surové vody vrt.

Spotřeba energie na dopravu surové vody

Spotřeba energie na dopravu surové vody je přímo závislá na způsobu její dopravy. Ukázalo se, že relativní velikost spotřeby se u jednotlivých variant výrazně liší (viz Tabulka 8).

Tabulka 4: Poměrná spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje ⁶⁸

Doprava surové vody	Počet	Spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje [% z celku]			
		Avg	STD	Min	Max
Čerpání z vrtu	56	79,14	6,83	57	90
Samospád	10	7,5	2,5	5	10
Přečerpávání	108	58,63	5,1	40	70

Tento poměr je zvýrazněn i tím, že způsoby transportu surové jsou typické pro určité zdroje vody (povrchová, podzemní). Energeticky náročné čerpání podzemní je tak kompenzováno vyšší kvalitou surové vody. Tím se ještě zvýší výsledný poměr. Pro porovnání jsem ještě tuto spotřebu spočítal pomocí celkové spotřeby elektrické energie na 1 m³ pitné vody⁶⁹ (viz Tabulka 9).

Tabulka 5: Spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje ⁷⁰

Doprava surové vody	Počet	Spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje [kWh/ m ³]			
		Avg	STD	Min	Max
Čerpání z vrtu	56	1,156	0,14	0,74	1,44
Samospád	10	0,046	0,02	0,08	0,1
Přečerpávání	108	0,963	5,1	0,6	1,17

Průměrná přímá spotřeba vody na produkci 1 m³ je v získaném vzorku 1,53 kWh. Tyto

⁶⁸ Zdroj: vlastní

⁶⁹ Ani tato metoda není naprosto přesná, tím že za základ bere množství (m³) pitné vody, není schopna postihnout rozdíly ve vnitřní spotřebě vody při použití různých technologií úpravy surové vody na vodu pitnou.

⁷⁰ Zdroj: vlastní

hodnoty ukazují, že čerpání spotřebovává v procesu úpravy pitné vody značnou část energie. Samotná potřeba čerpání je z velké části dána, ale to neznamená, že zde není potenciál úspor. Spotřebu elektrické energie lze snížit zvýšením efektivity procesu čerpání.

Spotřeba energie na technologii úpravy surové vody na vodu pitnou

Během zpracování dat se ukázalo, že k rozdělení spotřeb nestačí rozdělení dle vykazovaného typu surové vody. Ukázalo se, že vykazovaný typ surové vody je jen jedním z parametrů pro navržení použitých technologií. V následující tabulce je proto toto rozdělení upraveno dle skutečně provozovaných technologií, kdy o 12 úpraven ačkoli deklarují typ A1 svou technologií odpovídá požadavkům kladeným na typ A2. Obdobně je 7 úpraven zařazeno místo do deklarovaného typu surové vody A2 do více odpovídající A3.

Tabulka 6: Spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje ⁷¹

Technologie odpovídající jakosti surové vody ⁷²	Počet	Spotřeba energie na úpravu surové vody na vodu pitnou [kWh/m ³]			
		Avg	STD	Min	Max
A1	54	0,348	0,17	0,13	0,78
A2	77	0,62	0,15	0,32	1,26
A3	42	0,727	0,93	0,60	1,10

Jiná spotřeba elektrické energie

Ostatní, režijní, spotřebu elektrické energie, tedy rozdíl mezi elektrickou energií potřebnou k produkci 1 m³ a přímou energií spotřebovanou přímo na samotnou produkci, šlo získat porovnáním dvou hodnot z dotazníku („Spotřeba elektrické energie na výrobu 1 m³ pitné vody (kWh):“ a „Přímá spotřeba elektrické energie na výrobu 1 m³ pitné vody (kWh)“). Výsledná hodnota je mezi 10 – 15% kde lze vysledovat určitý vliv velikosti úpravy (čím větší je úprava, tím menší je relativní spotřeba ostatní elektrické energie).

Vlastní zdroj energie

Úpravy zastoupené ve výzkumu nemají vlastní energetický zdroj. Pokrytí spotřeby z vlastních zdrojů je tedy 0%.

⁷¹ Zdroj: vlastní

⁷² Část úpraven využívá pro úpravu surové vody technologie předepsané pro jinou (nižší) jakost surové vody než je deklarována. V tabulce jsou tedy úpravy rozděleny dle skutečné úrovně použité technologie.

3.2.2 Čistírny odpadních vod

Dotazníkovým šetřením se podařilo získat data k 193 čistírnám odpadních vod. Většina z nich (153 to je 79,2 %) spadala do kategorie 10 001- 50 000 EO.

Původ znečištěné vody

Získaná data pocházela z čistíren odpadních vod zpracovávajících převážně (55 – 80%) vody z domácností. Ve vzorku se nenacházela ČOV s převahou odpadních vod z průmyslu či zemědělství, podíl odpadních vod ze zemědělství nepřesáhl na žádné z ČOV 7%. Vliv původu znečištěné vody byl tedy u tohoto zanedbatelný.

Spotřeba elektrické energie na čištění vody

Tabulka 7: Spotřeba energie na dopravu čištění odpadní vody ⁷³

Počet připojených EO	Počet	Spotřeba energie na čištění odpadní vody [kWh/m ³]			
		Avg	STD	Min	Max
< 10 000	7	0,44	0,17	0,1	0,6
10 001 – 50 000	153	0,69	0,01	0,4	1,0
50 001-100 000	27	0,71	0,11	0,5	0,9
>100 000	6	0,63	0,04	0,6	0,7

Z tabulky je patrné velké zvýšení spotřeby elektrické energie mezi kategorií pod 10 000 EO a nad 10 000.

Jiná spotřeba elektrické energie

Dotazníkové šetření ukázalo, že se ostatní spotřeba elektrické energie u čistíren odpadních vod v získaném vzorku pohybovala mezi 5 – 8%. Ačkoli zde existuje určitý vliv velikosti čistírny na tuto spotřebu, je výsledný rozdíl 3% poměrně nízký. Není proto nutné nějak tuto skupinu dále dělit.

Zabezpečení tepelné potřeby ČOV

Žádná z čistíren odpadních vod nebyla napojena na centrální zdroj tepla ani svou spotřebu nezajišťovala pomocí elektrické energie. Tepelná spotřeba je zajišťována vlastními kotelny na zemní plyn, případně s dodatečným spalováním bioplynu (více viz Vlastní zdroje energie)

Vlastní zdroj energie

Ze 193 čistíren odpadních vod jich vlastním zdrojem energie bylo vybaveno 152. Jednalo se výhradně o ČOV s počtem EO větším než 30000. Z tohoto počtu 138 využívalo vzniklý bioplyn spalováním k získání tepelné energie, 14 jich pak disponovalo technologií kogenerace k současné výrobě tepelné a elektrické energie. V případě jen tepelného využití pokrýval

⁷³ Zdroj: vlastní

vzniklý bioplyn v průměru 9,6% spotřeby energie, u kogenerace se tento poměr zvýšil v průměru na 40% (čtyři z nich pak tímto způsobem pokrývaly více než 60%).

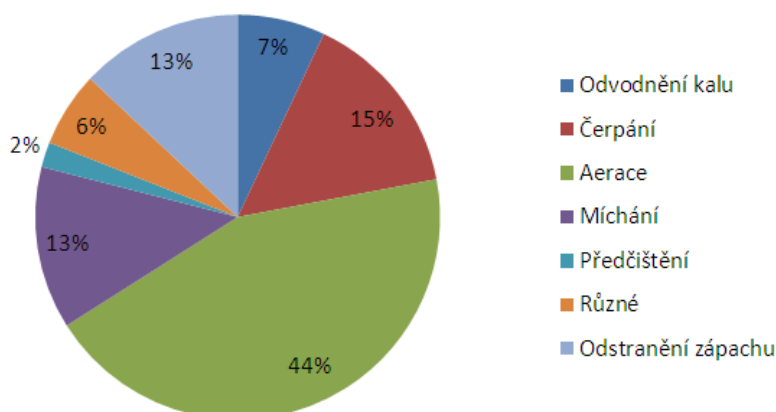
3.3 Zpracování získaných informací

Vzhledem k tomu, že většina oblastí s potenciálem úspory energie jsou u úpraven a čistíren odpadních vod totožné, či alespoň velmi podobné, popisují je v této kapitole společně a rozdíly uvádím jen tam, kde k nim dochází. Většinou zde popíši stav u ČOV a na konci pak zmíním, pokud to bude validní, specifika pro oblast úpraven vod.

U ČOV je paradoxem, že přestože odpadní voda obsahuje organické látky, anorganické látky, tepelnou a kinetickou energii, jejíž množství je zhruba 9x vyšší než je potřeba na její čištění, je počet energeticky soběstačných čistíren odpadních vod nízký a je potřeba energii ČOV dodávat.⁷⁴

Jedním z dobrých příkladů hospodaření s energií je dále v textu popsána ČOV Plzeň ze skupiny Veolia a.s.

Abychom mohli zhodnotit potenciál úspor jednotlivých částí procesu, je nejprve nutné se podívat na podíl spotřeby jednotlivých procesů. V literatuře lze najít pro čistírny odpadních vod následující rozložení spotřeb uvedené na obrázku 5.



Obrázek 4: Spotřeba energie na městské ČOV⁷⁵

Aerace

Z výše uvedeného obrázku je patrný velký podíl aerace na spotřebě elektrické energie na ČOV. Dmychadla potřebná k provzdušňování v aktivačních nádržích spotřebují okolo 44%⁷⁶ elektrické energie. Významných úspor lze dosáhnout výměnou aeračního systému, další možností je instalace senzorů a sond monitorující aktuální stav, které umožní automatické řízení dodávky vzduchu. Úspora elektrické energie lze dosáhnout i instalací dmychadel

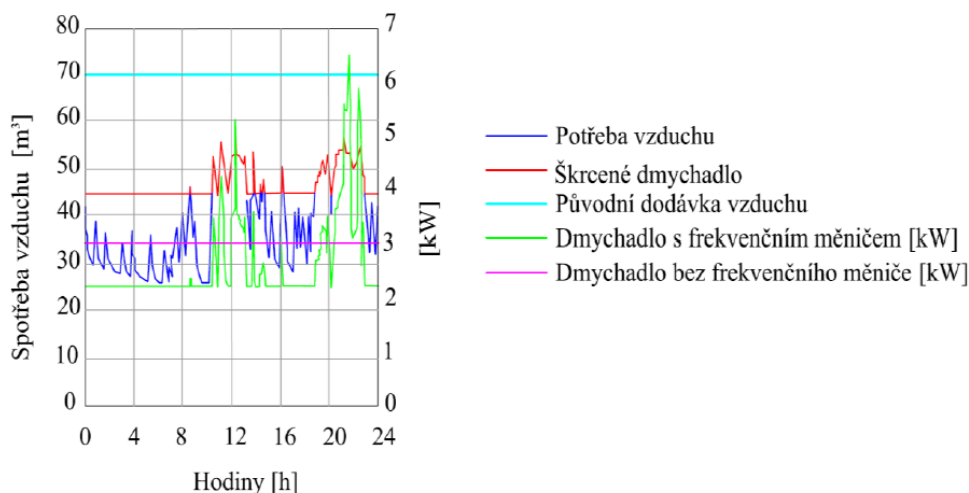
⁷⁴ ŠKORVAŇ O., HOLBA M., BARTONÍK A., PLOTĚNÝ K. Koncepte energetických úspor, využívání energie a udržitelného rozvoje. *ASIO čištění a úprava vod* [online].

⁷⁵ ŠKORVAŇ O., HOLBA M., BARTONÍK A., PLOTĚNÝ K. Koncepte energetických úspor, využívání energie a udržitelného rozvoje. *ASIO čištění a úprava vod* [online].

⁷⁶ ŠKORVAŇ O., HOLBA M., BARTONÍK A., PLOTĚNÝ K. Koncepte energetických úspor, využívání energie a udržitelného rozvoje. *ASIO čištění a úprava vod* [online].

s frekvenčními měniči. U většiny zásahu je ale předem potřebné zvážit jejich dopad na technologii čištění, aby jejich aplikací nedošlo ke zhoršení kvality vody na odtoku z čistírny.

Výše napsané samozřejmě platí i pro úpravný vod, na kterých je nasazena aerobní technologie.



Obrázek 5: Řízení dmychadel dle reálné potřeby vzduchu⁷⁷

Graf ilustruje rozdíl mezi dodávkou kyslíku bez řízení kyslíkovou sondou a řízenou dodávkou. Potřeba vzduchu se mění v závislosti na přítoku. Původní instalace zbytečně dodává nadbytečný vzduch. Na obrázku je zobrazeno nahrazení dmychadla variantou s frekvenčním měničem.

Úspory čerpání

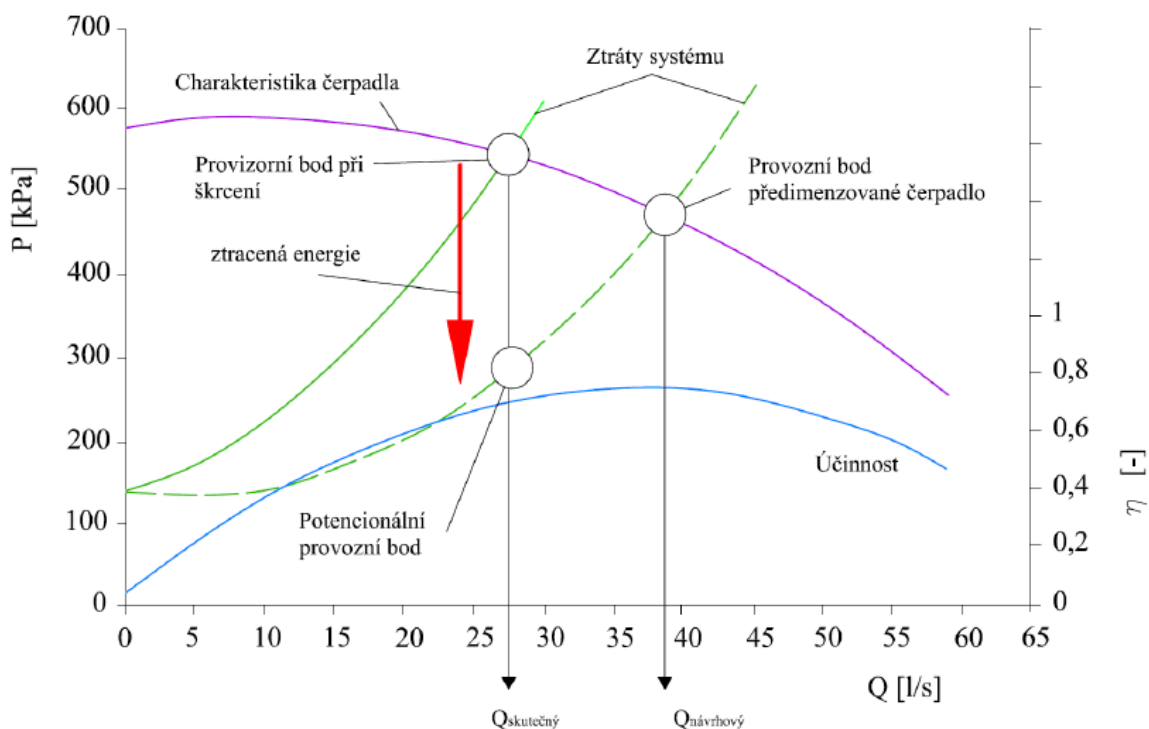
Na výše uvedeném grafu je vidět, že čerpání spotřebovává na čistírnách odpadních vod 15% ⁷⁸(tato hodnota je velmi závislá na geografických podmínkách ČOV) energie a současně je zde i velký potenciál úspor. Navíc optimalizace čerpadel nezasahuje obvykle do technologie čištění.

V provozu ČOV se vyskytují různé druhy čerpání:

- vratného kalu z dosazovacích nádrží,
- přebytečného kalu z dosazovacích nádrží,
- primárního kalu z usazovacích nádrží,
- písku z pískových jímek a z lapáků šterku či písku,
- kalových vod z gravitačního zahuštění přebytečného kalu,
- interní recirkulace v R-D-N nebo D-N systému ČOV.

⁷⁷ BARTONÍK A., HOLBA M. Možné úspory energie na stávajících ČOV. ASIO čištění a úprava vod [online]

⁷⁸ Srov. tamtéž



Obrázek 6: Dopad naddimenzování čerpadla na spotřebu energie⁷⁹

Na obrázku 6 vidíme ztrátu energie při nesprávně navržené velikosti čerpadla. K tomuto jevu může dojít z několika příčin. Nesprávná, vyšší, velikost čerpadla může být obsažena již v projektu, kdy se projektant při návrhu jistí příliš velkými koeficienty „bezpečnosti“. Další variantou je potom pokles množství vody způsobený vnějšími efekty, jako je například pokles spotřeby vody.

U čerpadel, ale nejen u nich se také setkáváme s další neprozíravostí, způsobenou neúplnou kalkulací. Často se lze setkat se situací, kdy firma tlačí projektanty k co nejnižší investici, ale zapomíná na to, že do celkové kalkulace musí započítat i spotřebu energie za dobu životnosti. Tato položka pak může naprosto zvrátit výhodnost počáteční investice.

Celkové náklady můžeme vyjádřit tímto vzorcem.

$$CN = CIN + CEN + CU + ON$$

Kde jsou

- CN – celkové náklady
- CIN – cena investičních nákladů
- CEN – cena energie
- CU – cena údržby
- ON – ostatní náklady

Při každé náhradě stávajících čerpadel (například z důvodu dosažení věku životnosti) je tedy potřeba zpracovat pokud možno přesný obraz jejich provozu. K tomu je výhodné, pokud je na ČOV nasazen moderní řídicí systém, který umožňuje kontinuální monitoring provozu

⁷⁹ BARTONÍK A., HOLBA M. Možné úspory energie na stávajících ČOV. ASIO čištění a úprava vod [online]

jednotlivých technologických celků. Tak lze jednoduše zjistit, kde se vyplatí nasadit nová čerpadla například s frekvenčními měniči a kde bude výhodnější čerpadlo klasického provedení.

V úpravnách vod může docházet k neefektivnosti provozu čerpadel, kromě výše zmíněných důvodů i kvůli nerovnoměrnosti spotřeby pitné vody. Její velikost je dána velikostí zásobní nádrže na pitnou vodu, která dokáže velikost těchto špiček snížit. Přesto zde může, zvláště na menších úpravnách, docházet k jevu kdy čerpadla velkou část dne pracují mimo své optimum a zde se objevuje prostor k jejich nahrazení modernějšími variantami.

Míchání

Pokud ČOV používá klasická míchadla, lze jejich nahrazením hyperbolickými či pulzními míchadly dosáhnout nižší spotřeby oproti stávajícímu stavu.⁸⁰

Elektrické spotřebiče

Pokud se jedná o další elektrické spotřebiče v úpravnách či čistírnách vod, nedá se sice očekávat v porovnání s možnostmi úspor u technologií nějaké výrazné úspory, přesto pokud se již snažíme optimalizovat provoz ČOV či úpravny, je dobré nechat si na ČOV či úpravně vod provést energetický audit, který nalezne ty neefektivní.

Biologické procesy

Kromě úspor energie u největších spotřebičů je pro získání dalších úspor při zpracování vody zanalyzovat i použité biologické procesy. Z pohledu možných úspor se jeví slibné některé inovativní technologie. Zde si uvedeme příklady těch neslibnějších.

ANAMMOX® - proces deamonifikace prostřednictvím anaerobní oxidace amoniaku. Využívá se tzv. zkrácený cyklus dusíku založený na částečné oxidaci části amoniakálního dusíku a následné biochemické reakci vzniklých dusitanů se zbytkem amoniaku. Jeho výhodou je oproti klasickému biologickému odstraňování dusíku prostřednictvím nitrifikace a denitrifikace jeho zhruba 25 % spotřeba kyslíku a nezávislost účinnosti procesu na přítomnosti organického uhlíku. Současně má schopnost zpracovávat vysoké koncentrace dusíku. Tyto vlastnosti umožňují aplikovat anaerobní technologii i tam, kde to bylo dříve vzhledem k poměru organického znečištění a nutrientů nemožné nebo nevýhodné.⁸¹ Na druhou stranu není univerzálně nasaditelný, protože vyžaduje jak specifické složení biomasy, tak i specifické provozní podmínky.⁸²

Odlišností a výhodou procesu SHARON®, je že na rozdíl od konvenčních biologických procesů je u něj růst a vyplavování kalu v rovnováze. Mezi další vlastnosti patří zvýšená teplota průběhu (30 – 35 °C) a krátké doba zdržení (1 – 2 dny). Zvýšená teplota způsobí, že růstová rychlost nitrifikačních bakterií bude vyšší než nitratačních, které jsou ze systému vyplavovány. Mikroorganismy přeměňují nitrifikací amoniak na dusitany, které se následně

⁸⁰ ČÍŽOVÁ, Barbora. *Energetická náročnost čistíren odpadních vod*.

⁸¹ ŠKORVAŇ O., HOLBA M., BARTONÍK A., PLOTĚNÝ K. *Koncepce energetických úspor, využívání energie a udržitelného rozvoje. ASIO čištění a úprava vod* [online].

⁸² Srov. tamtéž

denitrifikací mění na plynný dusík. Krátkou dobou zdržení, vyplavováním nitratačních mikroorganismů, se zabráňuje oxidaci dusitanů na dusičnany. Proces ke své činnosti spotřebuje o 25 % méně kyslíku pro nitrifikaci. Také CHSK je o 40 % nižší ve srovnání s běžným procesem nitrifikace a denitrifikace.⁸³

U druhého či třetího stupně čištění odpadních vod lze využít proces Biostyr®. Tato technologie umožňuje celkové odbourávání dusíku v jednom stupni. Proces je založen na principech kombinace biologického filtru a fixované biomasy v biofilmu. Vlastnosti typické pro filtry zamezují nutnosti instalace separačního stupně a fixovaná biomasa umožňuje relativně vysoké objemové zatížení. Na filtr může voda natékat jak v režimu gravitačním, tak i tlakovém. Vhodným uspořádáním tak nevznikají dodatečné provozní náklady generované čerpáním vody.⁸⁴

Z dalších zajímavých technologií mohou ještě zmínit příklady procesů navržených skupinou VeoliaWater jako jsou anaerobní technologie Biothane® UASB a Biobed® EGSB optimalizované pro produkci bioplynu či kompaktní ANITA™ Moxproces, který má o 60% nižší spotřebu energie v porovnání s tradičním procesem nitrifikace.⁸⁵

Získávání tepla z odpadních vod

Teplu z odpadní vody lze získat v rámci ČOV buď na vstupu či na výstupu. Pro praktické využití je využitelná jen již vyčištěná odpadní voda na výstupu, u vody na vstupu dochází jak ke kolísání teploty tak i jejího množství, navíc snížení teploty vstupní odpadní vody může narušit samotný proces čištění. Baktérie odpovědné za biologické odstraňování nutrientů (zejména dusíku) jsou extrémně citlivé na teplotu. Při nižší teplotě se jejich aktivita zpomaluje a tím bezprostředně ohrožuje účinnost čištění odpadních vod. Oproti tomu snížením teploty odpadní vody není dotčena účinnost čištění odpadních vod a přítok vyčištěné vody je téměř konstantní. Ačkoli teplota kolísá, málokdy klesne pod 8 °C. Relativní stálost teploty se dá využít pro získání nízkopotenciálního tepla. Tepelného čerpadlo pak dokáže zvýšit teplotu na hodnotu až 70°C. Navíc snížení teploty vyčištěné vody před jejím vypuštěním do recipientu má i pozitivní ekologický vliv, nedochází k ohřívání a tedy změně životních podmínek v recipientu. Na druhou stranu musíme hlídat i opačný extrém, tedy aby čerpáním tepla z vyčištěné vody u ní nedocházelo k tak výraznému ochlazení, že by docházelo k ochlazení recipientu a tedy ovlivnění jeho ekosystému. Získané teplo lze použít pro účely samotné ČOV, využít ho pro technologie čištění (např. vyhřívání vyhnívacích kádí, vysoušení kalu), výrobu TUV, či zajištění otopu v budovách ČOV. V současnosti se plánuje pilotní projekt a nasazení tepelných čerpadel u ČOV ve správě PVK a.s.

⁸³ ŠKORVAŇ O., HOLBA M., BARTONÍK A., PLOTĚNÝ K. Koncepce energetických úspor, využívání energie a udržitelného rozvoje. *ASIO čištění a úprava vod* [online].

⁸⁴ *Water2Energy* [online].

⁸⁵ *Water2Energy* [online].

Získávání energie z biomasy

V dnešní době je stále ještě přebytečný kal z čistíren odpadních vod často považován za odpad, ačkoli jeho energetický potenciál z něj dělá velice slibný zdroj energie. Podmínkou výroby elektrické energie je využití kalu z anaerobního zpracování a jeho dostatečné množství. To umožňuje výrobu bioplynu, který lze využít v kogeneračních jednotkách. Prakticky tedy lze o výrobě elektrické energie uvažovat u ČOV od 30000 EO. Vzhledem k zákonu o odpadech, který městům a obcím nařizuje nakládat s BRO ve smyslu energetického využití lze u menších ČOV malé množství vniklého anaerobního kalu doplnit společným zpracováním tohoto odpadu. Pro maximalizaci vyrobeného množství energie je dobré co nejvíce snížit podíl aerobních procesů. Většina energie obsažené v odpadních vodách je vázána na její biologickou složku. Oxidační procesy odbourávají biologickou složku odpadních vod a tím snižují u čistíren odpadních vod její energetický potenciál o více než 40%.⁸⁶ Vzhledem k energetické náročnosti aerace, používané při oxidačních procesech, se tedy dá říci, že jejich náhrada je prospěšná jak z hlediska úspor, tak i výroby energie.

Na druhou stranu anaerobní procesy potřebují k správné činnosti vyšší teplotu. Zahřívání velkého objemu vody by bylo energeticky velmi náročné, proto je úplná náhrada oxidačních procesů možná jen u specifických typů odpadních vod s vyšší koncentrací sušiny, typicky z průmyslových zdrojů. U splaškových vod je nutné je nejprve „zahustit“, proto zůstávají oxidační procesy základní technologií čistíren odpadních vod.

Získávání energie z potenciální energie vody

Potenciální energii vznikající gravitační silou padající či proudící odpadní vody je možné využít pro výrobu elektrické energie pomocí turbín – malých vodních elektráren. V tomto procesu postavíme na výstup ČOV malou vodní elektrárnu a tím využíváme spád odpadních vod na výstupu z čistírny odpadních vod. Množství odpadní vody a její spád pak ovlivňuje množství vyrobené elektrické energie. Přestože má tento způsob výroby elektrické energie samá pozitiva, je velice spolehlivý a ekologický (má nulovou produkci dnes tak sledovaných skleníkových plynů), je jeho aplikace velice omezená některými faktory. Potřebný průtok vyčištěné odpadní vody do recipientu je pouze na velkých čistírnách odpadních vod. Minimální potřebná velikost je řádově ve stovkách tisíc ekvivalentních obyvatel. Druhou a současně složitější splnitelnou podmínkou je existence dostatečného rozdílu nadmořských výšek mezi místem vzniku vyčištěné odpadní vody a recipientem. V České republice proto najdeme jen minimum čistíren, kde by prakticky šlo využít potenciální energie padající odpadní vody. Reálné uplatnění malých vodních elektráren u ČOV je tedy poměrně vzácné, praktické uplatnění této technologie však nachází v zahraničí, a uvádím ho zde hlavně pro úplnost možných řešení. Na přiložené tabulce můžete vidět příklady nasazení ze světa u společnosti Veolia

⁸⁶ Jeníček P., Kutil J., Beneš O., Todt V., Zabranská J., Dohanyos M. *Energy self-sufficient sewage wastewater treatment plants: is optimized anaerobic sludge digestion the key?* Water Science & Technology 2013,68. str. 1740

Tabulka 8: Příklady výroby elektrické energie u vybraných čistíren odpadních vod firmy Veolia

ČOV	Výkon turbíny [kW]	Výroba elektřiny [MWh/rok]
Brusel (Belgie)	640	2100
Madrid (Španělsko)	180	1500
Bukurešť (Rumunsko)	426	3150

Pro umístění turbín malých vodních elektráren lze využít i vodovodní sítě. Turbíny je možné nainstalovat na místa s konstantním průtokem vody, kde je zároveň nutné, případně přípustné, snížení tlaku ve vodovodní síti. Při této variantě instalace turbíny je potřebný její pečlivý monitoring a přesná regulace v závislosti na průtoku a tlaku v síti. To ovlivňuje dobu jejího běhu, kdy je tento systém provozován buď v nepřetržitém, či jen časově vymezeném režimu.

Tabulka 9: Příklady výroby elektrické energie ve vodovodní síti

Úpravna vod	Výkon turbíny [kW]	Výroba elektřiny [MWh/rok]
Nice / Cap de Croix (Francie)	180	1200
Nice / Rimies (Francie)	206	1500
Fridrichshöhe (Německo)	200	800-1400
Bürgerpark (Německo)	105	88-100
Hradiště (Česká republika)	2400 800	8200

Energetické využití stabilizovaných kalů

Energii lze získat i při likvidaci některých stabilizovaných kalů. Stabilizované kaly se dají zpracovat několika způsoby (viz kapitola 1.5.1) z nich mají pozitivní energetickou bilanci procesy tak zvaného mokrého spalování a pyrolýzy. Na energetickou bilanci mají hlavní vliv tyto faktory: množství biologické složky a procento sušiny.⁸⁷ Úkolem čistíren odpadních vod tedy může být úprava kalů pro tento způsob nakládání. V České republice není tato technologie v průmyslovém nasazení.

Vzhledem k prakticky neexistující biologické složce u vodárenského kalu není pozitivní energetické bilance při jejich likvidaci reálná.

Benchmarking

Benchmarking, tedy porovnávání energetické náročnosti jednotlivých provozů mezi sebou nám na první pohled nepřináší žádný měřitelný efekt vyjádřený například úsporou energie, pouze nám zvyšuje administrativní zátěž, ale to je mylný pohled. Pokud spravujeme dostatečné množství objektů, může nám naopak přinést mnoho zajímavých dat. Porovnání spotřeby provozu s „průměrem“ společnosti lze snadno vytipovat provozy vybočující výrazně svou spotřebou z průměru daného fyzickými podmínkami a u nich pak lze provést detailnější průzkum. Bohužel neexistuje oborový benchmarking, je na každém provozovateli zda a jak si

⁸⁷ Srov. DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online].

ho zavede. Získaná data jsou navíc považována za velmi citlivá (tento postoj je pochopitelný, dobře zvládnutý benchmarking umožňuje jednodušší a bezpečnější způsob stanovení cen ve výběrových řízeních, je zde tedy velmi dobrý důvod pro jeho skrytí před konkurencí), pokud již firma nějaké údaje zveřejní, jedná se často o podezřelé, asi spíše propagační, hodnoty (jako nadsazenou bych viděl např. hodnotu průměrné úspory energie u ČOV ve výši 50% dosažené v SRN⁸⁸). Tato neochota se nakonec ukázala i na zde prezentovaném dotazníkovém průzkumu. Na druhou stranu lze, vzhledem k údajům požadovaných ze zákona po provozovatelích vodovodů a kanalizací, očekávat, že takový benchmarking již existuje a jeho zveřejnění, například ministerstvem zemědělství, je jen otázkou času.

Pokud sečteme veškeré možnosti úspor, dostaneme se k tomu, že potenciál velikosti úspor na jednotlivých čistírnách je závislý na jejich velikosti. Menší ČOV, (do 20 000 EO), bez anaerobního zpracování kalu, mohou svou spotřebu energie snížit pomocí výsledků kvalitně zpracovaného energetického auditu jednotlivých spotřebičů, optimalizací procesů provzdušňování a čerpání, případně odvodnění kalu. Takto velké ČOV mají potenciál úspor cca 20 %. Větší ČOV nad 20 000 EO, umožňují již využití bioplynu po anaerobním zpracování kalu. Tím roste potenciál úspor a to až k 30 % stávajících nákladů.

Optimalizace smlouvy s dodavatelem elektrické energie

Smlouvy s dodavatelem elektrické energie v případě velkých odběratelů zahrnují množství paušálních plateb, například za rezervovanou kapacitu, velikost čtvrt hodinových maxim apod. To vede k situaci, kdy paušální platby tvoří i více než 50 % z celkové fakturované ceny dodavatelem elektřiny. V takovém případě může i pouhá optimalizace zapínání technologií vést k poměrně vysokým finančním úsporám. Pokud se povede například zkoordinovat provoz energeticky náročných procesů jako je aerace, či proplach filtrů, a tím dosáhnout snížení hodnoty požadovaného čtvrt hodinového maxima, můžeme dosáhnout poměrně výrazným finančním úsporám za paušální platby. Odvrácenou stranou tohoto jevu je však to, že finanční efekt úspor elektrické energie, které se projevují jen v pohyblivé složce je nižší, což snižuje motivaci pro jejich nasazení.

Příklady úspor

Výrazným příkladem optimalizace čistírny odpadních vod je ČOV v Plzni. Nejprve některá data. ČOV Plzeň, o velikosti 424 000 ekvivalentních obyvatel, provozuje na základě nájemní smlouvy Vodárna Plzeň, patřící do skupiny Veolia Voda. Její spádovou oblastí je město Plzeň se 170 tisíci obyvateli. Roční maximum přitékajících odpadních vod je stanoveno na 24 milionů kubických metrů, aktuálně sem přitéká přibližně 19 milionů s klesajícím trendem. Ten je způsoben jednak snížením objemu průmyslových odpadních vod, vypouštěných do veřejné kanalizace, dále se změnami v množství a intenzitě dešťových srážek, a zároveň je to i důsledkem dlouhodobě klesající spotřeby pitné vody. Čistírna byla uvedena do provozu v roce 1996 a v letech 2010-2012 na ní proběhla intenzifikace. Tato čistírna je klasickou mechanicko-biologickou čistírnou s anaerobní stabilizací kalu. Jistým specifíkem je kofermentace

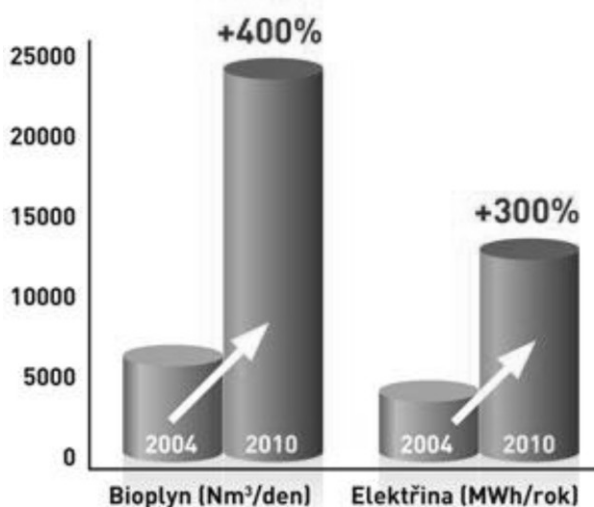
⁸⁸ Srov. ČÍŽOVÁ, Barbora. *Energetická náročnost čistíren odpadních vod*. Brno 2013

kalu a organických odpadů z pivovaru a využití bioplynu k výrobě elektřiny a tepla.

Čistírna odpadních vod v Plzni již od počátku vyráběla kogenerací elektrickou energii a dosahovala cca 60 % energetické soběstačnosti. V roce 2004 se u ČOV provedla optimalizace vyhívání kalu, kdy v současnosti pracuje plzeňská čistírna na principu dvoustupňového termofilního vyhívání. To znamená, že při optimalizaci bylo nutné zvýšit teplotu. Po této úpravě dosáhla celková energetická soběstačnost 67 %. Dalšího nárůstu na 80% dosáhla ČOV optimalizací aerace, kdy byla provedena obměna aeračních elementů. Optimalizací řídicího procesu dosáhla ČOV energetické soběstačnosti na úrovni 97,2 %. Optimalizace ČOV byla součástí programu Veolia Water2Energy, které se podílela i na projektech ČOV Budapešť – Jih, či Braunschweig.⁸⁹

Kofermentací kalu s organickým odpadem se podařilo zvýšit produkci bioplynu na ČOV Budapešť - Jih. Po modernizaci, kdy došlo mimo jiné k nasazení technologie ECRUSOR®, provedené v průběhu roku 2007 klesla spotřeba elektrické energie ČOV o 20 % a zvýšilo se i množství bioplynu využívaného k výrobě elektřiny. Předpokládá se, že energetická soběstačnost této čistírny odpadních vod dosáhne ve spotřebě elektrické energie 100 %.⁹⁰

ECRUSOR® je patentem (Veolia) chráněné zařízení na drcení a třídění biologicky rozložitelného odpadu. Výhodou tohoto zařízení je, že separovat organický odpad (kuchyňský odpad, prošlé jogurty, smetanu a další mléčné výrobky, prošlé potraviny, nápoje atd.) od jeho obalu. Dokáže zpracovat a homogenně smísit tekutý i pevný průmyslový potravinový odpad a připravit jej tak pro produkci bioplynu ve fermentačním reaktoru.⁹¹



Obrázek 7: Nárůst produkce bioplynu na ČOV Budapešť – Jih⁹²

Na obrázku číslo 6, je znázorněn nárůst produkce bioplynu a elektrické energie z bioplynu u čistírny odpadních vod Budapešť – Jih.

⁸⁹ Water2Energy v praxi: ČOV Plzeň letos téměř v plné energetické soběstačnosti. *O vodarenství.cz* [online].

⁹⁰ Srov. *Water2Energy* [online]. [cit. 2018-02-27].

⁹¹ Srov. tamtéž

⁹² *Water2Energy* [online]. [obrázek].

3.4 Zhodnocení a doporučení

Tato práce ukázala několik oblastí se zajímavým potenciálem úspor. Potvrdil se již v kapitole 3.1 Výchozí hypotéza předpokládaný potenciál úspor v technologiích transportu základní suroviny, vody, tedy v možných úsporách elektrické energie řízením a případnou modernizací čerpadel a to jak u úpraven, tak i u čistíren vod. Tyto úpravy jsou navíc poměrně snadné na zavedení, protože jejich vliv na samotný proces je minimální.

Poměrně zajímavým efektem nasazení řízení procesů, např. technologie Voda 4.0 je i možnost další finanční úspory díky možnému snížení paušálních plateb u dodavatele elektrické energie. Což zlepšuje finanční návratnost opatření.

Zpracováním získaných dat se podařilo objevit další energeticky náročnou oblast vodárenství, a sice proces aerace. Podíl procesu aerace na celkové spotřebě energie přesahuje, zvláště v oblasti čištění odpadních vod, 40% (samozřejmě po odečtení spotřeby provozu samotné kanalizační sítě – přečerpávacích stanic). K úspoře energie je možné postupovat dvěma cestami, prostým nahrazením současných pohonů jejich modernější variantou, ale existuje tu i možnost optimalizace samotného procesu ať již změnou způsobu aerace či jeho přesným řízením. Zde je, ale nutná opatrnost při sledování a vyhodnocení případných dopadů na tuto či další navázané procesy. Trochu jiným úhlem pohledu je pak u čistíren odpadních vod využití energie obsažené v samotných odpadních vodách ať již tepelné tak energie získané zpracováním odpadů (kalů, bioplynu) vzniklých při samotném čištění. Zde lze získat i podporu z ekologických programů Evropské unie a České republiky což zlepší ekonomickou návratnost investic do potřebných technologií.

3.4.1 Úpravny pitné vody

U úpraven vod nalézáme několik oblastí potenciálních úprav. Snižování spotřeby pitné vody v České republice a případná nerovnoměrnost odběru vede často k tomu, že čerpadla pracují mimo oblast svého optima. To vede k ne hospodárnosti jejich provozu. V takovém případě lze dosáhnout úspory záměnou pohonů čerpadel za pohony s frekvenčním měničem. Tato výměna je bez dopadu na technologii a lze jí provést i v rámci pravidelné výměny čerpadel po skončení jejich životnosti.

Další oblastí jsou případné aerobní procesy, zde lze úspor dosáhnout jednat optimalizací aeračního procesu využitím vhodných technologií aerace, či optimalizace množství kyslíku za využití řízení procesu výpočetní technikou. Druhou variantou je zvýšení podílu anaerobních procesů.

Co se týče zpracování kalů, vzhledem k jejich složení, převažuje anorganická část, respektive biologická složka není (podzemní vody) či je zanedbatelná (povrchové zdroje surové vody), odpadá možnost jejich výrazného energetického využití. Na druhou stranu jejich složení (obsah železa) z nich dělá vhodnou surovinu pro provoz čistírny odpadních vod.

Tabulka 10: Možnosti úspor energie v úpravách vody⁹³

Oblast potenciálních úspor	Nalezení úspor	Navržené kroky	Obtížnost aplikace Dopad na technologii
Spotřeba elektrospotřebičů	Energetický audit	Náhrada starých energeticky náročných spotřebičů novými.	Lehká Žádná
Spotřeba čerpadel	Zjištění režimu čerpadel	Výměna čerpadel za čerpadla s frekvenčními měniči	Lehká Žádná
Aerace		Nahrazení odpovídajícími anaerobními procesy	Složitá Velká
		Řízení procesu aerace	Složitá Nízká
Recyklace tepla odpadních vod		Instalace tepelných čerpadel	
Kalové hospodářství		Vypouštět vodárenské kaly do kanalizace	Střední Žádná

Situace v oboru úpravy vody se v současné době mění s masivním nástupem filtračních a mikrofiltračních postupů (reverzní osmóza), kde za poslední období klesla cena potřebných filtrů na méně než desetinu, což umožňuje její postupné zavádění nejen do průmyslové praxe. V České republice je již jejich použití poměrně obvyklé při úpravě vody v pivovarnictví, na tuto technologii však již byla adaptována i jedna velká úpravna UV Souš.

3.4.2 Čistírny odpadních vod

Největší energetickou spotřebu (30 – 40%) má u čistíren odpadních vod proces aerace. Přitom většina energetického potenciálu odpadních vod je obsažena v biologické části, která se při oxidačních procesech snižuje, což vede v následných anaerobních procesech k nižší produkci bioplynu. Nabízí se tedy metoda řešení, které nahrazují aerobních procesů anaerobními tam, kde je to možné. Nevýhodou anaerobních procesů je nutnost vyšší teploty, nejsou tedy vhodné pro příliš řídké odpadní vody například splašky, kde je vhodné nejprve zmenšit objem zpracovávaného materiálu, tedy vytvořit kal s vyšším procentem sušiny. Oproti tomu průmyslové kaly často technologicky umožňují vynechání aerobních procesů.

Čerpání, zde v zásadě platí ta samá doporučení jako u úpraven vod (viz kapitola 3.4.1).

⁹³ Zdroj: vlastní

Tabulka 11: Možnosti úspor energie v ČOV⁹⁴

Oblast potenciálních úspor	Nalezení úspor	Navržené kroky	Obtížnost aplikace Dopad na technologii
Spotřeba elektrospotřebičů	Energetický audit	Náhrada starých energeticky náročných spotřebičů novými.	Lehká Žádná
Spotřeba čerpadel	Zjištění režimu čerpadel	Výměna čerpadel za čerpadla s frekvenčními měniči	Lehká Žádná
Aerace		Nahrazení odpovídajícími anaerobními procesy	Složité Velká
		Řízení procesu	Složité Nízká
Míchání		Nahrazení tradičních míchadel	Střední-složité Nízká
Anaerobní procesy	Produkce bioplynu	Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (KVET)	Střední Nízká
		Výroba biometanu	Střední Nízká
Kalové hospodářství		Energetické využití stabilizovaných kalů	Střední Žádná

Moderním trendem v oblasti čištění odpadních vod je zvyšování využití odpadní vody jako zdroje energie. S tím souvisí snaha o optimalizaci ČOV tak, aby energie získaná z odpadní vody minimálně pokryla energetické požadavky ČOV. V současnosti je tedy snaha nahrazovat aerobní procesy anaerobními což umožňuje zvyšovat produkci bioplynu, který je využit při kombinované výrobě elektrické energie a tepla. Technologie úpravy bioplynu tak aby splňoval normy pro biometan není zatím v České republice nasazena.

⁹⁴ Zdroj: vlastní

Závěr

Práce nám ukázala komplexnost řešené problematiky. Při optimalizaci úpraven vod a ČOV se setkáváme se spoustou obdobných problémů. Zvyšování ekologického povědomí společnosti a tím i snižování spotřeby vody vede paradoxně i k snížení efektivity provozu ČOV a úpraven vod. Tento jev vychází z efektu, kdy se snížením produkce dostávají technologie z projektovaných kapacit a tím se dmychadla a čerpadla dostávají z optimálních provozních hodnot a dochází tak k růstu jejich měrných spotřeb. Vzhledem k tomu, že snižování kapacity ČOV či úpravny vody není žádoucí je nutné na tento jev reagovat pomocí důslednějšího a komplexnějšího systému řízení čerpadel a dmychadel, například využitím výpočetní techniky tedy nasazením postupů známých pod pojmem Voda 4.0 (Průmysl 4.0)

Výsledky šetření potvrdily výchozí hypotézu. Nejvyšší potenciál nárůstu energetické efektivity při úpravě surové vody na vodu pitnou lze hledat v oblasti samotné dopravy surové vody do úpravny a to přesto, že velká část je přímo daná fyzickými předpoklady úpravny, které nelze měnit. Způsob získávání surové vody a její doprava do úpravny je daná, proto nelze stanovit jen jednu optimální hodnotu spotřeby pro všechny typy úpraven. Ale neznamená to, že zde nemůžeme energetickou efektivitu ovlivnit. Velký vliv na efektivitu zde má zvláště použitá technologie čerpadel a možnosti jejich řízení. Nasazení moderních pohonů čerpadel, motory s frekvenčními měniči mají výrazně vyšší efektivitu provozu a dá se u nich i lépe řídit jejich výkon, nemá navíc přímý dopad na technologii a dá se provést poměrně snadno bez nutnosti dlouhodobých výpadků výroby často i v rámci pravidelné údržby či obnovy. Dalším velkým konzumentem elektrické energie je i u úpraven proces aerace vody (obdobně jako u čistíren odpadních vod), zde lze dosáhnout lepší efektivity vhodným dimenzováním dmychadel a řízením jejich provozu. Výměna pohonů, motorů, za elektricky efektivnější varianty se pak týká i technologií v procesu číření.

Abychom dokázali maximálně snížit energetickou náročnost ČOV musíme dokázat využít veškerého energetického potenciálu obsaženého v odpadních vodách. Musíme přestat vnímat čistírny odpadních vod jako místo kde se jen čistí odpadní voda, tedy místo spotřeby elektrické energie, musíme se na něj začít dívat jako na místo kde lze, při dostatečné velikosti čistírny, elektrickou energii také vyrábět a tím snižovat její závislost na externích dodavatelích. U čistíren odpadních vod využívajících proces aerace, je tento proces největším konzumentem elektrické energie. Proto je zde nutné pečlivé dimenzování kapacity. Snížení spotřeby zde přinese i nasazení inteligentních řídicích procesů (filozofie Voda 4.0). Snížení nároků na aeraci lze dosáhnout nasazením nových biologických procesů, které mají obvykle snížené nároky na množství kyslíku ve vodě. Výše řečené postupy platí i pro další velké konzumenty elektrické energie jako jsou čerpání a míchání, kde správné stanovení výkonu čerpadel a míchadel jim umožní pracovat v optimálním provozním rozsahu a tím dosáhnout úspory ve spotřebě elektrické energie.

Čistírny odpadních vod lze z pouhého konzumenta pomocí využití energetického potenciálu čistírenských kalů pro výrobu energetické energie. Tyto kaly se dají použít k výrobě bioplynu, který se následně dá využít pro výrobu tepla a elektrické energie v kogeneračních jednotkách. Výběrem vhodné technologie lze maximalizovat výtěžek bioplynu a tím dosáhnout

nout co nejvyšší výrobu tepla a elektrické energie. Vyrobenou elektrickou energií se ve výsledku snižuje závislost na externích zdrojích. Vzniklé teplo lze využít částečně v čistírenské technologii, k vytápění přilehlých provozních budov, výrobě TUV. V případě velkých ČOV lze toto teplo využít i pro přilehlou aglomeraci. Využití tepelných čerpadel pak umožňuje získání tepla přímo z odpadních vod ať na vstupu tak na odtoku, které navíc snižuje ekologické dopady na vodní recipient (nedochází k jeho zahřívání).

Při optimálním využití energetického potenciálu obsaženého v odpadní vodě lze již současnými technologiemi u ČOV nad 30 000 EO dosáhnout často nejen plné soběstačnosti, ale i nadbytku energie, kterou je možné ekonomicky zhodnotit. Příkladem může být ČOV Plzeň, která ve výrobě elektrické energie často dosahuje hodnot přesahujících i o 15% vlastní spotřebu.

ANOTACE

Příjmení a jméno autora: Zdeněk Švitorka
Instituce: Moravská vysoká škola Olomouc
Název práce v českém jazyce: Ekonomická efektivita provozu úpraven a čistíren vod.

Název práce v anglickém jazyce: Economic efficiency operation of water treatment plants.

Vedoucí práce: RNDr. Ing. Miroslav Rössler, CSc., MBA
Počet stran: 61
Počet příloh: 2
Rok obhajoby: 2018

Klíčová slova v českém jazyce: Úpravna vody, čistírna odpadních vod, energetická optimalizace, spotřeba elektrické energie, výroba elektrické energie, bioplyn

Klíčová slova v anglickém jazyce: Water works, wastewater treatment plant, energy optimization, power consumption, power generation, biogas

Téma práce se soustředí na jednu součást celkové ekonomické efektivity úpraven a čistíren vod a to jejich energetickou efektivitu. Energetická efektivita je nedílnou součástí ekonomické efektivity a má podstatný vliv na celkové náklady provozu. Každá aglomerace se potýká s problémem úpravy vod, mnohé provozy disponují poměrně starými technologickými zařízeními.

The topic of the thesis focuses on one part of the overall economic efficiency of the treatment and purification of water and its energy efficiency. Energy efficiency is an integral part of economic efficiency and has a significant impact on total operating costs. Each agglomeration is confronted with the problem of water treatment, many facilities have relatively old technological equipment.

Literatura

1. BARTONÍK A., HOLBA M. Možné úspory energie na stávajících ČOV. *ASIO čištění a úprava vod* [online] 2012 [cit. 2018-02-20]
Dostupné z: <<http://www.asio.cz/cz/59.mozne-uspory-energie-na-stavajicich-cov>>.
2. BIELA R., ŠEVČÍKOVÁ I. Možnosti zpracování vodárenských kalů. *TZB-info 2015* [online] [cit. 2018-02-20]
Dostupné z: <<http://voda.tzb-info.cz/12241-moznosti-zpracovani-vodarenskych-kalu>>.
3. BINDZAR, Jan a kol. *Základy úpravy a čištění vod*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-729-3.
4. ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2017-11-02].
Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>>.
5. ČESKO. Vyhláška č. 252/2004 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2018-01-17].
Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>>.
6. ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2017-11-02].
Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>>.
7. ČESKO. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2018-01-17].
Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>>.
8. ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2017-11-02].
Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>>.
9. ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2017-11-02].
Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>>.
10. ČESKO. Zákon č. 526/1990 Sb., o cenách. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2017-11-02].
Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1990-526>>.

11. ČÍŽOVÁ, Barbora. *Energetická náročnost čistíren odpadních vod*. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, stavení fakulta.
12. Disperzní systémy. In: *Wikiskripta* [online]. 2014. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Disperzní_systémy>.
13. DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2006-05-09 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
14. Dotazníkové šetření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2010 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dotazníkové_šetření>.
15. Huminové látky. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2010 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Huminové_látky>.
16. CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*. 2., aktualizované vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2016. ISBN 978-80-247-5326-3.
17. Jak se tvoří cena? *Královéhradecká provozní* [online]. [2012-10-10] [cit. 2018-02-20] Dostupné z: <<http://www.khp.cz/import-1413366157/clanky-1413366157/vseobecne-informace-vodne-stocne-1413366159/jak-se-tvori-cena/>>.
18. JENÍČEK P., KUTIL J., BENEŠ O., TODT V., ZABRANSKÁ J., DOHÁNYOS M. *Energy self-sufficient sewage wastewater treatment plants: is optimized anaerobic sludge digestion the key?* *Water Science & Technology* 2013,68.
19. KAŇKOVSKÝ, P. *Vodní stavby a vodní hospodářství*. Praha: Institut environmentálních služeb, 2013. ISBN 978-80-905808-2-6.
20. Když se řekne úprava vody. *VodaPitná.cz* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <<http://www.vodapitna.cz/index.php/uprava-vody-cerpadla/72-kdyz-se-rekne-uprava-vody>>.
21. Koloid. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2010 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Koloid>>.
22. ONDRÁČEK, Martin. *Aerace na čistírnách odpadních vod*. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, stavení fakulta.
23. *Osoba oprávněná k provozování vodovodů a kanalizací*. Líbeznice: Medim, 2007. Učební text. ISBN 978-80-87140-10-9.

24. Podle jakých pravidel se stanovuje cena vody? *VODARENSTVI.CZ* [online]. [2010-11-30] [cit. 2018-02-15].
Dostupné z: <<http://www.ovodarenstvi.cz/clanky/podle-jakych-pravidel-se-stanovuje-cena-vody>>.
25. Pojem koaguce. In: *www.slovník-cizích-slov.abz.cz* [online]. [cit. 2018-02-20].
Dostupné z: <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/koaguloaceoaguce>>.
26. *Statistická ročenka České republiky 2017: Statistical yearbook of the Czech Republic 2017*. Praha: Český statistický úřad, 2017
ISBN 978-80-250-2778-3. ISSN 1211-4812.
27. ŠKORVAŇ O., HOLBA M., BARTONÍK A., PLOTĚNÝ K. Koncepce energetických úspor, využívání energie a udržitelného rozvoje. *ASIO čištění a úprava vod* [online]. 2012., [cit. 2018-01-13].
Dostupné z: <<http://www.asio.cz/cz/127.koncepce-energeticky-ch-uspor-vyuzivani-energie-a-udrzitelneho-rozvoje>>.
28. Voda 4.0: Digitalizace řeší budoucnost vodohospodářství. *VodaDnes.cz* [online]. 2017, 2017-05-23 [cit. 2018-01-18].
Dostupné z: <<https://www.vodadnes.cz/2017/05/23/cesky-siemens-na-mezinarodni-vodohospodarske-vystave-vodovody-kanalizace-2017>>.
29. Vodárenská úprava pitné vody. In: *Wikiskripta* [online]. 2014. [cit. 2018-02-01].
Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Vodárenská_úprava_pitné_vody>.
30. *Water2Energy* [online]. [cit. 2018-02-27].
Dostupné z: <<http://www.veoliawater2energy.com/cz/>>.
31. *Water2Energy v praxi: ČOV Plzeň letos téměř v plné energetické soběstačnosti. O vodarenství.cz* [online]. 2013. [cit. 2018-02-20].
Dostupné z: <<http://www.ovodarenstvi.cz/clanky/water2energy-v-praxi-cov-plzen-letos-temer-v-plne-energeticke-sobestacnosti>>.
32. Zpracování kalů. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online]. [cit. 2018-02-10].
Dostupné z: <<http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/index.html>>.

Seznam zkratek

AOX	–	adsorbovatelné org. vázané halogeny
AVG	–	aritmetický průměr
BRO	–	biologicky rozložitelné odpady
CEN	–	cena energie
CIN	–	cena investičních nákladů
CN	–	celkové náklady
CU	–	cena údržby
ČOV	–	čistírna odpadních vod
D – N	–	proces denitrifikace – nitrifikace
EO	–	ekvivalentní obyvatel
CHSK	–	chemická spotřeba kyslíku
KTJ	–	kolonii tvořící jednotka
KVET	–	kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
ON	–	ostatní náklady
PAU	–	polycyklické aromatické uhlovodíky
PVK	–	Pražské vodovody a kanalizace, a.s.
R – D – N	–	proces regenerace – denitrifikace – nitrifikace
STD	–	střední kvadratická odchylka
TOC	–	celkový organický uhlík
TUV	–	teplá užitková voda
UV záření	–	ultrafialové záření

Seznam obrázků

Obrázek 1: Jak se tvoří cena vodného a stočného	12
Obrázek 2: Úpravy ceny vodného a stočného	14
Obrázek 3: Základní schéma čistírny odpadních vod s kalovým hospodářstvím.....	27
Obrázek 4: Spotřeba energie na městské ČOV.....	40
Obrázek 5: Řízení dmychadel dle reálné potřeby vzduchu	41
Obrázek 6: Dopad naddimenzování čerpadla na spotřebu energie.....	42
Obrázek 7: Nárůst produkce bioplynu na ČOV Budapešť – Jih	48

Seznam tabulek

Tabulka 1: Ukazatelé jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na pitnou vodu	15
Tabulka 2: Ukazatelé jakosti surové podzemní vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na pitnou vodu	17
Tabulka 3: Legislativní vymezení povinných úprav vody.....	17
Tabulka 4: Poměrná spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje	37
Tabulka 5: Spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje	37
Tabulka 6: Spotřeba energie na dopravu surové vody ze zdroje	38
Tabulka 7: Spotřeba energie na dopravu čištění odpadní vody	39
Tabulka 8: Příklady výroby elektrické energie u vybraných čistíren odpadních vod firmy Veolia.....	46
Tabulka 9: Příklady výroby elektrické energie ve vodovodní síti	46
Tabulka 10: Možnosti úspor energie v úpravkách vody.....	50
Tabulka 11: Možnosti úspor energie v ČOV	51

Seznam příloh

Příloha 1 – průvodní dopis.....	63
Příloha 2 – dotazník Ekonomická efektivita provozu úpraven a čistíren vod	64

PŘÍLOHY

Příloha 1 – průvodní dopis

Vážený pane/paní

Obracím se na Vás s prosbou o vyplnění dotazníku, který bude podkladem pro bakalářskou práci na téma „Ekonomická efektivita provozu úpraven a čistíren vod“, kterou zpracovávám v rámci studia na Moravské vysoké škole Olomouc.

Veškeré údaje získané z dotazníku budou v rámci práce anonymizovány. Rád Vám zodpovím Vaše případné dotazy.

Předem děkuji za pomoc.

S pozdravem Zdeněk Švitorka

Tel.: 602 46 40 60

Eml.: M15142@studenti.mvso.cz

Dotazník - Ekonomická efektivita provozu úpraven a čistíren vod

Sekce A – všeobecné informace

Provozovna:

Provozovatel:

Sekce B – energetické zdroje

Spotřeba energie na dopravu ze zdroje (kvalifikovaný odhad v %):

Spotřeba energie na úpravu vody dle stupně znečištění (kvalifikovaný odhad v %) :

Vlastní zdroj elektrické energie:

- Solární Ano Ne
- Bioplynová
 - Kogenerace Ano Ne
 - Kombinovaný kotel Ano Ne
 - Pouze bioplyn Ano Ne
- Jiný Ano Ne

Množství elektrické energie vyrobené z vlastních zdrojů (% z celkové spotřeby):

Sekce C – Úprava pitné vody

Úprava pitné vody Ano Ne

Kapacita výroby pitné vody (m^3 /rok):

Použitá technologie

- Mechanická Ano Ne
- Chemická Ano Ne
- UV záření Ano Ne
- Ozón Ano Ne

Spotřeba elektrické energii na produkci $1 m^3$ pitné vody (kWh):

Přímá spotřeba elektrické energii na produkci $1 m^3$ pitné vody (kWh):

Doprava surové vody do úpravny:

- Čerpání z vrtu
- Samospád
- Přečerpávání

Znečištění vstupu – kategorie jakosti surové vody dle přílohy č. 13 vyhlášky č. 428/2001 Sb.

- A1
- A2
- A3
- Více než A3

Úpravy nad rámec standardních úprav dle přílohy č. 13 vyhlášky č. 428/2001 Sb. (viz příložená tabulka - Typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody):

Sekce D – ČOV

ČOV -

Ano

Ne

Počet ekvivalentních obyvatel:

Původ znečištěné vody (% - kvalifikovaný odhad)

- domácnosti:
- zemědělství:
- průmysl:

Celková spotřeba elektrické energie na čištění vody (kWh/m³):

Přímá spotřeba elektrické energie na čištění vody (kWh/m³):

Množství čištěné vody (m³/rok):

Zabezpečení tepelné potřeby ČOV:

- Dálkový zdroj Ano Ne
- Vlastní kotelna Ano Ne
 - Centrální Ano Ne
 - Lokální zdroje Ano Ne

Zdroj zabezpečení tepelné potřeby ČOV (% -kvalifikovaný odhad):

- Elektrická energie:
- Zemní plyn:
- Bioplyn:
- Jiné (specifikujte):

Použité technologie čištění:

Příloha

Pro kategorii	Typy úprav
A1	Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plynných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
A2	Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
A3	Úprava surové vody vyžaduje dvou či vícestupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinaci. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.
Vyšší koncentrace než jsou uvedeny pro kategorii A3	Podle § 13 odst. 2 zákona lze vodu této jakosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.