

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Návrh technologie pro zpracování a využití odpadních vod bytového domu

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

Autor práce: Bc. Lukáš Čuřík

Praha 2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Čuřík

Procesní inženýrství

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Návrh technologie pro zpracování a využití odpadních vod bytového domu

Název anglicky

Design of technology for processing and use of wastewater in an apartment building

Cíle práce

Cíle diplomové práce vycházejí z literární rešerše současné problematiky technologických zařízení pro zpracování a využití odpadních vod v bytových domech. Metodický postup práce bude vycházet z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců, charakteristiky legislativy v dané oblasti odpadového hospodářství, popisu a návrhu technologie a techniky vhodné ke zpracování a využití odpadních vod.

Praktická část práce zahrnuje analýzu technických zařízení pro zpracování odpadních vod. Bude uskutečněn návrh technologie čistírny odpadních vod na konkrétním bytovém domě s ekonomickým posouzením. Student vypracuje posouzení návrhu s ohledem na fyzikálně-chemické vlastnosti vzorků odpadních vod.

Metodika

Diplomová práce se bude skládat z těchto částí:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Výchozí podmínky řešení
5. Návrh řešení a dosažené výsledky
6. Diskuse a závěry
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

Čistírna odpadních vod, BSK, CHS, kogenerační jednotka

Doporučené zdroje informací

ČSN EN 12255-1 – Čistírny odpadních vod – Část 1: Všeobecné konstrukční zásady. 2003, 24 str.

ČSN EN 12255-3 – Čistírny odpadních vod – Část 3: Předčištění. 2002, 12 str.

ČSN EN 12255-4 – Čistírny odpadních vod – Část 4: Primární čištění. 2003, 12 str.

ČSN EN 12255-5 – Čistírny odpadních vod – Část 5: Čištění odpadních vod v biologických nádržích. 2000, 12 str.

ČSN EN 12255-6 – Čistírny odpadních vod – Část 6: Aktivace. 2003, 16 str.

ČSN EN 12255-7 – Čistírny odpadních vod – Část 7: Biofilmové reaktory. 2003, 16 str.

ČSN EN 12255-8 – Čistírny odpadních vod – Část 8: Kalové hospodářství. 2002, 20 str.

ČSN 75 6402 (756402) – Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. 1998, 28 str.

Straka, F.; a kolektiv.: Bioplyn. GAS s.r.o., Říčany 2003, s. 517, ISBN 80-7328-029-9

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2021

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Návrh technologie pro zpracování a využití odpadních vod bytového domu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Autor Bc. Lukáš Čuřík

Poděkování

Na úvod chci poděkovat mému vedoucímu doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D. za poskytnuté odborné rady, konzultace a strávený čas. Poděkovat chci také Ing. Renatě Aulové, Ph.D. za odbornou konzultaci práce a strávený čas. Dále děkuji Ing. Vladimíru Tichému za čas strávený při návštěvě ČOV v Kolíně a odbornou komentovanou ukázkou technologie.

Veliké poděkování chci složit své rodině a blízkým za podporu, zejména své manželce Bc. Tereze Čuříkové a synovi Jakubovi za trpělivost během vyhotovení této práce.

Abstrakt: Tato diplomová práce řeší problematiku energetického a ekonomického využití vlastní spotřeby vody v bytovém domě. Cílem práce je navrhnout technologii v bytovém domě na zpracování odpadních vod, ekonomické využití přečištěné vody a kalového hospodářství. Práce byla zpracována na základě zjištěných dat a bilancí existujících technologií z jiných provozů, které byly použity pro výpočty. Bylo zjištěno, že technologie pro kalové hospodářství bytového domu není energeticky soběstačná a výhodné je doplnit technologii o fotovoltaické panely. Kombinace vlastní čistírny odpadních vod s bioplynovým hospodářstvím a fotovoltaiky je ekonomicky výhodná.

Klíčová slova: Čistírna odpadních vod, BSK, CHSK, kogenerační jednotka

Summary: This diploma thesis addresses how one's own water consumption in an apartment building can be used economically and energetically. The aim of this work is to design technology in an apartment building for wastewater treatment and economic use of treated water and sludge management. The work was processed on the basis of obtained data and balances of existing technologies from other operations, which was used for calculations. It was found that the technology for sludge management of an apartment building is not energy self-sufficient and it is advantageous to supplement the technology with photovoltaic panels. The combination of our own wastewater treatment plant with biogas management and photovoltaics is economically advantageous.

Key words: wastewater treatment plant, BOD, COD, cogeneration unit

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce a metodika	2
3. Přehled pojmů.....	3
4. Teoretická východiska.....	4
4.1. Čistírny odpadních vod	4
4.1.1. Platná legislativa.....	4
4.1.2. Všeobecné konstrukční zásady.....	6
4.1.3. Předčištění	11
4.1.4. Primární čištění.....	14
4.1.5. Čištění odpadních vod v biologických nádržích	15
4.1.6. Aktivace.....	17
4.1.7. Biofilmové reaktory.....	21
4.1.8. Kalové hospodářství	23
4.2. Bioplyn a jeho produkce	29
4.2.1. Využití bioplynu	32
4.2.2. Kogenerační jednotka	32
4.3. Recyklace vody	33
4.3.1. Filtrace a reverzní osmóza.....	34
4.3.2. Dezinfekce vody	36
4.3.3. Mineralizace vody	37
5. Vlastní práce.....	38
5.1. Úvod	38
5.2. Výchozí podmínky řešení.....	39
5.2.1. Vstupní bilance.....	40
5.2.2. Stavební části objektu současný stav.....	42
5.2.3. Domovní rozvody – současný stav.....	44

5.3. Návrh technologie	44
5.3.1. Popis návrhu čistírny odpadních vod	45
5.3.2. Plynová kotelna	48
5.3.3. Recyklace vody	49
1.1.1. Výpočet provozních hodnot	51
5.4. Ekonomické posouzení projektu	56
5.4.1. Investice.....	56
5.4.2. Dotace.....	58
5.4.3. Provoz.....	58
5.4.4. Cash Flow model.....	60
6. Výsledky a diskuse	63
7. Seznam literatury	65

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Situace budov a technologií ČOV Kolín (7).....	10
Obrázek 2 - Česle na přítoku ČOV Kolín (autor).....	12
Obrázek 3 - Lapák písku ČOV Kolín (autor)	12
Obrázek 4 - Rozdělení přítoku ČOV Kolín (autor)	13
Obrázek 5 - Pohled na dvě linky ČOV Kolín (autor).....	13
Obrázek 6 - Horizontálně průtočná pravoúhlá usazovací nádrž (6)	15
Obrázek 7 - Usazovací nádrže na ČOV Kolín (autor).....	15
Obrázek 8 - Anaerobní nádrž ČOV Kolín (autor)	17
Obrázek 9 – Aktivace - denitrifikační a nitrifikační nádrže (autor)	18
Obrázek 10 - Dosazovací nádrž ČOV Kolín (autor).....	20
Obrázek 11 Schéma biologického filtru (12).....	22
Obrázek 12 Rotační klecový biofilmový reaktor (13).....	22
Obrázek 13 - Schéma ČOV s kalovým hospodářstvím (6).....	24
Obrázek 14 - Sítopásové lisy na ČOV Kolín (autor).....	25
Obrázek 15 - Příklad metanizačního reaktoru tvaru stojaté válcové nádrže (6).....	27
Obrázek 16 - Odstředivka ČOV Kolín (autor).....	28

Obrázek 17 - Úložiště stabilizovaného kalu ČOV Kolín (autor).....	29
Obrázek 18 - Bilanční schéma metanizace kalu (6)	30
Obrázek 19 - Metanizační nádrže na ČOV Kolín (autor).....	31
Obrázek 20 - Plynojem na ČOV v Kolíně (autor)	32
Obrázek 21 - Kogenerační jednotka na ČOV Kolín (autor)	33
Obrázek 22 - Pohled na ČOV s recyklací vody na vodu pitnou v Namibii (20)	34
Obrázek 23 - Druhy znečištění vody a druhy filtrace (23)	35
Obrázek 24 - Schéma principu RO (23)	35
Obrázek 25- Příklad pětistupňové RO (23)	36
Obrázek 26 - Schéma UV dezinfekce vody (24)	37
Obrázek 27 - Pohled na bytový dům (autor).....	39
Obrázek 28 - Předávací stanice v bytovém domě (autor).....	41
Obrázek 29 - Satelitní snímek střechy bytového domu (28)	43
Obrázek 30 - Půdorysné schéma technologií ČOV a PK (autor)	47
Obrázek 31 - Kogenerační jednotka Viessmann (30).....	48
Obrázek 32 - Pískový filtr na vodu (31)	49
Obrázek 33 - Reverzní osmóza (32)	50
Obrázek 34 - UV lampa (33)	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Návrhová životnost technologického zařízení (5)	8
Tabulka 2 – Tř. životnosti a návr. životnosti pro technologická zařízení a jeho části	8
Tabulka 3: Návrhové hodnoty pro aktivační procesy (11)	21
Tabulka 4 - Základní provozní parametry metanizační nádrže (6).....	27
Tabulka 5 - Množství sušiny v kalu (17)	30
Tabulka 6 - Přehled cen vodného a stočného 1.SčV. (autor).....	40
Tabulka 7 - Cena vodného a stočného v letech a přepočtená spotřeba (autor).....	40
Tabulka 8 - Odhad spotřeby vody jedné osoby za den dle činností (27).....	41
Tabulka 9 - Cena tepla v jednotlivých letech (autor).....	42
Tabulka 10 - Spotřeby tepla bytového domu (autor).....	42
Tabulka 11 - Celkové roční náklady tepla ÚT a TUV (autor).....	42
Tabulka 12 - Stanovení vlastní spotřeby tepla fermentoru na ohřev substrátu (autor)...	53
Tabulka 13 - Stanovení tepelných ztrát fermentoru (autor).....	54
Tabulka 14 - Přehled spotřeby elektrické energie (autor).....	55

Tabulka 15 - Celková potřeba energie ČOV (autor).....	55
Tabulka 16 - Přehled investičních nákladů a dotace (autor).....	57
Tabulka 17 - Procentuální rozdělení výroby FVE dle měsíců (autor).....	59
Tabulka 18 - Bilance tepelné a elektrické energie s FVE (autor).....	60
Tabulka 19 - Ostatní provozní náklady (autor).....	60
Tabulka 20 - Cash Flow model (autor).....	62

Seznam použitých zkratk

ČOV	čistírna odpadních vod
OV	odpadní vody
AN	aktivační nádrž
DN	dosazovací nádrž
CH ₄	methan
CO ₂	oxid uhličitý
EO	Ekvivalentní počet obyvatel
H ₂ S	sulfan
H ₂	vodík
N ₂	dusík
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku
NL	nerozpuštěné látky
N-NH ₄	amoniakální dusík
N _{celk.}	celkový dusík
P _{celk.}	celkový fosfor
pH	vodíkový exponent
AOX	halogenované organické sloučeniny

PP	polypropylen
Sb.	sbírky
ČSN	Česká státní norma
EU	Evropská unie
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
RO	Reverzní osmóza
TUV	Teplá užitková voda
ÚT	Ústřední topení
ZTI	Zdravotně technické instalace
SV	Studená voda
SNG	Substitute natural gas – náhradní zemní plyn
PP	Podzemní podlaží
NN	Nadzemní podlaží
MaR	Měření a regulace
KGJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

1. Úvod

Naše lidstvo je nyní závislé na energetických a také přírodních zdrojích, ke kterým patří mimo jiné pitná voda. Již po více jak století hledáme účinnější, efektivnější i ekologičtější zdroje energie a učíme se šetrněji pracovat s přírodními zdroji. Sledujeme kolem sebe proměnu prostředí, ve kterém žijeme a pokud si jako lidstvo sáhneme do svého svědomí, jistě uznáme, že jsme si vytvořili obrovskou spotřební ekonomiku, která exponenciálně zvýšila nároky na přírodní statky i využívání energií k jejich zpracování na výrobu a spotřebu. Za posledních sto let jsme prošli neuvěřitelně rychlým technologickým pokrokem a v první řadě se neohlíželi na důsledky tohoto pokroku a velké spotřeby. V minulých deseti letech jsme se zejména v Evropě rozběhli na Maraton ekologických opatření a cílů, které mají změny kolem nás zbrzdít a snad i zvrátit. Ať už přispívá lidstvo ke klimatické přeměně výrazným způsobem a dokáže jej šetrnějším zacházením zvrátit nebo se jedná pouze o souhru času technologického pokroku a přirozeného cyklu naší planety, není v kontextu vzniklých výzev relevantní. I přesto čelíme výzvam, které v jednom i druhém případě je nutné brát v úvahu.

Jednou z výzev je úbytek pitné vody na planetě Zemi. Ubývá srážek spadlých na zem a odtávají pevninské ledovce, které jsou skvělým úložištěm pitné vody na pevnině. Tento jev má za následek kritický nedostatek pitné vody v některých oblastech zejména rovníkových oblastí např. v naší geografii se jedná o oblast Afrického kontinentu, důsledkem čehož Evropa bude pravděpodobně čelit obrovské výzvě zvládnutí další migrace obyvatel nejen z oblastí postižených válečnými konflikty, ale také postižené kritickým nedostatkem pitné vody. Nalezení ekonomického systému zpracování odpadní vody a její další možné využití přímo v místě vzniku, je jednou z možných cest, jak snížit potřebu vody a možná tak alespoň částečně zvládnout adaptaci na zřejmě neodvratitelnou klimatickou změnu naší planety a také našeho způsobu života. Na zpracování odpadní vody a její využití přímo v místě spotřeby je zaměřena tato práce a má za úkol ověřit, že je opravdu smysluplné se takovým zpracováním zabývat.

2. Cíl práce a metodika

Hlavním cílem práce je návrh technologie pro zpracování a využití odpadních vod bytového domu, proto si diplomová práce klade za cíl navrhnout technologii přímo v bytovém domě na zpracování odpadních vod a ekonomicky zhodnotit navržené opatření na základě poznatků z literatury řešeršní části. Nalezení možností dalšího využití takto přečištěné odpadní vody přímo v místě produkce bytového domu a zjištění bilancí energetického využití plynů získaných při procesech čištění. Výchozími předpoklady ke zpracování diplomové práce jsou řešerše technických norem pro návrh technických zařízení budov, zejména čistírny odpadních vod a kogenerační jednotky.

V praktické části práce bude vypracováno technickoekonomické posouzení zpracování a využití odpadních vod v konkrétním bytovém domě. Závěrem studie je ekonomické posouzení návrhu v porovnání se stávajícím stavem v konkrétním bytovém domě.

Metodiku práce tvoří převzetí výpočtů z reálných měření na již existujících ČOV s bioplynovým hospodářstvím. V rámci práce autor provedl místní šetření na ČOV v Kolíně, jejíž technologie a provozní parametry uvádí v řešeršní části práce. ČOV je ve správě společnosti Energie AG Kolín a.s., zahrnuje bioplynové hospodářství. Technologie je v této práci navržena z platných technických norem a dle poznatků z reálného provozu.

Dalším metodickým postupem jsou předpoklady naměřených dat z reálných provozů ČOV poskytnuté v rámci přednášek na České zemědělské univerzitě. Předpokladem pro výsledné bilance je stávající stav spotřeb energií bytového domu, zejména spotřeby vody, elektrické energie a tepelné energie. Tato data budou zjištěna od předsedy společenství vlastníků a přehledů vyúčtování bytového domu. Autor práce na základě metodicky získaných parametrů provede výpočet bilancí navržené technologie a ekonomický model sestavený z úspory spotřeby vody a získaných energií.

3. Přehled pojmů

Čistírenský kal – suspenze anorganických a organických látek, které byly odstraněny z odpadní vody v technologickém procesu čistírny odpadních vod. Je to směs vody a pevných látek oddělených z odpadní vody. (1)

Flotace – separace tuhých nebo kapalných částic z kapalné fáze, která se provádí zavedením jemných vzduchových bublin do kapalné fáze. Bublíny přilnou k jednotlivým částicím a jsou v separační zóně vynášeny k hladině, tam vytvoří plovoucí kalovou pěnu, která je hydraulicky nebo mechanicky odstraněna z hladiny. (2)

Kalové pole – mělké otevřené obdélníkové betonové nádrže s upraveným, nebo zpevněným dnem (udusaný jíl), které je vysypáno štěrkopískem. Dno je ve sklonu k drážce s odvodňovací drenáží. Probíhá zde jednak odvodňování kalu pomocí drenáže a vysoušení odpařováním vody do ovzduší. (2)

Kalová laguna – podobné zařízení jako kalová pole, ale mají přirozené dno, bez drenážní vrstvy. Obvodové hrázky se navrhují zemní, zpevněné drnováním, panely nebo dlažbou. Kalové laguny jsou opatřeny vjezdem pro mechanizaci. (2)

Sedimentace – usazování pevných částic na dno sedimentační nádrže pomocí gravitace. (2)

Zahušťování kalu – schopnost kalu zvýšit koncentraci tuhých látek. Cílem procesu je zahuštění kalu na 4,5 – 6 % sušiny. Zahušťování se provádí sedimentací nebo pomocí flotace. (2)

Odvodňování kalu – snížení obsahu přebytečné odpadní kalové vody na 18 % sušinu. Odvodněním vznikne kal rypatelné konzistence a dochází tím ke snížení jeho objemu. (2)

Odpad – je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se ji zbavit. (3)

4. Teoretická východiska

4.1. Čistírny odpadních vod

4.1.1. Platná legislativa

Povinností každého je předcházet znečišťování a poškozování zdrojů vody a minimalizovat nepříznivé důsledky své činnosti na kvalitu vody. Dle **zákona č. 17/1992 Sb., o životním prostředí** je povinnost každého při využívání zdrojů vody projektovat a provádět stavby k zamezení znečišťování vod a k obnově jejich zdrojů.

Dle **zákona č. 274/2001 Sb. (zákon o vodovodech a kanalizacích)** § 18 není možné vypouštění odpadních vod do kanalizace, která je ukončena čistírnou odpadních vod (dále jen. ČOV) přes septik nebo jinou ČOV, pouze pokud se nejedná o takovou ČOV, která odstraňuje nečistoty převyšující povolené limity uvedené kanalizačním řádem. Vypouštění odpadní vody přes septik nebo ČOV je dle uvedeného zákona klasifikováno jako přestupek. (4)

Pro ochranu povrchových a podzemních vod je v platnosti **zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)**. Dále tento zákon vymezuje hospodárné využívání vodních zdrojů a zlepšení jejich kvality. Klíčová je vyhláška tohoto zákona: vyhláška č. 293/2002 Sb. a její novelizace vyhláškou č. 110/2005 Sb., která pojednává o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových, dále vymezuje zdroje znečištění a množství znečištění obsaženého v odpadních vodách, zjišťování objemu a měření vypouštěných odpadních vod.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., **o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech**. Dle tohoto nařízení je celé území České republiky vymezeno jako citlivá oblast, pro kterou je dle tohoto nařízení vlády stanoveno přípustné znečištění povrchových vod, které jsou využívány nebo se plánuje jejich využití jako zdroje pitné vody, vhodné pro život a reprodukci vodních živočichů nebo ke koupání osob.

Při procesu čištění v ČOV vznikají odpady shrabky, písek, tuky a další přebytečný odpad. Problematikou s jejich nakládáním se zabývá **zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech**. U domovního odpadu může být s tímto odpadem zacházeno jako s komunálním odpadem.

Konkrétní nakládání s odpady z ČOV definují dále jednotlivé vyhlášky Ministerstva životního prostředí.

Při návrhu ČOV je třeba technologii posuzovat dále dle **zákona č. 472/2005 Sb., úplné znění zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší**, zejména emisní limity a podmínky provozování stacionárního zdroje znečištění ovzduší stanový nařízení vlády č. 353/2002 Sb a dále zjišťování emisí a seznamu znečišťujících látek těchto zdrojů znečištění, vč. způsobu předávání zpráv o emisích stanovuje Vyhláška č. 356/2002 Sb. novelizována vyhláškou MČP č. 205/2009 Sb.

Pro technický návrh ČOV jsou stanoveny příslušné evropské normy zavedené do soustavy ČSN. Technická norma **ČSN EN 12255 Čistírny odpadních vod** konstrukční parametry pro návrh ČOV dle vstupních parametrů. (4)

4.1.2. Všeobecné konstrukční zásady

Všeobecné konstrukční zásady přednostně pro domovní a městské čistírny odpadních vod s úvahou kapacity více než 50 ekvivalentních obyvatel stanovuje Norma ČSN EN 12255-1. Při návrhu čistírny odpadních vod musí být dodrženy následující požadavky: národní předpisy a jejich respektování, dodržení limitů pro vypouštění, které stanovuje Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. pro vypouštění do podpovrchových a kanalizačních vod, dostatečná účinnost čištění v celkovém rozsahu průtoku a znečištění, zajištění bezpečnosti osob, dodržování požadavků dle norem EN 12255-9 a EN 12255-10 z důvodu možnosti výskytu obtíží, pachů, toxických látek, aerosolů a pěny, dosažení potřebné životnosti zařízení a stavebních konstrukcí při působení plynů a vody, zajištění vodotěsnosti případně plynotěsnosti, stanovení a dodržování stanovených opatření pro provoz a údržbu, při návrhu počítat s budoucím rozšířením nebo změny technologie, vyloučení bezpečnostních rizik a provozních poruch, hospodárné vynaložení celkových investičních a provozních nákladů vč. Vynaložených energií pro stavbu a provoz zařízení, minimalizace množství odpadů a přiměřené zlepšování jejich kvality pro recyklační využití nebo bezpečné odstranění.

Při návrhu ČOV musí být zváženy následující **návrhové požadavky**. (5)

Technologická zařízení, u kterých může dojít k výpadku (čerpadla, kompresory), musí být uvažována s dostatečnou rezervou, aby při jejich výpadku z provozu byla zajištěna dostatečná průtočnost, čistící kapacita a účinnost čištění. Pokud není toto dodrženo, musí být navržena opatření umožňující během výpadku rychlou výměnu zařízení.

Každý objekt čistírny nebo každé technologické zařízení musí umožnit obtok přes žlab, obtokové potrubí nebo další objekt se zařízením. Přítok do čistírny musí být opatřen zařízením k omezení přítoku, pokud je to nezbytné. Využívají se např. retenční vyrovnávací nádrže nebo odlehčovací komory. Pokud mohou nastat delší výpadky elektrické energie, musí být čistírna vybavena náhradním zdrojem elektrické energie, případně náhradním zařízením pro zajištění minimálního požadovaného výkonu strojního zařízení z náhradního zdroje elektrické energie, na které musí být napojeny minimálně měřicí a řídicí zařízení, čerpadla pro odpadní vody, vrácený kal a provzdušňování. Po výpadku a znovu obnovení dodávky elektrické energie musí být strojní zařízení schopno automatické obnovy provozu. Z ČOV musí být umožněn odběr vzorků na přítoku i odtoku a ve všech objektech. K dispozici musí být veškeré provozní údaje důležité pro

provoz zejména průtoky, výšky hladin, tlaky, teploty, koncentrace rozpuštěného kyslíku, hodnoty pH a koncentrace ostatních látek. Obsluha, čištění a opravy ČOV musí být navrženy jednoduše a bezpečně pro obsluhu. Při návrhu je nutné dbát na přístupnost, umístění odboček na potrubí pro proplach a možnost uzavření potrubí. V poslední řadě se musí stanovit opatření pro případ provozních poruch a nouzového stavu.

Stavební požadavky ČOV

Stavební objekty musí být odolné vůči všemu zatížení během provozu, obsluhy i údržby. Dále musí být odolné vůči tlaku vody, statickým i dynamickým silám, které vznikají od technologických zařízení. Dle potřeby je nutné konstruovat odolnost vůči chemickým a biologickým účinkům odpadní vody, stejně tak teplotám a jejich výkyvům a chráněny proti vyplavání, tedy vzniku vztlaku. Betonové pojezdy musí být konstruovány bez nerovností a s dostatečnou požadovanou pevností min. 35 N.mm^{-2} . Maximální tlak pojezdových kol je stanoven dle normy ČSN EN 12255-1 na $2,5 \text{ MN.m}^{-2}$ pro pryžová kola a $5,0 \text{ MN.m}^{-2}$ pro polyuretanová kola, pro která může být nezbytná dodatečné opatření pojezdové plochy ocelovou deskou.

Mezi různými stavebními objekty a technologickými zařízeními musí být brán zřetel na možné rozdílné sedání, a tedy vzájemný pohyb. Je nutné tedy zajistit např. na spojovacím potrubí pohyblivé části a flexibilní spoje. Na výztužích železobetonových částí nesmí být umístěována technologická zařízení. V případě, že může dojít k elektrolytické reakci kapaliny s některými kovovými částmi zařízení a kovových spojů, je nutné předejít důsledku vzniku koroze a zajistit elektro-izolaci těchto částí.

Pro umožnění kontroly, obsluhy, údržby a oprav je nutné zajistit přístupové body a navrhnout bezpečný přístup přes přístupové cesty k veškerým částem ČOV. Přístup a prostor musí umožnit montážní a demontážní práce na strojním zařízení a demontovatelných součástích. V uzavřené místnosti je nutné uvažovat výskyt nebezpečné vlhké nebo výbušné atmosféry a zajistit její odvětrání. V místech nutného čištění a proplachu částí je nutné zajistit zdroj vody, přednostně se v tomto případě využívá provozní voda. Místa akumulace vody z oplachu je nutné osadit jímkou s vodotěsným dnem a zajistit oddělení provozní vody od pitné vody. Jímka na provozní vody musí zajistit dostatečný spád ke sběrné jímce pro odvodnění. Veškeré nádoby musí umožňovat v případě proplachu úplné vyprázdnění.

Veškerá technologická zařízení ČOV musí být navržena s následujícími parametry. Zatěžovací síly – dopravou, větrem, sněhem, provozem; kapacita takové síly, maximální a minimální zatížení takovými silami. Dále součinitel spolehlivosti, stupeň ochrany IP dle EN 60529. Stupeň ochrany IP je volen IP54 pro zařízení s výskytem oplachu okolí, IP55 v blízkosti, kde jsou strojní zařízení myta přímo ostřikem a IP67, kde jsou strojní zařízení přímo ponořena do vody. U strojních zařízení se stanoví při jejich návrhu třída životnosti dle tabulky č. 1.

Tabulka 1 – Návrhová životnost technologického zařízení (5)

	Třídy návrhové životnosti				
	1	2	3	4	5
návrhová životnost h	nestanovena	10 000	20 000	50 000	80 000

Návrhová životnost je vybrána při uvážení skutečného zatížení, které se liší od návrhového zatížení. Pro bezporuchový provoz technologického zařízení jsou stanoveny různé požadavky návrhové životnosti při střídavém namáhání. Požadovanou návrhovou životnost stanovíme dle tabulky č. 2 a při uvážení příslušných technických norem pro dané zařízení.

Tabulka 2 – Třídy životnosti a návrhové životnosti pro technologická zařízení a jeho části (5)

Třída životnosti	Návrhová životnost h	Namáhání				Příklady
		Stupeň namáhání	Doba chodu po zapnutí	Zatížení	Rychlost	
1	-	nevýznamný	krátká	malé	pomalá	otáčivé pohony, kontejnerový posun
2	10 000	nízký	krátká	střední	libovolná	česle
3	20000	obvyklý	střední	velké	libovolná	česle
			dlouhá	střední	libovolná	pohony kol stíracího zařízení
4	50 000	vysoký	dlouhá	velké	libovolná	pohony povrchových aerá- torů atd., ložisko otočného rozstřikovacího zařízení
5	80 000	extrémně vysoký	dlouhá	velké	libovolná	jako třída životnosti 4, ale pro zvlášť vysoké namáhání nebo speciální podmínky zabudování

Lávky, schodiště, plošiny a rošty se navrhují bez ohledu na zatížení dopravou minimálně na zatížení $3,5 \text{ kN.m}^{-2}$ a jejich maximální pohyb nesmí překročit 10 mm případně u větších roštů 1/200 jejich rozpětí. Montážní a čistící otvory musí být opatřeny poklopy, ty otvory, které vyžadují častý přístup musí být snadno otevíratelné i uzavíratelné.

Návrh čerpadel a potrubí se řídí dle příslušného dopravovaného média a musí být navrhována dle normy EN 809 a EN 752-6. **Minimální jmenovitá světlost** potrubí pro vody s pískem a kaly je stanovena na **průměr DN 80**. V případě mělníciho zařízení, síta a předejití ucpání potrubí mohou být použity nižší jmenovité světlosti pro potrubí. U čerpadel je nutné navrhovat uzavírací a zpětné armatury. Objemová čerpadla se osazují čidlem a tlakovým spínačem pro zajištění dostatku přísunu kapaliny a předešlo se poškození tlakových čerpadel. Potrubí, která mohou přijít do styku s mrazem musí být izolována, případně uložena v zemi. Zároveň pokud je nutné předejít tepelným ztrátám v procesu čištění, je nutné zajistit tepelnou izolaci potrubí. Minimální jmenovitý tlak PN 6 je stanoven pro plastová potrubí. Pro nekorodující ocelová potrubí je stanovena minimální tloušťka stěn A dle ISO 4200 pro jiné oceli je stanovena tloušťka D. Potrubí se identifikují pomocí barev nebo označení. Potrubí musí zajišťovat plynotěsnost a vodotěsnost. Potrubí pro odpadní vodu, kal a bioplyn jsou navrhována na takovou průtočnou rychlost, aby nedocházelo k usazování pevných látek nebo kondenzátu případně shromažďování plynu v potrubí.

Dmychadla a kompresory jsou osazeny uzavíracími a zpětnými armaturami, případně teplotními a tlakovými spínači. Pro vzdušňovací vzduch v dmychadlech musí být zbaven veškerého oleje.

Pro získávání veškerých potřebných informací v průběhu procesu čištění, která jsou důležitá pro bezpečný, spolehlivý a účinný provoz se osazují měřicí a řídicí zařízení pro zajištění sledování a **automatizace procesu a regulování systému** na požadované parametry výstupů. Elektroinstalace se navrhuje již na počátku návrhu strojního zařízení. Blíže k návrhu měření, regulace a elektroinstalace stanovuje norma EN 12255-12.

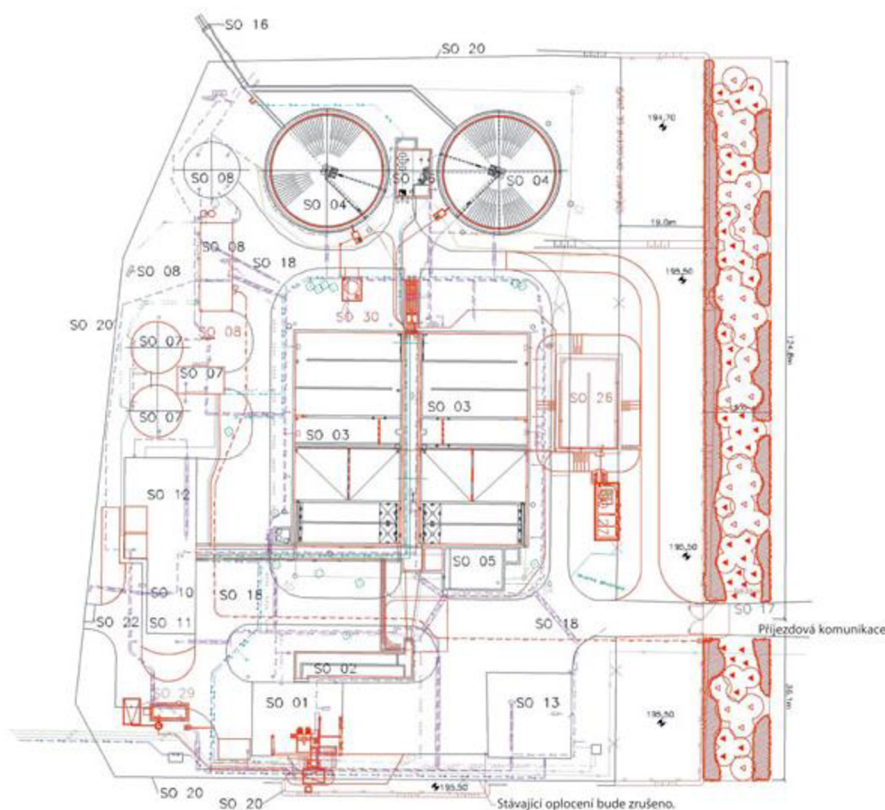
Ochrana proti korozi musí být zajištěna u všech použitých materiálů technologických zařízení. Uváženy musí být reakce v celém procesu čištění s odpadní vodou, aerosoly, bioplynem a atmosférickými vlivy. Při spojování rozdílných materiálů je nutné zamezit možné elektrolytické reakci. U nosných částí z plastů je třeba zabránit nežádoucím účinkům UV záření a teplot.

Při návrhu a provozu ČOV musí být splněny a respektovány veškeré požadované **emisní limity**. Provoz ČOV musí maximálně omezovat vznik škodlivých emisí pachů, hluku a znečištění např. oleji a tuky. Při návrhu musí být uvažována vzdálenost a poloha chráněných oblastí. Blíže vliv na životní prostředí stanovuje norma EN 12255-9.

Dokumentace ČOV musí obsahovat veškerou výkresovou část stávajícího stavu stavebních objektů, technologických součástí, opatření proti korozi, výkresy potrubí a kabelů. Zároveň dokumentace musí obsahovat pokyny k provozu celé ČOV, seznam náhradních a rychle opotřebitelných součástí, které součásti podléhají pravidelné údržbě a její interval. Součástky uvedené v seznamu náhradních dílů ČOV musí dodavatel strojního zařízení udržovat dostupné po dobu 10 let od data dodávky zařízení. Nejčastěji mezi součástky s rychlým opotřebením patří kluzná těsnění, hnací pásy a řetězy, snímací elektrody.

U ČOV se provádí před uvedením do provozu **zkoušky těsností** betonových a jiných stavebních objektů, zemních nádrží a strojního zařízení. Zkoušky probíhají v souladu s národními předpisy případně je stanoví zadavatel projektu. U strojního zařízení se provádí **tlakové zkoušky**, příp. podtlakové zkoušky za pomoci vhodného média na požadovaný tlak, který nebude při provozu zařízení překročen. (5) (6)

Obrázek 1 - Situace budov a technologií ČOV Kolín (7)



SO 01 – přítok a česle; SO 02 – lapák písku; SO 03 – aktivace - nitrifikační a denitrifikační nádrže; SO 04 – dosazovací nádrže; SO 05 – jímka primárního kalu a přilehlé 4 usazovací nádrže; SO 07 – vyhnívací komory a kotelna; SO 08 – strojovna kompresoru, odsiřovací jednotka a plynojem; SO 10 – uskladnění stabilizovaného kalu; SO 12 – strojovna strojního zahušťování kalu, míchání a vytápění vyhnívacích komor; SO 26 – regenerační nádrž dosazeného kalu

4.1.3. Předčištění

Předčištění odpadních vod je prováděno nejen u domovních a komunálních odpadních vod a využívá se k prvotnímu odstranění některých znečištění odpadní vody, které jsou např. zachycení shrabků na česlích nebo sítích, odstranění písku, separace olejů a tuků, vyrovnávání a rozdělování průtoků. Všeobecné požadavky a procesy předčištění pro ČOV nad 50 ekvivalentních obyvatel stanovuje 3. část normy ČSN EN 12255-3.

Návrh potřebného předčištění je stanoven druhem znečištění odpadní vody a požadavky na další zpracování. Odstranění písku z vody je prevencí před poškozením následných čerpadel v procesu čištění. Při návrhu předčištění se nejprve zvažují některá hlediska. Např. jaký vliv bude mít průtok na následující čistící procesy, požadavkem je co nejkratší doba zdržení vody v předčištění, aby se zabránilo předčasné sedimentaci a vyhnívání, zachycování na jemných česlích a sítích, požadavky na odstranění písku a zda je nezbytné odstraňovat tuky a oleje, nezbytnost praní písku, jaká je spolehlivost čistícího procesu, potřeba ochrany odkrytého potrubí proti mrazu. Dále je třeba stanovit požadavky na zachycování a zneškodňování shrabků, písku, tuků a olejů. Znečištění oleji a tuky je v procesu čištění nežádoucí, a proto je nutné zajistit jejich odstranění na počátku čištění, např. v kombinovaném primárním usazovacím stupni předčištění a pomocí lapáků tuků a olejů. Lapák tuků a olejů by měl být navržen, obsahují-li OV vody z hotelů, restaurací a potravinářských závodů, pokud tyto provozy vypouštějí odpadní vody přímo do stokové sítě, instalují se lapáky tuků přímo na výpusť z provozu. (8)

Na ČOV v Kolíně jsou na vtoku OV do ČOV instalovány česle. Do vtokové komory přiteče denně zhruba 7 000 m³ OV bez vod srážkových. Vtoková komora je vybavena záplavovým čidlem, které zaznamená zatopení v případě zanesení česel. V tom případě se česla pootočí a shrabky na česlích jsou vysypány na kontejner a jsou pravidelně odváženy do Čáslavy na skládku.

Pro hodnocení OV z hlediska organického znečištění se využívá ukazatelů CHSK a BSK případně C_{org.} - organický uhlík. Tyto tři údaje udávají míru obsahu organického znečištění. Hodnota BSK je často indexována dle počtu dní, po které probíhá test vzorku v temné místnosti, běžně 5 dní. Hodnoty organického znečištění jsou uváděny v mg.l⁻¹. (6)

Přítok na ČOV v Kolíně má hodnoty v průměru 600 – 800 mg.l⁻¹ CHSK a 180 – 220 mg.l⁻¹ BSK. Z veřejně dostupných dat byly zjištěny hodnoty na ČOV v Českém Brodě BSK₅ = 366 mg.l⁻¹ a CHSK = 80 mg.l⁻¹, měřeno na přítoku do ČOV.

V ČOV v Kolíně OV z česlí dále natéká do lapáku písku a plovoucích látek, ve kterém se písek usazuje na dně nádrže, z hladiny jsou stahovány plovoucí látky. Odtud je písek stahován a ukládán na kontejner k odvozu.

Obrázek 2 - Česle na přítoku ČOV Kolín (autor)



Obrázek 3 - Lapák písku ČOV Kolín (autor)



Vyrovnávání a rozdělování přítoku se zpravidla zařazuje za česle a lapáky písku. Tento stupeň může vyžadovat měření průtoku. Průtok, který přesahuje požadovanou kapacitu navržených čistících stupňů, je odvedena do nádrží, které vyrovnávají průtok. V případě, že není možné zajistit obtok čistícího procesu, je nutné zařadit do technologie ČOV vyrovnávací nádrž. Ve vyrovnávacích nádržích je možné navrhnout provzdušňování pro eliminaci zápachu a anaerobních procesů. (8) (6)

Na ČOV v Kolíně je za odtokem z lapáku písku instalován rozdělovač přítoku na dvě oddělené samostatné linky dalšího zpracování OV. Rozdělovač s odtokem z lapáku je na obrázku 4. Pohled na dvě samostatné linky je na obrázku 5.

Obrázek 4 - Rozdělení přítoku ČOV Kolín (autor)



Obrázek 5 - Pohled na dvě linky ČOV Kolín (autor)



4.1.4. Primární čištění

K separování usaditelných pevných látek slouží proces primárního usazování, během něhož se mohou taktéž odstranit i plovoucí látky problematické pro další stupně čištění. Vzniklý usazený surový kal je pravidelně odstraňován. Primární čištění není vyžadováno v případě stabilizačních nádrží s biologickými procesy nebo v případě aktivačního procesu. V tom případě je nutné zvážit následující čistící procesy, které plynou z vynechání kroku primárního čištění.

Typy usazovacích nádrží pro primární čištění jsou:

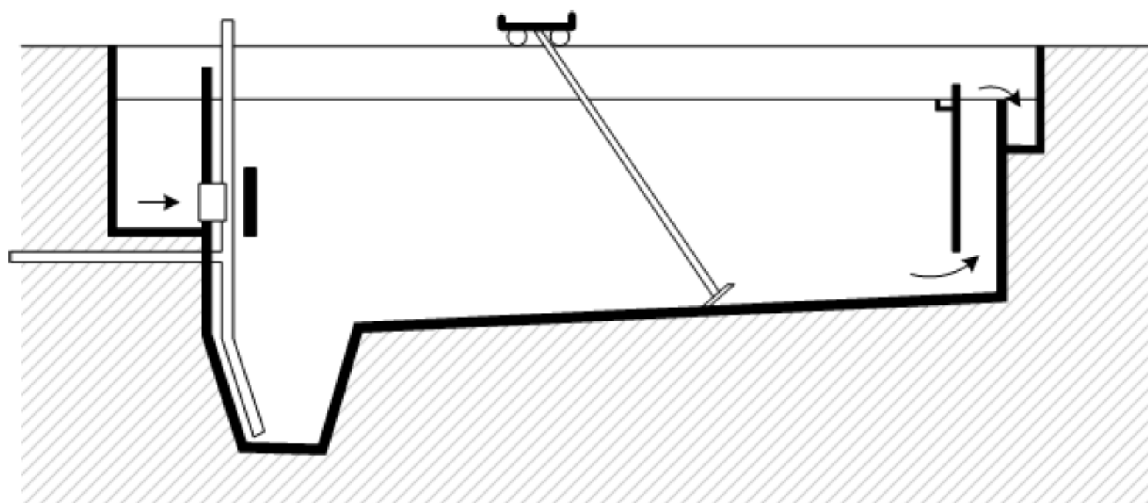
- vzestupně průtočné (půdorysně čtvercové nebo kruhové);
- horizontálně průtočné (půdorysně obdélníkové i kruhové);
- lamelové se systémem pravidelně rozmístěných tenkých skloněných desek.

S využitím lamelových usazovacích nádrží dochází díky systému pravidelně rozmístěných desek ke zvětšení účinného usazovacího prostoru v nádrži.

Odpadní voda má přitékat do primární usazovací nádrže skrze uklidňovací zařízení z důvodu snížení kinetické energie přitékající odpadní vody a zajištění rovnoměrného rozdělení přítoku nad usazovacím prostorem či lamelovým blokem. Doba zdržení při maximálním a minimálním průtoku musí být v souladu s požadavky na další následné stupně čištění. Maximální průtok se stanovuje při uvážení případného čerpaného přítoku nebo recirkulace. Celkový objem primární usazovací nádrže se stanovuje dle uvážení EO s maximálním hodinovým bezdeštným přítokem na ČOV.

Horizontálně průtočné usazovací nádrže, obvykle konstrukcí půdorysu obdélník mají jehlancovitou kalovou jímku, která se umísťuje na straně přítoku do nádrže. Hloubka vody u odtoku musí být minimálně 1,5 m, délka nádrže ku šířce je v poměru minimálně 3:1 a vzdálenost hladiny od horní hrany nezakryté nádrže je minimálně 0,3 m. Při maximálním bezdeštném hodinovém přítoku nesmí hodnota zatížení přelivné hrany překročit $30 \frac{m^3}{m.h}$. (9) (6)

Obrázek 6 - Horizontálně průtočná pravoúhlá usazovací nádrž (6)



Obrázek 7 - Usazovací nádrže na ČOV Kolín (autor)



4.1.5. Čištění odpadních vod v biologických nádržích

Biologické nádrže se navrhují jako kaskáda jednotlivých nádrží provozovaných za sebou. První nádrž je usazovací lagunou či anaerobní biologickou nádrží. Ve druhé nádrži probíhají částečně aerobní procesy a odbourání uhlíkatých i dusíkatých látek. Následují nádrže, které slouží k dočištění OV a redukci patogenních mikroorganismů za pomoci slunečního záření. Provzdušňované stabilizační nádrže se skládají nejméně ze dvou nádrží: první s umělým provzdušňováním za pomoci technického zařízení, druhá

slouží jako usazovací laguna. U větších ČOV se využívá biologických dočišťovacích nádrží k odbourání nerozpuštěných látek v OV. V případě přetěžování biologických nádrží lze kombinovat u malých ČOV s biologickými nádržemi i pro potřeby dočištění OV. Kde se mohou vyskytovat problémy s pachy, používají se šterbinové nádrže místo anaerobních biologických nádrží. V případě, že se může na ČOV vyskytovat znečištění pachy např. u soustavy biologických nádrží, nádrže se umísťují nejméně 200 m od obytné zóny s uvážením povětrnostních podmínek směrem k obydlí. Nádrže musí být přístupné pro mechanizaci a údržbu. Pro nepovolané osoby musí být zajištěno např. oplocení pro nemožnost přístupu k lagunám. Všechny zemní nádrže je nutno navrhovat s naplněním vodou do maximální hladiny. Minimální hloubka vody v nádržích s biologickým čištěním je 1 m pro zajištění sedimentace pevných látek a s přihlédnutím množství kalu před jeho vyklizením. Při návrhu lagun je dále nutné uvažovat minimum zkratového proudění vody vhodným tvarem nádrže i uspořádáním vtoku a výtoku, také účinky slunečního záření s uvážením možnosti rozmnožení řas a znečištění recipientu. Zemní laguny se navrhují jako vodotěsné. U nádrží s dobou zdržení menší než 10 dní musí být součinitel propustnosti zeminy při výšce zeminy 0,3 m menší než 10^{-8} m.s⁻¹. U nádrží sloužících k biologickému dočištění odpadních vod musí být součinitel propustnosti menší než 10^{-7} m.s⁻¹. Pro zajištění vodotěsnosti zhutněním se provádí nejméně 3 zkoušky před uvedením nádrže do provozu. U použití syntetických fólií musí být tloušťka fólie min. 3 mm a musí být odolná vůči UV záření. Vodotěsnost lze zajistit pomocí jílu s min. tloušťkou 0,3 m a sklon břehu nesmí být větší než 1:3. Standardní sklon břehu ostatních nádrží nesmí být větší než 1:2. Břehy mají být chráněny proti půdní erozi a je-li přípustné vlnobití v laguně, je nutné zvláště ochránit břehy 0,3 m nad i pod hladinou. Stavební objekty i potrubní systémy biologických nádrží jsou navrhovány tak, aby zadržely maximum plovoucích látek. U všech nádrží se navrhuje obtok a je nutné zajistit možný odběr ze všech míst lagun i obtoků vč. měření průtoku. (10) (6)

Na ČOV v Kolíně je biologickou nádrží anaerobní nádrž pro odbourání fosforu. Pohled na anaerobní nádrž na ČOV Kolín je na obrázku 8.

Obrázek 8 - Anaerobní nádrž ČOV Kolín (autor)



4.1.6. Aktivace

Aktivační proces v ČOV je tvořen spojením aktivačních nádrží (AN) s dosazovacími nádržemi s recirkulací aktivovaného kalu. Obě činnosti: biologické čištění a usazování; může probíhat v jedné nádrži. Jedná se např. o aktivační systém s přerušovanou činností tzv. SBR (Sequencing Batch Reactor). Výhodou systému SBR je kompaktnost a snadná změna poměru trvání anoxické i oxické fáze čištění. Při návrhu čištění za pomoci aktivovaného kalu je nutné brát v úvahu tyto faktory: kapacita a rozměry AN, zamezení tvorby tzv. mrtvých koutů a usazenin v nádržích i žlabech, které mohou negativně působit na proces čištění, zřízení více čistírenských linek nebo dalších opatření, které zajistí požadovanou jakost vody na odtoku z ČOV v případě výpadku z provozu některých objektů nebo dalších linek, provzdušňovací i míchací zařízení, plocha hladiny, objem a hloubka dosazovacích nádrží, zařízení k odstraňování kalů, recirkulaci vráceného aktivovaného kalu a odstraňování přebytečného aktivovaného kalu, čištění a finální odstranění vyprodukovaného kalu, měření a regulace, minimální celkové ztráty systému. Stavební objekty musí umožňovat úplné vyprázdnění, které může probíhat gravitačně nebo přečerpáním. Je vhodné volit dno v mírném sklonu k nejnižšímu

místu nádrže. V případě využití čerpadel je nejnižším místem čerpací jímka, do které se čerpadlo osazuje.

Aktivační nádrže jejich počet, tvar i kapacita závisí na celkové velikosti ČOV dle počtu EO. Návrh závisí na požadovaném stupni vyčištění, kterého se chce dosáhnout. Návrh z hlediska hydrauliky musí omezovat zkratové proudění. Druh proudění závisí dle zvoleného čistícího procesu. Pokud OV přitéká z více míst, navrhuje se technologické zařízení např. šoupata, stavidla, hranidla, která umožní rozdělení přítoků. Pokud je v návrhu počítáno s možností odstavení ČOV nebo jejich sekcí pro případ údržby, navrhují se ostatní provozované sekce AN na kapacitu celkového přívodu. Selektor eliminuje tvorbu vláknitých bakterií v místě kontaktu OV a vráceného aktivovaného kalu, podporuje také růst vločkovacích bakterií. Pokud se OV a aktivovaný kal čerpají přerušovaně, musí být přiváděny současně.

Na ČOV v Kolíně je systém denitrifikačních nádrží pro odbourání dusičnanů a nitrifikační nádrže pro odbourání amoniakálních látek. Pohled na aktivační nádrže je na obrázku 9.

Obrázek 9 – Aktivace - denitrifikační a nitrifikační nádrže (autor)



K **míchání** se používají samostatná míchací zařízení s povrchovým nebo hydraulickým aerátorem případně speciální míchací zařízení nebo jejich kombinace. Pokud neprobíhá provzdušňování kontinuálně, musí mít míchací zařízení dostatečný výkon k udržení

aktivovaného kalu ve vznosu. K provzdušnění slouží aerátory, které pokud pracují samostatně bez dodatečných míchacích zařízení, musí mít dostatečný výkon pro intenzivní promíchávání aktivovaného kalu a znečišťujících látek. Provzdušňovací zařízení musí mít dostatečnou kapacitu dodávky vzduchu pro zajištění dostatečné oxidace sloučenin uhlíku a dusíku v OV. Pokud mohou nastat v procesu čištění velké výkyvy ve spotřebě kyslíku, je nutné umožňovat regulaci dodávky kyslíku, to určuje základní oxygenační kapacita s minimální a maximální spotřebou kyslíku. Areace může být řízena dle měřícího zařízení on-line, případně stanovena v časových intervalech a intenzity. V případě použití čistého kyslíku pro areaci, je nutné zajistit všechna nezbytná bezpečnostní opatření, osadit signalizační varovné zařízení pro výbušné plyny a veškerá technologická zařízení dodat v nevýbušném provedení a osadit bezpečnostní označení. Pro snížení hluku a tlakových ztrát je u pneumatických areačních systémů nutné omezovat rychlost proudění vzduchu. Pro bezpečnost systému je nutné také brát v úvahu zahřívání vzduchového potrubí. Stěny nádrže do hladiny nad 0,3 m nad hladinou a případné víko nádrže při nutnosti nádrže zakrýt, musí být opatřeny ochranou pro agresivní prostředí. Omezení agresivity atmosféry je docíleno mechanickým nuceným větráním a pro bezpečí obsluhy se osazuje větrání krytem.

Dosazovací nádrže DN zajišťují separaci aktivovaného kalu z OV, vykazují zahušťovací kalovou zónu k odtahování vráceného aktivovaného kalu. Jakost odtoku vody z ČOV určuje účinnost separace vráceného kalu. Jsou svislého nebo vodorovného průtoku a mohou být provedeny s lamelovou vestavbou. U systému SBR s přerušovanou činností se nevyžaduje systém vráceného aktivovaného kalu. Konstrukci a rozměry DN ovlivňuje parametr maximální přípustné usazovací rychlosti. Velikost usazovací plochy závisí zejména na schopnosti usazování kalu (vyjadřuje kalový index), na koncentraci přitékající směsi aktivačního kalu, jakou jakost má splňovat odtok, také na tvaru a hloubce DN. Nádrž musí být dostatečně hluboká, aby zajišťovala dostatečné zásoby kalu pro hydraulické zatěžovací stavy zdržení kalu a minimálního i maximálního průtočného množství. Nátoková zóna zajišťuje snížení přítokové energie, podpoře flokulace, rovnoměrnému rozložení přítoku a odplynění. Usazovací zóna musí zajistit dostatečnou hloubku i plochu pro sedimentaci aktivovaného kalu, aby bylo co nejvíce minimalizováno zkratové proudění. Odtoková zóna musí zajišťovat rovnoměrný a pomalý odtok vyčištěné OV z usazovací zóny, zachycení plovoucích látek a minimální únik kalu. Zahušťování a akumulace kalu probíhá v zahušťovací a akumulační zóně. Zařízení pro akumulaci a

odtah kalu se navrhuje se stěnami pod úhlem 50° pro nádrže kuželovitého tvaru a 60° pro nádrže jehlancovitého tvaru. U malých DN je zajišťováno zahušťování po hladkých stěnách s těmito úhly gravitačně. Odtahovací zařízení musí zajistit rychlé sbírání kalu při udržení požadované koncentrace aktivovaného kalu a zabránění anaerobních podmínek. Navrhují se také zařízení ke sbírání a odstranění plovoucího kalu a látek.

Na ČOV v Kolíně jsou dvě dosazovací nádrže pro každou linku jedna, ze kterých je dosazený kal čerpán do regenerační nádoby pro obnovení biologických procesů a vrácen zpět jako aktivovaný kal do anaerobní nádrže. DN na ČOV Kolín je na obrázku 10.

Obrázek 10 - Dosazovací nádrž ČOV Kolín (autor)



Recirkulace vraceného kalu se využívá k dopravě kalu z dosazovacích nádrží do aktivačních nádrží. Kal může být dopravován odstředivými, objemovými, axiálními čerpadly či jiným systémem s možností řízení požadovaného průtoku. V případě vracení kalu do anaerobní a anoxické zóny, musí systém minimalizovat provzdušnění kalu. Systém musí být zajištěn reverzními systémem – u malých ČOV se jedná o přenosná čerpadla. Přebytečný aktivovaný kal je ze systému odtahován pro udržení požadované koncentrace v aktivační nádrži. (6) (11)

Tabulka 3: Návrhové hodnoty pro aktivační procesy (11)

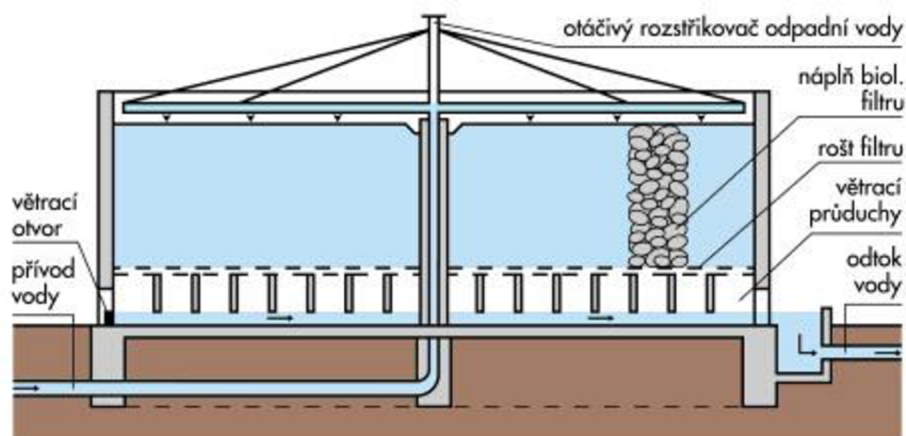
Požadované čištění	Druh aktivace	Zatížení kalu kg/(kg.d)	Koncentrace aktivovaného kalu g/l	Aerobní stáří kalu d
Částečné čištění	vysoko zatěžovaná	2,0 : 1,0	1,5 až 2,0	do 1
Oxidace sloučenin obsahujících uhlík a)	středně zatěžovaná	0,25 až 0,50	2,0 až 3,0	2 až 4
Nitrifikace a)	nízko zatěžovaná	0,10 až 0,15	3,0 až 5,0	7 až 12 c)
Nitrifikace b) a denitrifikace a) b)	s odstraňováním dusíku	0,07 až 0,09	3,0 až 5,0	12 až 15 c)
Aerobní stabilizace kalu a) b)	s prodlouženou aerací	0,04 až 0,07	3,0 až 5,0	15 až 30 c)
a)	Odstraňování fosforu (fosforečnanů) vyžaduje anaerobní dobu kontaktu 0,5 h až 2,0 h a/nebo odpovídající dávkování srážedla.			
b)	Odstraňování dusíku vyžaduje anoxickou sekci velikosti 1/5 až 1/2 objemu aktivační nádrže.			
c)	Hodnoty platí pro teploty vyšší než 10 °C.			

4.1.7. Biofilmové reaktory

Biofilmové reaktory se používají k čištění odpadních vod těchto druhů: primárně vyčištěné odpadní vody, OV předčištěné na jemných česlích nebo sítích, OV vyčištěné v druhém stupni čištění. K procesům biofilmových reaktorů se používá tzv. nosič, který podporuje nárůst vrstvy mikroorganismů tzv. biologického povlaku zvaného také biofilm. Tento biofilm vytváří vločky a biologicky rozkládá rozpustné koloidní i nerozpuštěné látky v OV. Tyto procesy mohou probíhat za aerobních nebo zároveň při anaerobních podmínek a zajišťují těsný kontaktu přitékající OV s biofilmem. Tyto nerozpuštěné látky v OV mají být odstraněny před odtokem vyčištěných odpadních vod do vodovodního recipientu. Pokud budou použity pomalé biologické filtry, bude docházet k zadržení nerozpuštěných látek v reaktorech. Mezi biofilmové reaktory patří biofiltry, rotační filmové reaktory, biofilmové reaktory s ponořenou náplní a pomalé biologické filtry.

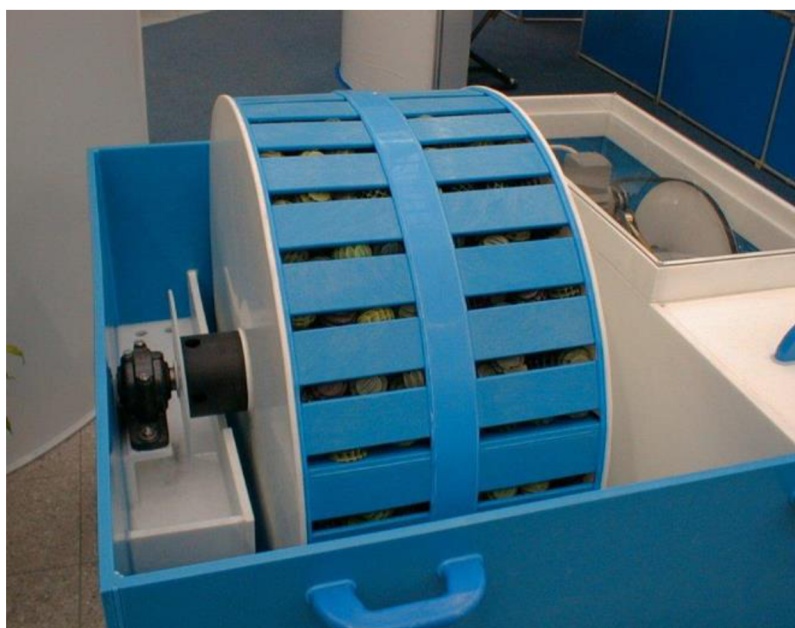
Biologické filtry: v tomto reaktoru je OV rozstříkována nad povrchem biologického filtru, protéká dolů vrstvou náplně, kde se dostává do styku s biofilmem, který narůstá na povrchu elementů náplně. Vrstva náplně musí obsahovat průběžně otevřené prostory mezi elementy, aby bylo umožněno nucené nebo přirozené větrání. Podmínky musí být zvoleny tak, aby umožňovaly růst větších pasoucích se organismů protozoa a bezobratlých. Vypouštěné OV jsou vedeny přes DN umístěné za biologickým filtrem.

Obrázek 11 Schéma biologického filtru (12)



Rotační biofilmové reaktory: tyto reaktory jsou sestaveny z disků či bloků náplně upevněných na rotujících hřídelích s částečným ponorem do čišťené OV. Tím, jak disky rotují a biofilm, který vzniká na povrchu náplně, přichází do styku s OV a vzduchem, čímž dochází k čištění. Rotační ponořené filtry mohou být kombinovány jako kompaktní balené čistírny, které sdružují primární i sekundární usazovací zóny. Čistírna musí být navržena tak, aby kal odtékal k snadno přístupným místům za účelem jeho odstranění. Rotační biofilmové reaktory jsou děleny na rotační diskové reaktory (RDR) a rotační klecové reaktory (RKR). U RDR jsou nosičem biofilmu disky z plastu, které jsou umístěné na společné hřídeli pomalu rotující ve žlabu, kterým protéká čištěná voda. U RKR je namísto paketu disku klec naplněna sypanou náplní do biofiltrů. Rotační biofilmové reaktory jsou vhodné pro malé a domovní ČOV.

Obrázek 12 Rotační klecový biofilmový reaktor (13)



Provoz biofilmových reaktorů je možný dvěma způsoby: jednostupňovým a dvoustupňovým čištěním. V případě jednostupňového je OV vedena přes jeden reaktor a jednu navazující DN. U dvoustupňového je OV vedena přes dva reaktory řazené za sebou a dvěma nebo jednou DN řazenou za druhý reaktor. U dvoustupňové filtrace je vhodné volit střídavě přítok do jednoho a druhého reaktoru, čímž lze docílit vyššího možného zatížení a eliminuje se nadměrný nános biofilmu v prvním reaktoru a biofilm je rovnoměrně rozdělen v obou reaktorech.

V biologických reaktorech lze docílit těchto čistících procesů: oxidace organického uhlíku, nitrifikace, denitrifikace, odstraňování fosforu. Denitrifikace je obvykle prováděna ve dvoustupňovém systému. První stupeň je využit pro denitrifikaci a ve druhém stupni dochází ke snížení BSK a k nitrifikaci. Díky recirkulaci lze docílit: rozředění přítoku OV a omezení nepřiměřeného nárůstu biofilmu, zvýšení povrchového hydraulického zatížení a zlepšení účinnosti smáčení v biologických filtrech a prorůstání biofilmu z horních vrstev náplně do spodních, přiměřené intenzity skrápění.

Nosiče biofilmu musí mít co největší plochu, proto se volí často členitá a musí umožňovat odstranění přebytečného biofilmu a nesmí omezovat proudění OV a vzduchu skrz náplň. Náplně mohou být tvořeny z drceného kameniva, z plastových těles pravidelných tvarů a velikostí, moduly z plastových desek či trubek s nízkou hmotností a objemově 90 % dutinami. Zároveň náplně musí být tvrdé a odolné proti počasí a UV záření, mít schopnost udržet biofilm na povrchu, být trvalé a odolné proti chemicky agresivním složkám OV a nesmí být biologicky odbouratelné. (14)

4.1.8. Kalové hospodářství

V procesu čištění OV je kal hlavním složkou znečištění a nevyhnutelným odpadem, ke kterému je nutné přihlížet. Kaly představují přibližně 1 až 2 % z celkového objemu čištěné OV a koncentruje se v nich 50 až 80 % celkového znečištění. Provozní náklady na kalové hospodářství představují více jak polovinu z celkových provozních nákladů a jsou tak významným prvkem v celém procesu čištění OV. Celkové množství kalu závisí na počtu EO a na technologickém postupu čištění a zpracování, mezi které patří zahušťování kalů, desintegrace, stabilizace, odvodňování, desinfekce, sušení atpod. Na obrázku 13 je znázorněno základní schéma kalového hospodářství na ČOV s bioplynovým hospodářstvím. OV přitéká do primární usazovací nádrže, kde dochází

zpracovaném stavu a zabránit jeho přelití. Při návrhu musí být brány v úvahu všechny předvídatelné podmínky, při kterých může dojít k vylití kalu.

K **zahušťování kalu** lze využít gravitačního zahušťování při aktivaci kalu, jak je popsáno v 4.1.6 Aktivace. Dále lze kal zahušťovat strojně pomocí rotačních a pásových zahušťovačů nebo odstředivek. Důležitým faktorem je doba zdržení kalu, neměla by přesáhnout dobu jednoho dne, kdy může docházet k anaerobnímu rozkladu, při kterém jsou uvolňovány emise pachů. Přebytečný nebo vyplavený kal z biofilmových reaktorů může být zahušťován pomocí tlakové flotace.

Na ČOV v Kolíně je k zahušťování primárního kalu využíváno sítopásových lisů. Sítopásové lisy jsou na obrázku 14.

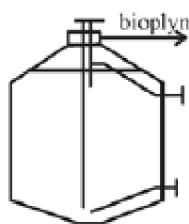
Obrázek 14 - Sítopásové lisy na ČOV Kolín (autor)



Hygienizace kalu se provádí chemicky nebo tepelně před nebo během procesu stabilizace kalu. Metody hygienizace kalu jsou: termofilní aerobní stabilizace, zahřívání a vysoušení, termofilní anaerobní i aerobní stabilizace jako předčištění před mezofilní anaerobní stabilizací, kompostování, vápnem, mezofilní anaerobní stabilizace s dlouhodobým skladováním. Stabilizace kalu je využívána k přeměně lehce biologicky rozložitelných organických látek na minerální nebo těžce biologicky rozložitelné látky. Metodou pseudostabilizace za pomoci vápna lze zabránit biologickému rozkladu organických látek a zabránění zmenšení potenciálu pro dlouhodobou produkci bioplynu zejména při ukládání kalů na skládku. Průměrná hodnota sušiny surového kalu je minimálně 4 %.

Anaerobní stabilizace kalu se navrhuje s uvážením nutného stupně stabilizace, provozní teploty a jejího řízení, hydraulickou dobou zdržení, průměrného i maximálního zatížení kalem, jednoho nebo vícestupňového procesu anaerobní stabilizace, produkci bioplynu průměrnou a maximální, uskladňování a využívání bioplynu, limitní hodnoty pro emise bioplynu a pachů i jejich kontrolu, četnosti dávkování kalu, opatření k minimalizaci tvorby kalového stropu a pěny, promíchávání obsahu stabilizační nádrže, potřebnou energii a výkon pro míchání, tepelná izolace, vznik agresivních složek v kalu a bioplynu, protikorozní ochrana vnitřních ploch, které přichází do styku s bioplymem a protikorozní ochranu plynojemů, součet hydrostatického tlaku a maximálního tlaku plynu, oprava a výměna technologických zařízení bez nutnosti vyprazdňovat nádrže, bezpečnostní přelivy nesmí být uzavíratelné uzávěry, pojistné zařízení přetlaku a podtlaku, dávkovací zařízení zásad nebo odpěňovacích činidel. Filtr na bioplyn a měřicí přístroje bioplynu stejně tak odsiřovací jednotka, musí být opatřeny obtokem. Získaný bioplyn má být využíván nebo spalován, nesmí být vypouštěn do ovzduší. V případě vyhřívání anaerobní stabilizace se navrhuje zařízení pro sledování teploty, výšky hladiny kalu, přiváděné množství surového kalu a produkce bioplynu, objemu bioplynu v plynojemech, ztráty tlaku v rozvodu bioplynu. Čidla pro tato měření musí být vyměnitelná bez nutnosti vyprázdnění obsahu nádrže. Stanovení doby zdržení vyplývá z požadavku dodržení potřebné doby pro růst mikroorganismů. Generační doba těchto organismů je 7 – 10 dní. Pro stabilní provoz biologického reaktoru se uvažuje doba minimálně dvojnásobek generační doby. Horní hranice je dána velikostí zatížení kalu a dosažení požadované účinnosti rozkladu. Pro metanizaci kalu v reaktoru se pro urychlení rozkladu organických látek využívá stabilní teploty v rozmezí 35 – 42 °C (jedná se o mezofilní metanizaci). Lze využívat i teplot 55 – 60 °C v tzv. termofilní metanizaci. V ČR je současně využíváno dvou stupňů termofilní metanizace, kdy první stupeň slouží jako anaerobní reaktor a je vyhříván na teplotu 35 °C, zde probíhá proces metanizace. Druhý reaktor slouží jako uskladňovací nádrž, ve které doznívají metanizační pochody a odděluje se kal od kalové vody. Kalová voda je vrácena zpět do AN, stabilizovaný kal se vede dále ke strojnímu odvodnění.

Obrázek 15 - Příklad metanizačního reaktoru tvaru stojaté válcové nádrže (6)



Volba parametru provozu metanizační nádrže při mezofilní nebo termofilní metanizaci má vliv na možné zatížení a rozměry reaktoru. Při návrhu reaktoru je tedy nutné brát v úvahu potřebnou dobu zdržení, zatížení, návrhovou teplotu a výsledný objem reaktoru. Porovnání těchto provozních parametrů znázorňuje tabulka 4.

Tabulka 4 - Základní provozní parametry metanizační nádrže (6)

parametr	rozměr	mezofilní metanizace	termofilní metanizace
teplota	°C	35 - 42	55 - 60
doba zdržení	dny	20 - 30	10 - 15
zatížení	kg.m ⁻³ .d ⁻¹	0.5 - 1.5	2 - 5
pH		6,8 - 7,4	6,4 - 7,8
oxidačně-redukční potenciál	(mV)	-520 do -530	-490 do -550
míchání		přetržité	kontinuální
počet stupňů		1 nebo 2	s výhodou 2

Míchání v anaerobním reaktoru zajišťuje rovnoměrné rozložení teploty v celé směsi, kontakt přivedeného kalu s již aktivní biomasou zabraňuje přetížení reaktoru a zlepšuje odvod zplodin. Nevýhodou míchání jsou zvýšené provozní náklady systému.

V oblastech se suchými klimatickými podmínkami lze pro **odvodnění kalu** zřizovat kalové pole s propustným filtračním materiálem, vrchní vrstva bývá písek. Pokud dojde k chemickému nebo tepelnému kondicionování kalu, lze využít strojního odvodnění kalu na pásových lisech, odstředivkách a komorových filtrech.

Na ČOV v Kolíně je odvodnění aktivovaného kalu zajišťováno na odstředivce. Odstředivka je na obrázku 16.

Obrázek 16 - Odstředivka ČOV Kolín (autor)



Pro skladování tekutého kalu se využívá kalových nádrží nebo lagun. Odvodněný kal se skladuje na zpevněných kalových úložištích nebo v kalových silech. Při návrhu je nutné brát v úvahu, jak velká bude produkce kalu, četnost odběru, období bez odběru kalu, vliv kalové vody na proces čištění OV, emise pachů a bioplyn a s tím spojené nebezpečí výbuchu. Pro silová úložiště odvodněného kalu nebo vysušeného kalu je nutné brát dále v úvahu vodotěsnost podloží, zamezení tvorby klenby, řízení odběru kalu, nebezpečí vzniku požáru a kontrolu teploty při skladování a také nebezpečí výbuchu vlivem prachu nebo bioplynu. (6) (15)

ČOV v Kolíně využívá pro uskladnění stabilizovaného kalu kontejnerů, které jsou každý den odváženy do Čáslavy k zemědělskému využití. Ročně ČOV vyprodukuje zhruba 3,5 tisíc tun stabilizovaného kalu. Uložení stabilizovaného kalu je na obrázku 17.

Obrázek 17 - Úložiště stabilizovaného kalu ČOV Kolín (autor)

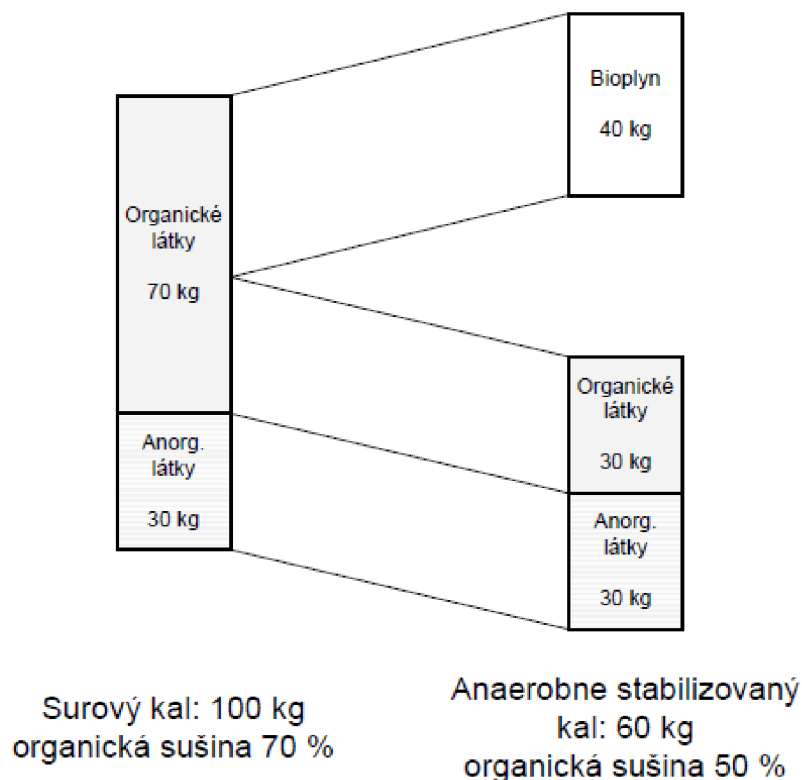


4.2. Bioplyn a jeho produkce

Bioplynem v souvislosti s oborem čistírenství odpadních vod a energetiky rozumíme produkt metanové fermentace, která je souborem na sebe navazujících procesů v první fázi rozkladu organické hmoty začínající často za přítomnosti kyslíku. V čistírenství se využívá anaerobní stabilizace (metanizace). Při procesu metanizace přítomné mikroorganismy rozkládají biologicky rozložitelnou organickou hmotu, v anaerobním procesu probíhá rozklad organické hmoty za nepřístupu vzduchu. Konečnými produkty anaerobní stabilizace je vzniklá biomasa, plyny CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S a nerozložený stabilizovaný zbytek organické hmoty. Anaerobní stabilizace je dokonalým způsobem snížení hmotnosti a objemu kalu a zároveň uvolnění organického uhlíku z kalu v plynné formě CO_2 a CH_4 a vody. V surovém kalu z běžných městských ČOV je poměr organických látek a anorganických přibližně 2:1 a po metanizaci tento poměr klesne na přibližně 1:1. Předpokladem je, že při metanizaci poměr organické sušiny klesne o 45-65 %. Typický surový kal z městské ČOV obsahuje zhruba 5 % sušiny, z toho zhruba 70 % organických látek. Po metanizaci a oddělení kalové vody obsahuje zhruba 7 – 10 % sušiny

z níž činí zhruba 50 % látky organické, tyto hmotnostní změny jsou znázorněny na obrázku 18. (6) (16)

Obrázek 18 - Bilanční schéma metanizace kalu (6)



Je tedy zřejmé, že na objem získaného bioplynu při fermentaci má vliv obsah sušiny v čistírenském kalu. Kaly z městských ČOV obsahují od 0,5 do 7 % sušiny, která je složena z výše uvedených 60 – 70 % organických látek a 30 – 40 % látek anorganických. Množství sušiny jsou rozdílné pro primární kal a aktivovaný kal dle tabulky 5.

Tabulka 5 - Množství sušiny v kalu (17)

Typ kalu	% sušiny
Primární kal	2,5 - 5
Aktivovaný kal	0,5 - 1,5

Bioplyn získaný organickým rozkladem látek má vysoký obsah metanu 60 – 70 %. Výhřevnost bioplynu je 20 – 27,4 MJ.m⁻³. Zvýšení produkce bioplynu lze využít lyzátovací centrifugy pro zahuštění kalu, kdy dochází k destrukci buněk a vytvoření lyzátu. (18)

Obecně pro zvýšení produkce bioplynu je nutné zvýšit podíl organické sušiny v OV.

Obrázek 19 - Metanizační nádrže na ČOV Kolín (autor)



Získaný bioplyn je po procesu vzniku v reaktoru zatížen nadměrnou vlhkostí, která může být problém pro další využití ve strojním zařízení díky kondenzaci vody a zkracováním životnosti strojních součástí. Nasycený bioplyn kondenzuje jak při snížení jeho teploty, tak při zvýšení tlaku v zásobníku. Pro nepříliš hluboké vysoušení bioplynu lze využít principu tepelného čerpadla, kdy je plyn nejprve ochlazen, zkondenzovaná voda je odvedena a následně je za použití odpadního tepla tepelného čerpadla teplota plynu znovu zvýšena. Tímto procesem je docíleno vzdálení bioplynu od rosného bodu.

Sušení bioplynu lze dále kombinovat s další úpravou např. zvýšením obsahu metanu. Tato úprava se využívá zejména k záměně bioplynu se zemním plynem v případech, kdy je bioplyn předáván do plynové distribuční soustavy. Zvýšení obsahu metanu v bioplynu probíhá propíráním CO_2 nebo jeho oddělování přes membránu. Takto upravený bioplyn se nazývá náhradní zemní plyn (SNG). (16)

4.2.1. Využití bioplynu

Bioplyn lze využívat ke spalování na plynových hořácích, v plynových kotlích, kogeneračních jednotkách s KVET, využít k výrobě vodíku pro palivový článěk či za pomoci přečištění a zbavení vlhkosti dodat do plynové distribuční soustavy.

U ČOV v Kolíně je vybudován plynojem o celkovém objemu 570 m³ bioplynu. Prostor vyhřívacích komor a prostor plynojemu je udržován na konstantním tlaku 2,1 barů za pomoci kompresoru. Plynojem na ČOV v Kolíně je na obrázku 20.

Obrázek 20 - Plynojem na ČOV v Kolíně (autor)



4.2.2. Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotka je soustava plynového motoru resp. turbíny s elektrickým generátorem a kondenzační jednotkou spalin, ve které dochází ke kombinované výrobě elektřiny a tepla zkr. KVET. U kogeneračních jednotek lze dosáhnout účinnosti až 90 % a celková energie přeměněná z bioplynu je rozdělena z 30 % na elektrickou energii, která je udávána v jednotce kWh_e a ze 60 % na tepelnou energii udávanou v jednotce kWh_t. U kogenerační jednotky lze hrubým odhadem stanovit potřeba na výrobu 1 kWh_e a 1,27 kWh_t 5 – 7 kg odpadní biomasy nebo 4 – 7 m³ tekutých komunálních odpadů. (19)

Na ČOV v Kolíně je instalována kogenerační jednotka o výkonu 110 kW, která je na obrázku 21.

Obrázek 21 - Kogenerační jednotka na ČOV Kolín (autor)



4.3. Recyklace vody

Zpětné využití přečištěné vody z ČOV nemá v České republice tradici a v posledních letech se ukazuje trend i chuť toto odvětví změnit a inspirovat se v zahraničí v oblastech omezených zdrojů vody, kde recirkulace vody je nepostradatelnou. Příkladem je město Windhoek v Namibii, kde již v roce 1968 vybudovali zařízení na recyklaci OV. Je to tak první místo na světě, kde se z OV vyrábí pitná voda.

Obrázek 22 - Pohled na ČOV s recyklací vody na vodu pitnou v Namibii (20)

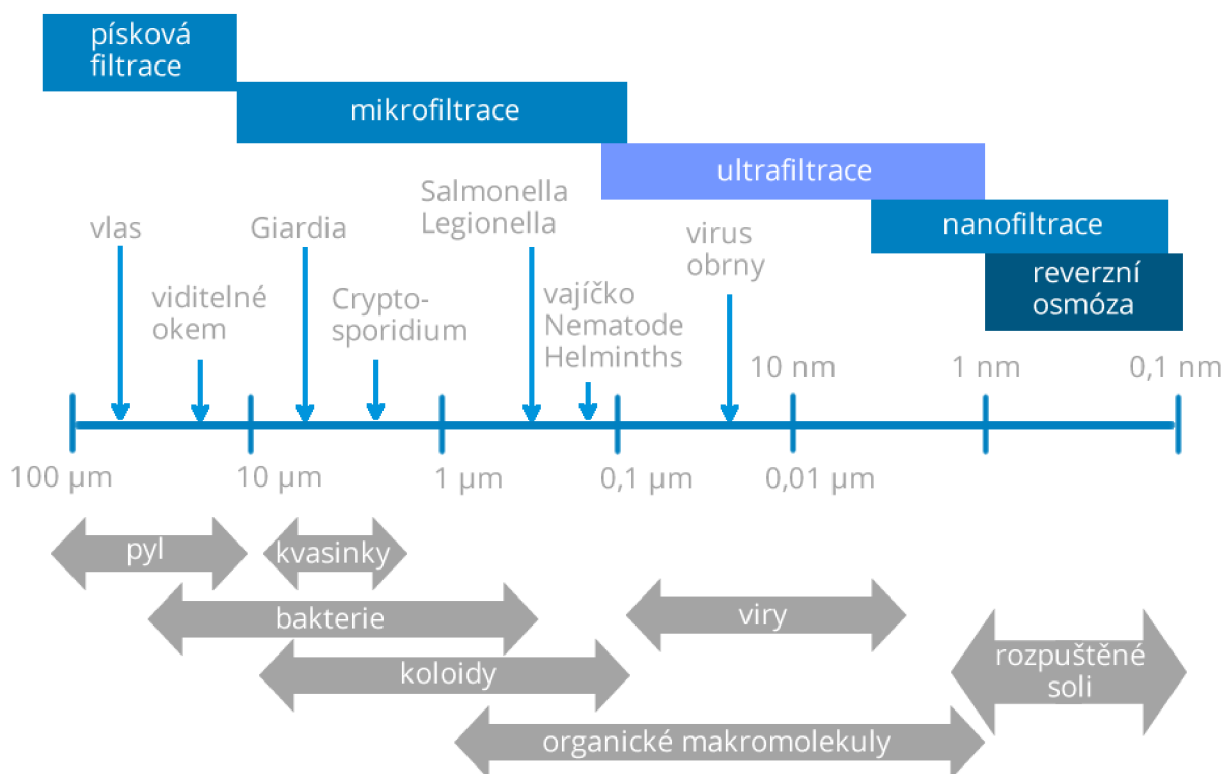


V České republice proběhl v roce 2019 experiment na veletrhu Vodovody a kanalizace, na kterém návštěvníci měli možnost ochutnat první pivo s názvem ERKO vyrobené čistě z recyklované vody z několika stupňové filtrace. Ke zpětnému využívání vody začíná směřovat svou pozornost i Evropská unie. Na jednání rady pro životní prostředí se 26.6.2019 ministři členských států dohodli na společné pozici k návrhu nařízení o minimálních požadavcích pro zpětné využití vody v zemědělství. Tehdejší náměstek ministra životního prostředí Vladislav Smrž uvedl: „ČR s využitím recyklované odpadní vody na závlahu zemědělských plodin zatím nemá zkušenosti. I proto bychom s dávkou předběžné opatrnosti především kvůli hygieně a ochraně zdraví uvítali, kdyby se minimální požadavky nastavily ještě přísněji a použití vyčištěné odpadní vody na zavlažování v zemědělství mělo své jasné limity. ČR nakonec podpořila kompromisní návrh, který má podporu naprosté většiny států. Klademe však důraz na to, aby byly minimální požadavky výhledově posouzeny a v závislosti na vědeckém poznání případně zpřísněny.“ (21) (22)

4.3.1. Filtrace a reverzní osmóza

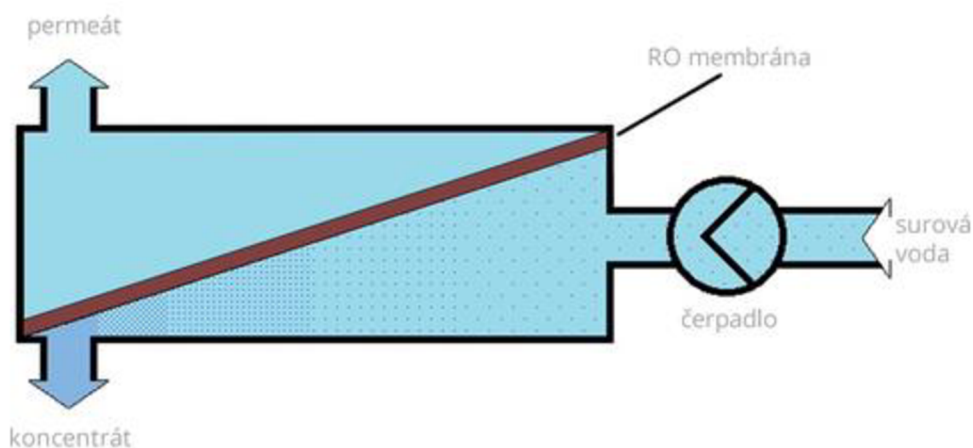
Filtrace vody je způsob mechanického odstranění nečistot z vody. Dle velikosti odstraněných nečistot je mechanická filtrace řazena ve směru průtoku od hrubé filtrace k jemné filtraci. Lze tak využívat např. několikastupňové filtrace, která zajistí delší životnost filtrů a sníží tak provozní náklady filtrace. Velikosti a druhy znečištění a jednotlivé typy filtrace jsou znázorněny na obrázku 23. Nejúčinnějším stupněm filtrace je reverzní osmóza, jejíž název je odvozen od stejnojmenného děje osmózy, který probíhá v buňkách živých organismů.

Obrázek 23 - Druhy znečištění vody a druhy filtrace (23)



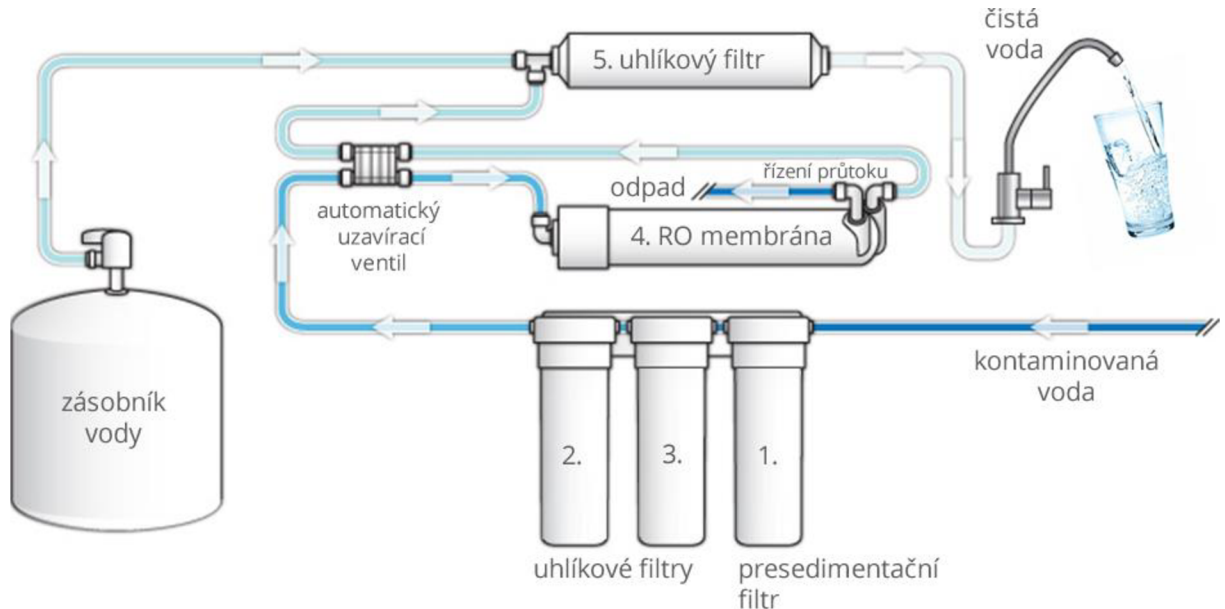
RO obsahuje membránu, která nepropustí rozpuštěné látky skrz a odděluje tak čistou vodu s vodou s rozpuštěnými látkami a soli. Stejně tak jako v buňce organismu by přes membránu procházela čistá voda a mísila se s vodou, která nese rozpuštěné látky a soli, proto je nutné surovou znečištěnou vodu do RO vhnět čerpadlem přetlakem proti membráně a mohl děj probíhat opačně než v buňce organismu – odtud vznikl název reverzní. Proud tlačené vody je membránou rozdělen na zahuštěný koncentrát, který je nutné odvést do odpadu, a na permeát za membránou, tedy čistou vodu. Schéma je znázorněno na obrázku 24.

Obrázek 24 - Schéma principu RO (23)



RO je dále doplňována více stupni filtrace za pomoci uhlíkových filtrů, jak je znázorněno na obrázku 25. (23)

Obrázek 25- Příklad pětistupňové RO (23)



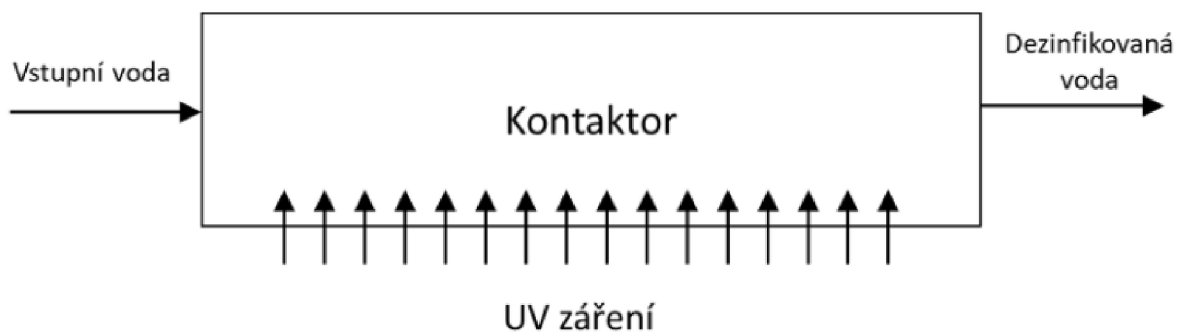
1. presedimentační filtr, 2. první uhlíkový filtr, 3. druhý uhlíkový filtr, 4. RO membrána, 5. třetí uhlíkový filtr.

4.3.2. Dezinfekce vody

Dezinfekci vody lze provádět chemicky nebo fyzikálně. Mezi chemické metody patří např. dezinfekce Chlornanem sodným nebo plynným chlorem či ozonizace. K fyzikálním dezinfekcím patří využití vysoké teploty nad 70 °C tzv. termická dezinfekce, té se využívá např. v systému TUV, kde se provádí periodicky navyšování teploty nad 70 °C, při které hynou koloidní bakterie např. Legionella. Vhodnou fyzikální dezinfekcí je UV-C záření o vlnové délce < 280 nm, při kterém nedochází k produkci toxických produktů. Nutné je zajistit velkou styčnou plochu mezi UV lampami a upravovanou vodou. Výsledné dezinfekce lze dosáhnout méně než 2 KTJ.100 ml⁻¹ (koliformní bakterie). Účinek je přímo ovlivněn počtem nerozpuštěných látek v dezinfikované vodě, proto je UV-C dezinfekce vhodná zařadit za membránovou filtraci. Obecně lze stanovit, že UV-C filtrací lze snížit výskyt bakterií o 7 řádů. UV-C Dezinfekce je energeticky náročnější, lze počítat 0,01 – 0,05 kWh.m⁻³ dezinfikované vody, avšak vhodnější i méně energeticky náročná oproti termické dezinfekci pro úpravu vody, pro

jejíž další využití nejsou vyžadovány vyšší teploty. Schéma dezinfekce UV zářením je zobrazen na obrázku 26. (24)

Obrázek 26 - Schéma UV dezinfekce vody (24)



4.3.3. Mineralizace vody

Voda zbavená většiny rozpuštěných látek za pomoci různých stupňů filtrace a RO ještě není vhodná k pití. Voda je dostačující pro využití jako užitková voda na splachování, sprchování, mytí nádobí případně i vaření. K pití a pro lidský organismus vhodná není a při dlouhodobém užívání může mít nežádoucí důsledky. Dlouhodobé užívání takové vody vykazuje zvýšení příjmu a vylučování tekutin zadržovaných v těle. Při větším množství vypití demineralizované vody může dojít v těle člověka k hyponatremickému šoku z nedostatku sodíku. Po takovém šoku dochází ke kolapsu, zmatenosti, dezorientaci případně i zvracení, křečím a otoku mozku. (23)

Voda vhodná k dlouhodobému příjmu lidským organismem musí splňovat optimální množství rozpuštěných látek od 200 do 500 mg.l⁻¹ (některé studie uvádějí rozmezí 300 – 600 mg.l⁻¹). Minimální obsah těchto látek je stanoven na 150 mg.l⁻¹. Maximální mez je stanovena na 1000 mg.l⁻¹ a nad touto mezí hovoříme o vodách minerálních, které nejsou pro dlouhodobé užívání také nevhodné a doporučují se konzumovat v menším množství a menších intervalech. Vyšší konzumace minerálních vod způsobuje nadměrné zatěžování ledvin. (25)

Dle platné české legislativy jsou vyžadovány u pitné vody hodnoty minimálně 30 mg.l⁻¹ vápníku a 10 mg.l⁻¹ hořčíku, jiné spodní hodnoty nejsou legislativou stanoveny. Vhodné je do vody dále přidávat draslík, který zajišťuje v organismu správnou funkčnost svalů a pravidelný srdeční rytmus. Slouží také proti únavě organismu a optimální krevní tlak. (23)

5. Vlastní práce

5.1. Úvod

Předmětem práce je technickoekonomické posouzení zpracování a využití odpadních vod v konkrétním bytovém domě na adresách Na Cihelně 1333-1335 v Českém Brodě. Vstupními předpoklady je současný stav objektu z hlediska vodního a kalového hospodářství, energetických bilancí a ekonomického provozu. Cílem práce je posoudit možnosti využití odpadní vody na recyklaci a zpětnou spotřebu objektu, eliminovat tak spotřebu vody z vodovodního řádu a dále kalové hospodářství využít na energetické účely. Posouzení je provedeno z technického hlediska prostorového uspořádání, legislativních omezení a fyzikálně-chemických procesů a z ekonomického hlediska provozních parametrů. Práce může být podkladem pro další stupeň projektové přípravy některého z diskutovaných technologických zařízení, které jsou v práci obsaženy.

Předmětem práce je zejména:

- Analýza stávajících bilancí spotřeby vody a tepelné energie bytového domu Na Cihelně 1333-1335 v Českém Brodě a bilance produkce OV.
- Popis stávajících nebytových a bytových prostor, jejich stávající využití a vybavenost.
- Popis technologie ČOV a její umístění v prostorách předmětného domu s kalovým hospodářstvím a metanizací kalu.
- Popis technologie na zpracování bioplynu a vytápění objektu.
- Popis technologie pro recyklaci vody v objektu.
- Teoretický výpočet energetického hospodářství a vodního hospodářství navržené technologie v objektu.
- Ekonomický model zahrnující odhadované investiční náklady a provozní náklady s návratností investice.
- Zhodnocení teoretických úvah a výpočtů.

Předmětem práce není:

- Projektová dokumentace pro stavební povolení technologického zařízení a stavebních úprav.
- Projektová dokumentace pro provedení stavby.
- Statické výpočty stavebních částí objektu ovlivněné navrženou technologií.

- Žádosti a vyjádření dotčených orgánů státní správy a správců inženýrských sítí, zejména provozovatelů plynové a elektrické distribuční soustavy a provozovatele vodovodů a kanalizací.

(autor)

5.2. Výchozí podmínky řešení

Objekt je bytový dům na pozemku parcelní číslo 1943 v katastrálním území Český Brod vystavěný v roce 1988 bytovým družstvem SBD Kolín. V současné době je vlastníkem bytového domu společenství vlastníků bytových jednotek společně s bytovým družstvem Kolín, které v současné době vlastní podíl 26,9 %. (26) Objekt má osm nadzemních podlaží a jedno podzemní podlaží – suterén. Stavební části objektu jsou zhotoveny ze železobetonových panelů, východní stěna bytů s lodžii je vyzděna armovaným lehčeným betonem tzv. pórobetonem. Bytový dům má tři samostatné vchody do 1. nadzemního podlaží, které je situováno zhruba 1,8 m nad okolním terénem a tři samostatné vchody do suterénu s bezbariérovým vstupem situovaný zhruba 2 m pod úrovní terénu. Suterénem jsou jednotlivé vchody propojeny. Na každém nadzemním podlaží jsou tři bytové jednotky z toho dvě velké bytové jednotky třípokojové a jedna jednotka jednopokojová tzv. garsoniéra. Celkem je v objektu 72 bytů z toho 24 garsoniér a 48 třípokojových bytů.

Obrázek 27 - Pohled na bytový dům (autor)



5.2.1. Vstupní bilance

Obyvatelé: V objektu je aktuálně hlášeno 162 obyvatel. To odpovídá průměrné obsazenosti z celkového počtu 72 bytů 2,25 osob.byt⁻¹.

Vodovod a kanalizace: Objekt je napojen na vodovodní a kanalizační řád společnosti I. SČV, a.s. Vlastní rozvody ZTI jsou ve vlastnictví bytového domu a jako rozhraní pro předávání slouží tři hlavní vodoměry za stěnou pláště budovy každý v suterénu daného vchodu. OV je odváděna z objektu v odpadní trubce gravitačně do městské kanalizace.

V tabulce 6 je zobrazen průběh ceny vodného a stočného v posledních dvou letech a předpis na rok aktuální.

Tabulka 6 - Přehled cen vodného a stočného I.SČV. (autor)

Rok	Vodné [Kč.m ⁻³]	Stočné [Kč.m ⁻³]	Celkem [Kč.m ⁻³]
2020	48,12	53,96	102,08
2021	52,5	55,43	107,93
2022	49,8	54,97	104,77

Celková spotřeba vody v objektu byla přepočtena z celkových částek úhrad spotřeby vody z roční účetní uzávěrky bytového domu za roky 2019 a 2020. K výpočtu byly použity ceny vodného a stočného dle tabulky 6 a vypočtené hodnoty společně s vyčtenými cenami vody jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 - Cena vodného a stočného v letech a přepočtená spotřeba (autor)

Rok	SV pro ohřev TUV [Kč.rok ⁻¹]	vodné, stočné [Kč.rok ⁻¹]	Celková spotřeba TUV [m ³]	Celková spotřeba SV [m ³]	Celková spotřeba vody [m ³]
2019	144 271 Kč	222 703 Kč	1478	2282	3760
2020	147 901 Kč	228 518 Kč	1449	2239	3687

Spotřebu objektu lze rozdělit dle jednotlivých činností na splachování, osobní hygienu zahrnující sprchování, praní, úklid, vaření, pití mytí rukou. Poměr spotřeby jednotlivých činností je velmi individuální pro každou osobu a pokud nebude provedeno kontinuální měření u každé osoby zvlášť za určité sledované období, musíme se uchýlit k teoretickému odhadu. Odhad spotřeby vody jedné osoby za vzorový den je uveden v tabulce 8. Průměrně pak lze uvažovat 250 dní v roce této spotřeby.

Tabulka 8 - Odhad spotřeby vody jedné osoby za den dle činností (27)

Činnost spotřeby vody	Průměrné denní spotřeby [l.os. ⁻¹ .den ⁻¹]	Podíl z celkové spotřeby [%]
WC	22	24,7%
Osobní hygiena	30	33,7%
Praní, úklid	13	14,6%
Příprava jídla, mytí nádobí	8	9,0%
Pití	4	4,5%
Mytí rukou	4	4,5%
Zalévání, ostatní	8	9,0%
CELKEM	89	

Vytápění objektu je v současné době zajištěno blokovou plynovou kotelnou v majetku společnosti Energie AG Kolín a.s., která je umístěna v blízkosti bytového domu na adrese 28. října 1257 v Českém Brodě.

Teplo pro ÚT a TUV jsou dopravovány do objektu v předmětu studie předizolovaným potrubím, které do objektu vstupuje v jednom místě v prostředním vchodu přímo do místnosti předávací stanice. Předávací stanice v objektu je vybavena měřičem tepla, který tvoří rozhraní odběru tepla. V místnosti předávací stanice v objektu je na rozdělovači systém ÚT rozdělen do větve ÚT pro vytápění objektu a dále přes výměník ohřivaný přívod SV do malé akumulární nádoby a do rozvodů domu TUV.

Obrázek 28 - Předávací stanice v bytovém domě (autor)



V každém vchodě objektu je zřízeno 5 míst stoupaček ÚT složených z přívodu a zpátečky. TUV je vedena v cirkulující samostatné větvi se SV, které jsou vedeny do

každého bytu ve stoupačce umístěné za místností toalety a koupelny sousedící se stěnou kuchyně. Ceny tepla v jednotlivých letech stanoveny společností Energie AG Kolín a.s. jsou uvedeny v tabulce 9 a byly zjištěny z oznámeních úprav cen tepla pro každý rok.

Tabulka 9 - Cena tepla v jednotlivých letech (autor)

Rok	Cena tepla [Kč.GJ⁻¹]
2019	632,5 Kč
2020	605,0 Kč
2021	605,0 Kč
2022	874,5 Kč

Spotřeba tepla v bytovém domě byla zjištěna z ročního vyúčtování domu a rozdělena na spotřebu pro vytápění objektu systémem ÚT a spotřebu tepla na přípravu TUV. Spotřeby jsou znázorněny v tabulce 10 za roky 2019 a 2020.

Tabulka 10 - Spotřeby tepla bytového domu (autor)

Rok	Spotřeba tepla vytápění [GJ.rok⁻¹]	Spotřeba tepla TUV [GJ.rok⁻¹]	Potřeba tepla celkem [GJ.rok⁻¹]
2019	766,1	484,0	1250,0
2020	750,1	455,9	1206,0

Náklady bytového domu na vytápění byly zjištěny z ročního vyúčtování bytového domu a jsou rozděleny na celkovou cenu roční dodávky tepla pro vytápění domu ÚT a celkovou roční cenu tepla pro přípravu TUV.

Tabulka 11 - Celkové roční náklady tepla ÚT a TUV (autor)

Rok	Dodávka tepla ÚT [Kč.rok⁻¹]	ohřev TUV [Kč.rok⁻¹]	Náklady na teplo celkem [Kč.rok⁻¹]
2019	484 527 Kč	319 972 Kč	804 499 Kč
2020	453 786 Kč	242 363 Kč	696 149 Kč

5.2.2. Stavební části objektu současný stav

Objekt má jedno podzemní podlaží, které je rozděleno na tři samostatné části a vchody. Tyto tři samostatné vchody jsou dále rozděleny do několika místností dle účelu.

Aktuálně využívané místnosti v každém vchodě jsou kolárna a sklepní kóje. V prostředním vchodě č.p. 1334 je dále obsazena místnost správcovny a místnost pro shromáždění vlastníků jednotek. Ostatní místnosti byly využívány jako prádelny, mandlovny, sušárny, které již dnes nemají využití a jsou prázdné.

Bytový dům má celkem osm nadzemních podlaží, na kterých jsou dva třípokojové byty a jede jednopokojový byt garsoniéra. Tato nadzemní podlaží jsou shodná vč. uspořádání stěn bytů. Byty byly jednotlivými vlastníky upravovány a modifikovány dispozičně. Nosné stěny bytů jsou tvořeny pouze obvodovými zdmi, proto je možné dispoziční uspořádání v bytech zaměnit oproti původní stavební dokumentaci.

Střecha domu je tvořena třemi výtahovými šachtami a je pokrytá izolací. Výtahové šachty jsou orientované na západní straně střechy. Odvodnění střechy je svedeno do tří míst střechy, ve kterých jsou vedeny tři dešťové kanalizace do suterénu domu pro každý vchod zvlášť. Dešťová kanalizace je odvedena do městského systému. Satelitní snímek pohledu na střechu je na obrázku 29. Celková plocha střechy je 735 m².

Obrázek 29 - Satelitní snímek střechy bytového domu (28)



5.2.3. Domovní rozvody – současný stav

V současné době jsou veškeré rozvody vedeny horizontálně suterénem do jednotlivých vchodů objektu, odkud jsou dále větveny a vedeny vertikálně do jednotlivých nadzemních podlaží. Rozvody tepla jsou řešeny pro třípokojové byty ve dvou místech u pláště budovy na východní straně do prostor obývacích místností u stěny lodžii a odtud jsou napojeny otopná tělesa pro obývací pokoj a kuchyň. Druhá větev přívodu ÚT a zpátečky je vedena na západní straně domu u obvodu pláště budovy pokoji a napájí také dvě otopná tělesa v obou pokojích. Jednopakojové byty mají jednu společnou větev přívodu a zpátečky ÚT vedenou u východní obvodové stěny budovy a jsou zde napojena dvě otopná tělesa v místnosti každého bytu. V šachtě za toaletou a koupelnou jsou vedeny ostatní rozvody SV, TUV, kanalizace, plynu, vzduchotechniky pro odvětrání koupelny a toalety a vzduchotechniky pro odvod z kuchyní. Elektrické silnoproudé a slaboproudé rozvody jsou řešeny pro všechny byty společně v samostatné stoupačce ve společných prostorách chodby. Na každém nadzemním podlaží jsou umístěny fakturační elektroměry distributora elektrické energie a odtud vedeny přípojky k jednotlivým bytům.

5.3. Návrh technologie

Návrh nové technologie v objektu bytového domu je zaměřen na jednotlivá technologická zařízení pro úpravu a čištění odpadní vody produkované v objektu, recyklaci takto přečištěné vody a energetické využití kalového hospodářství na této ČOV. Systém kalového hospodářství je založen na anaerobní stabilizaci kalu s metanizací a využitím získaného bioplynu k energetickým účelům v kogenerační jednotce s KVET. Návrh zahrnuje plán na odpojení bytového domu od systému centrální dodávky tepla z blokové plynové kotelny a zajištění vlastního systému vytápění z vlastní plynové kotelny obsahující plynové kogenerační jednotky a plynové kotle. Pro zvýšení produkce bioplynu je součástí celého systému návrh instalace drtičů biologicky rozložitelného odpadu z domácností a zvýšení organické sušiny v OV. Dle časopisu odpady vyprodukuje průměrně každý člověk za rok 104 kg běžného kuchyňského biodopadu (29). Celá technologie je uvažována v suterénu bytového domu ve volných prostorách. Část technologie bude instalována v jednotlivých bytech.

5.3.1. Popis návrhu čistírny odpadních vod

ČOV bytového domu bude navrhována na celkem 250 EO. To odpovídá z celkových 72 bytů průměrné obsazenosti bytů 3,47 os.byt⁻¹. Návrh zahrnuje rezervu pro případné výkyvy nebo nárůst počtu osob v domě a také s možností budoucí bytové nástavby na střeše bytového domu a tím rozšíření počtu EO. ČOV je navrhována s mechanickým čištěním OV s česlemi a lapákem písku na přívodu a usazovací nádrží, která bude soužit k vyrovnávání přítoku a prvotnímu usazení primárního kalu. Primární kal bude z usazovací nádrže přes šoupata jímán v jímce kalu a v pravidelných intervalech přes zahušťování na odstředivce dopravován do vyhnivací komory (reaktoru) k metanizaci. OV z usazovací nádrže bude přepadem odvedena do aktivační a DN systému SBR, ve které bude docházet k přerušovanému střídání oxické a anoxické fáze. Dosazený aktivovaný kal v DN je z jímky za pomoci čerpadla přečerpáván zpět do usazovací nádrže a přebytečný kal bude odveden na strojní zahuštění v odstředivce a takto zahuštěný dopraven do vyhnivací komory k metanizaci. Přebytečná voda ze strojního zahuštění je z odstředivky vedena zpět do aktivační a dosazovací nádrže. Z dosazovací nádrže bude odtok veden střídavě do dvou rotačních klecových biofilmových reaktorů k biologickému dočištění. Po biologickém dočištění bude přečištěná voda akumulována v akumulacích nádržích a po jejich úplném naplnění přepadem odtékat do systému městské dešťové kanalizace. Takto akumulovaná přečištěná voda bude dále využita na spotřebu objektu. Na stávající dešťové kanalizaci vedené z odvodnění střechy bytovým domem bude zřízena další akumulace dešťové vody pro využití k recyklaci a dotování nedostatku přečištěné vody na spotřeby vody v objektu.

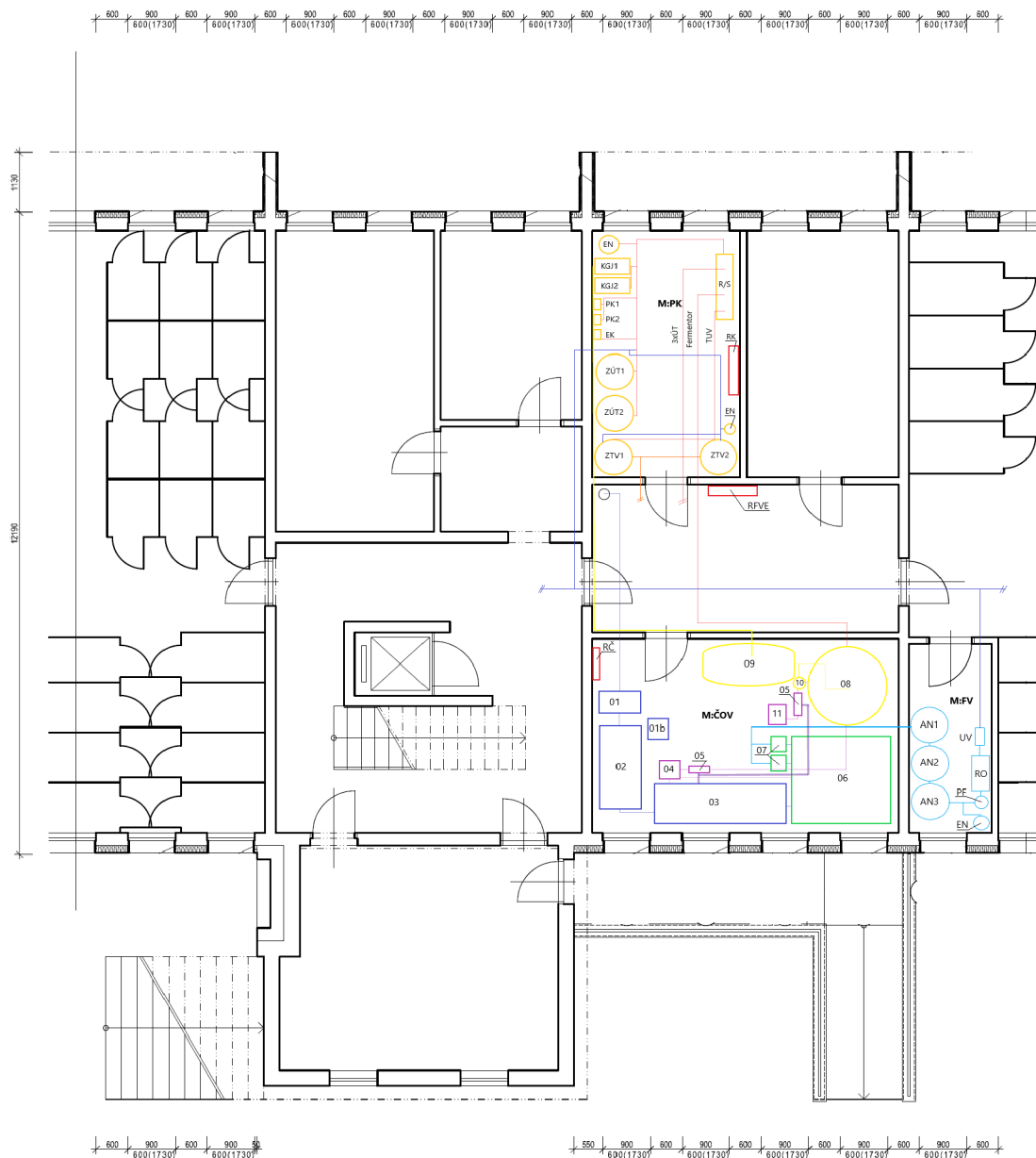
Kalové hospodářství bude řešeno anaerobní stabilizací kalu v metanizační stabilizační nádrži. V tomto reaktoru bude kal zdržen po dobu 25 dní a bude zajištěna mezofilní metanizace za pomoci výměníku tepla, který bude předávat teplo z plynové kotelny do oběhu míchaného kalu. Výměník tepla bude napojen na samostatnou větev z plynové kotelny a bude udržovat konstantní teplotu v reaktoru na 38 - 40 °C. Po uplynutí doby 25 dní bude takto stabilizovaný kal odveden do druhé nádrže, ve kterém bude zdržen po dobu dalších 3 dnů, dozní zde metanizační pochody a následně bude kal odveden do strojního odvodnění na odstředivce a takto odvodněný kal bude uložen do kalových nádob pro odvoz ke zpracování. Přebytečná kalová voda z odstředivky se bude vracet zpět do primárního čištění. Z metanizačního reaktoru bude získaný bioplyn odváděn plynovodním potrubím do akumulací nádoby plynojemu, ve kterém bude uskladněn.

Akumulační nádoba bioplynu bude vhodný textilní vak s kompresorem pro snadnější umístění vně budovy a manipulaci.

Odvětrání veškerých prostor ČOV bude z důvodu bezpečnosti prostředí a možnosti výskytu nebezpečných látek zřízeno nucené přetlakové větrání. Přívod vzduchu bude řešen přes stěnu pláště budovy v blízkosti okna a veden k podlaze, kde bude osazen průmyslovým ventilátorem potřebného výkonu pro dostatečnou výměnu vzduchu v celém prostoru. Odvod vzduchotechniky bude řešen křížově od místa přívodu vzduchu přes místnost v druhém rohu u stropu místnosti, kde bude osazen bezpečnostní mřížkou. Odvod bude veden v samostatné ventilační šachtě nad úroveň posledního obydlého patra.

Přístup k jednotlivým technologiím bude pomocí žebříků a lávek tak, aby bylo možné z každé části ČOV odebrat vzorek. Technologie ČOV bude mít vlastní elektrický rozvaděč a technologie bude samostatně odjištěna z tohoto rozvaděče. V rozvaděči bude sekce MaR, do které budou zavedeny slaboproudé rozvody z měřících a regulačních zařízení ČOV. V případě výpadku elektrické energie bude po dobu minimálně 48 hodin zajišťovat dodávku elektrické energie pro ČOV kogenerační jednotka z plynové kotelny. Schéma rozmístění technologie znázorňuje obrázek 30.

Obrázek 30 - Půdorysné schéma technologií ČOV a PK (autor)



Kusovník:

Místnosti		M:FV	
M:PK	Místnost technologií plynové kotelny	AN1,2,3	Akumulační nádoby 3x 1000 l
M:ČOV	Místnost technologie čistými odpadních vod	PF	Písková filtrace
M:FV	Místnost s technologií filtrace vody	RO	Reverzní osmóza
		UV	UV Filtrace 320 W
		EN	Expanzní nádoba
M:ČOV		M:PK	
RČ	Elektro rozvaděč s hlavním jištěním ČOV a MaR	RK	Elektro rozvaděč s hlavním jištěním PK a MaR
01	Česle	EN	Expanzní nádoba
01b	Zásobníky na shrabky a písek	KGJ1 a 2	Kogenerační jednotky
02	Lapák písku	PK1 a 2	Kondenzační plynové kotle
03	Usazovací nádrž	EK	Elektrokotel
04	Kalová jámka	ZÚT1 a 2	Zásobníky topné vody 2x 1000 l
05	Odstředivka	ZTV1 a 2	Zásobníky teplé užitkové vody 2x 1000 l
06	SBR aktivální a dozovací nádrž s přerušovanou fází	R/S	Rozdělovač a sběrač větví
07	Paralelní biofilmové reaktory	RFVE	Elektro rozvaděč fotovoltaiky
08	Metanizační stabilizační reaktor – hlavní		
09	Textilní plynovej		
10	Metanizační stabilizační reaktor – doznivací		
11	Nádoba stabilizovaného kalu		

Legenda:

	Technologie mechanického čištění ČOV		Vedení odpadní vody
	Technologie chemického čištění ČOV		Vedení kalu
	Technologie kalového hospodářství ČOV		Odtok z ČOV
	Technologie bioplynového hospodářství ČOV		Vedení filtrované vody
	Technologie filtrace vody		Vedení topné vody
	Technologie plynové kotelny		Vedení teplé užitkové vody
	Elektrorozvaděče		Plynovodní potrubí

Vypracoval	Bc. Lukáš Čuřík (autor)	Logo
Vedoucí	doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.	
Název	Půdorysné schéma technologií ČOV a PK	
Práce	Návrh technologie pro zpracování a využití odpadních vod bytového domu	
	A3	Formát
	28.3.2022	Datum

5.3.2. Plynová kotelna

Plynová kotelna bude zřízena v oddělené místnosti od technologie ČOV a bude mít zřízené samostatné jištění a vlastní elektrický rozvaděč v prostorách kotelny vč. části MaR, do které budou mimo jiné přivedeny slaboproudé rozvody ze senzorů a čidel. Budou zde osazeny dvě kogenerační jednotky v kaskádě a dva kaskádovitě zapojené kondenzační plynové kotle. Ke kogenerační jednotce bude přivedeno plynovodní potrubí z distribuční sítě zemního plynu a ze zásobníku bioplynu. Systém řízení MaR bude řídit dle aktuálního stavu zásobníku bioplynu spotřebu z tohoto zásobníku nebo z distribuční sítě.

Obrázek 31 - Kogenerační jednotka Viessmann (30)



Kogenerační jednotka bude zajišťovat kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Vyrobena elektrická energie bude spotřebována na chod ČOV, kotelny a spotřeby domu, přebytečná elektrická energie bude prodávána do distribuční sítě. V letních měsících a slunných dnech bude spotřeba elektrické energie a provoz ČOV převážně dodávána z fotovoltaických panelů na střeše objektu, v tomto období bude přebytečná elektrická energie z kogenerační jednotky prodávána do elektrické distribuční sítě. V kotelně bude rozdělovač a sběrač, který zajistí rozdělení hydraulických tlaků a distribuci topné vody do jednotlivých topných větví. Celkem na rozdělovači a sběrači bude pět směřovaných větví. Do kotelny budou svedeny tři hlavní topné větve systému ÚT pro každý vchod, jedna větev vytápění bude přivedena z vyhnívacího reaktoru ČOV výměníku tepla pro vytápění metanizační nádrže a jedna větev bude vedena do akumulčních nádrží na TUV přes výměník tepla v nádržích, ve kterých bude připravována TUV na vykrývání ranních a večerních špiček spotřeby teplé vody. Akumulační nádrže budou vybaveny elektrickou topnou jednotkou a ze systému MaR bude řízeno nabíjení akumulace dle provozu kogenerací, spotřeby objektu elektrické

energie a výroby elektrické energie z fotovoltaiky. Fotovoltaika je řešena v samostatném projektu a profesi silnoproudu a není předmětem této práce.

Oběh v jednotlivých větvích budou zajišťovat oběhová a výtlačná čerpadla. Větve budou řízené termostaty a měřiči tepla připojenými na systém MaR. Pro distribuci TUV do jednotlivých částí budovy bude zřízena větev s cirkulací ústící z akumulčních nádrží a poháněna oběhovým čerpadlem. Pro zajištění požadovaného tlaku v systémech ÚT a TUV budou zřízeny dvě expanzní nádoby v kotelně a napojeny do jednotlivých systémů.

Odvětrání plynové kotelny bude řešeno přetlakově s nuceným větráním křížově přes plynové spotřebiče. Vzduch bude přiveden k podlaze kotelny a osazen průmyslovým větrákem, který bude přivádět vzduch z venkovního prostředí vně budovy do kotelny. Odvod bude u stropu přes spotřebič osazen mřížkou a vzduchotechnikou odveden nad úroveň posledního obydleného patra.

5.3.3. Recyklace vody

Akumulovaná voda z ČOV a z dešťové kanalizace bude dále využívána na spotřebu bytového domu. Pro efektivní využití vody bude zřízeno šest nových stoupaček vody společně s cirkulací. Nové stoupačky vody budou sloužit k přepojení dopouštění splachování toalety. Splachování toalet bude probíhat z přečištěné vody v ČOV z akumulace přes pískovou filtraci novou stoupačkou pro distribuci této šedé vody pro splachování za pomoci výtlačného čerpadla a expanzní nádoby.

Obrázek 32 - Pískový filtr na vodu (31)



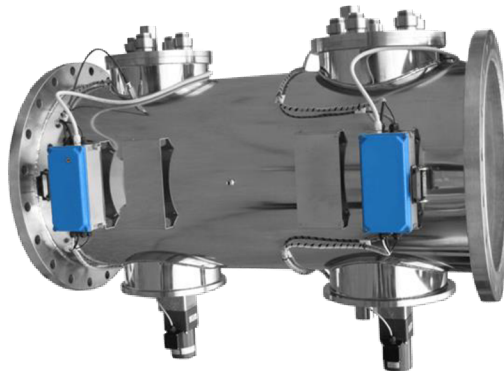
Stávající systém distribuce SV bude napojen z akumulací přečištěné vody z ČOV a dešťové kanalizace přes pískovou filtraci, RO a UV dezinfekci. Voda nejprve bude skrze

pískovou filtraci zbavena hrubých nečistot a zbarvení, reverzní osmóza zajistí zbavení rozpuštěných látek ve vodě a UV lampa zajistí následnou dezinfekci vody.

Obrázek 33 - Reverzní osmóza (32)



Obrázek 34 - UV lampa (33)



Takto vyčištěná voda bude dále tepelným čerpadlem ochlazována na teplotu 8 °C, aby byl splněn požadavek dle ČSN EN 806-2:2005 na nejvyšší teplotu studené vody 25 °C po úplném otevření výtokové armatury a uplynutí 30s vytékání studené vody. Tepelné čerpadlo ochlazující vodu bude využívat zbytkového tepla pro predehřívání metanizačního reaktoru v ČOV.

V každé bytové jednotce bude dodatečně instalován pod dřezem před vstupem do výtokové armatury uhlíkový filtr, mineralizační zařízení a UV filtrační lampa. Pro zvýšení produkce bioplynu v ČOV bude v každé bytové jednotce do dřezu instalován drtič bioodpadu.

1.1.1. Výpočet provozních hodnot

V kogenerační jednotce je potřeba na výrobu 1 kWh_e přivést zhruba 0,6 m³ bioplynu o obsahu methanu 60 %. Z provedených měření lze stanovit, že pro výrobu 1 kWh_e (E_E) a 1,27 kWh_t (E_T) je zapotřebí 5 – 7 kg odpadní biomasy nebo 4 – 7 m³ OV. (19)

Pro výpočet provozních hodnot lze využít těchto praktických poznatků z provozu kogenerační jednotky v následujících výpočtech, ve kterých platí, že E_E = elektrická energie, E_T = tepelná energie Q_{celk.} = objem OV v m³ a Q_{gastro-celk.} = objem odpadní biomasy (produkce OV je uvažována z hodnot roku 2020 v tabulce 7 a produkce bioodpadu z úvahy v této kapitole pod výpočtem):

Produkce energie z OV:

$$E_E = \frac{Q_{celk.}}{4} = \frac{3\,687}{4} \quad (1)$$

$$E_E = 921,75 \text{ kWh}_e$$

$$E_T = E_E \cdot 1,27 \quad (2)$$

$$E_T = 1\,170,62 \text{ kWh}_e$$

Produkce energie z gastroodpadu:

$$E_E = \frac{Q_{gastro-celk.}}{5} = \frac{17\,680}{5} \quad (3)$$

$$E_E = 3\,536 \text{ kWh}_t$$

$$E_T = E_E \cdot 1,27$$

$$E_T = 4\,490 \text{ kWh}_e$$

Celková roční produkce elektrické energie E_E = 4 458 kWh_e a celková roční produkce tepelné energie je E_T = 5 661 kWh_T = 1 573 MJ.

Provozní náklady budou složeny zejména ze spotřeby tepla vyhřívací komory na udržování mezofilního prostředí, tepelných ztrát vyhřívací komory a spotřeby elektrické energie strojních zařízení. Pro výpočet spotřeby tepla na ohřev substrátu je stanoven na základě předpokladu teploty kalů, která bude konstantní 16 °C po celý rok, jelikož se celá technologie nachází uvnitř budovy, kde je návrhová teplota 16 °C v technických místnostech suterénu. Hmotnost m denní dávky substrátu určíme z počtu EO a 60 g produkce sušiny. $\text{den}^{-1}.\text{osoba}^{-1}$ a dle průměrné produkce gastroodpadu $104 \text{ kg}.\text{osoba}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ přepočtenou na jeden den z rovnice 4. Počet EO uvažujeme zaokrouhleně na 170 z 162 aktuálně žijících v domě.

$$m = (EO \cdot 60) + \left(EO \cdot \frac{104}{365}\right) \quad (4)$$

$$m = 58,64 \text{ kg}.\text{d}^{-1}$$

Spotřeba tepla Q k nahřívání je stanovena z dosazení do rovnic 4, 5, 6 a 7.

$$Q = m \cdot c \cdot dT \quad (5)$$

$$dT = T_{fer} - T_{sub} \quad (6)$$

$$Q_m = P_k \cdot 24 \cdot d \quad (7)$$

Pro které platí že,

Q = tepelný výkon [kW], Q_m = potřeba tepla za měsíc [$\text{kWh}.\text{měsíc}^{-1}$], m = hmotnost substrátu [kg], c = měrná tepelná kapacita = $1,16 \text{ Wh}.\text{kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, d = počet dnů v měsíci, dT = rozdíl teplot fermentoru (T_{fer}) a substrátu (T_{sub})

Výpočet potřebné energie pro vytápění fermentoru znázorňuje tabulka 12.

Tabulka 12 - Stanovení vlastní spotřeby tepla fermentoru na ohřev substrátu (autor)

Měsíc	Dnů v měsíci d	Teplota substrátu T_{sub} [°C]	teplota ve fermentoru T_{fer} [°C]	Rozdíl teplot dT [°C]	Tepelný výkon Q [kW]	Potřeba tepla Q_m [kWh.měsíc ⁻¹]
Leden	31	16	38	22	1,50	1 113
Únor	28	16	38	22	1,50	1 006
Březen	31	16	38	22	1,50	1 113
Duben	30	16	38	22	1,50	1 077
Květen	31	16	38	22	1,50	1 113
Červen	30	16	38	22	1,50	1 077
Červenec	31	16	38	22	1,50	1 113
Srpen	31	16	38	22	1,50	1 113
Září	30	16	38	22	1,50	1 077
Říjen	31	16	38	22	1,50	1 113
Listopad	30	16	38	22	1,50	1 077
Prosinec	31	16	38	22	1,50	1 113
Celkem						13 109 kWh
						47,2 GJ

Stanovení tepelných ztrát je provedeno dle vztahů 7, 8 a 9.

$$Q = k \cdot A \cdot dT \quad (8)$$

$$dT = T_{fer} - T_{okolí} \quad (9)$$

Pro které platí že, Q = tepelný výkon [kW], k = koeficient prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$], A = povrch fermentoru [m^2]

Předpokladem je teplota okolního prostředí dle měsíců kolísající v místnosti vlivem tepelných ztrát místnosti větráním, které znázorňuje tabulka 13.

Plocha fermentoru A je stanovena ze vztahu

$$A = D^2 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 2 \quad (9)$$

Ve kterém D = průměr prstence $D = 3$ m a $A = 14,13$ m².

Výpočet tepelných ztrát fermentoru je v tabulce 13.

Tabulka 13 - Stanovení tepelných ztrát fermentoru (autor)

Měsíc	Dnů v měsíci d	Střední teplota okolí [°C]	teplota ve fermentoru T _{fer} [°C]	Rozdíl teplot [°C]	tepelný výkon [kW]	potřeba tepla [kWh.měsíc-1]
Leden	31	0	38	38	0,22	165
Únor	28	1	38	37	0,22	145
Březen	31	2	38	36	0,21	156
Duben	30	8	38	30	0,17	126
Květen	31	13	38	25	0,15	108
Červen	30	16	38	22	0,13	92
Červenec	31	18	38	20	0,12	87
Srpen	31	17	38	21	0,12	91
Září	30	13	38	25	0,15	105
Říjen	31	8	38	30	0,17	130
Listopad	30	3	38	35	0,20	147
Prosinec	31	1	38	37	0,22	160
Celkem						1 511 kWh
						5,4 GJ

Celková potřeba tepla na provoz systému je 52,6 GJ.

Spotřebu elektrické energie lze vyjádřit z odhadu potřebného elektrického příkonu jednotlivých elektro částí všech zařízení a odhadu provozní doby. Celkovou spotřebu elektrické energie lze tak vypočítat ze vztahu 10.

$$E_E = P_I \cdot t \quad (10)$$

Kde E_E je celková elektrická energie (spotřeba), P_I je elektrický příkon spotřebiče ve W_{attech} a t je provozní doba spotřebiče v hodinách. Výsledná spotřeba je uvedena v kWh.d⁻¹ nebo v MWh.rok⁻¹. Odhad spotřeby elektrické energie je v tabulce 14.

Tabulka 14 - Přehled spotřeby elektrické energie (autor)

Zařízení	P_I [W]	t [h]	E_E [kWh.d ⁻¹]
ČOV			
Nizkotlaké dmychadlo	1600	23	36,8
Dávkovací čerpadlo	5000	0,8	4
Centrální čerpadlo	2000	3	6
Míchání fermentoru	800	3	2,4
Průmyslový ventilátor	750	24	18
Plynová kotelna			
Centrální oběhové čerpadlo	300	6	1,8
Elektronické oběhové čerpadlo	20	6	0,12
Elektronické oběhové čerpadlo	20	6	0,12
Elektronické oběhové čerpadlo	20	6	0,12
Cirkulační čerpadlo	20	6	0,12
Cirkulační čerpadlo	20	6	0,12
Celkem / den			69,60 kWh.d⁻¹
Celkem / rok		25 404 kWh	25 MWh

Celkový přehled potřeby energií tepla a elektrické energie zařízení ČOV vč. plynové kotelny je znázorněn v tabulce 15. Spotřeba objektu je řešena v ekonomickém posouzení.

Tabulka 15 - Celková potřeba energie ČOV (autor)

Měsíc	potřeba tepla [kWh.měsíc-1]	potřeba elektrické energie [kWh.měsíc-1]
Leden	1 278	2 158
Únor	1 150	1 949
Březen	1 269	2 158
Duben	1 203	2 088
Květen	1 222	2 158
Červen	1 170	2 088
Červenec	1 200	2 158
Srpen	1 204	2 158
Září	1 182	2 088
Říjen	1 243	2 158
Listopad	1 224	2 088
Prosinec	1 274	2 158
Celkem	14 620 kWh	25 404 kWh

5.4. Ekonomické posouzení projektu

5.4.1. Investice

Investice celého zařízení je rozdělena do pěti částí. První část tvoří projektové práce zahrnující potřebnou projektovou dokumentaci, vyjádření dotčených orgánů státní správy, dokumentaci pro provedení stavby, proces získání stavebního povolení, vyřízení dotací, autorský dozor projektanta během realizace a dokumentaci skutečného provedení.

Druhá část tvoří odhad položek investice technologie ČOV vč. bioplynového hospodářství a strojních součástí. Třetí část jsou položky investice vybavení plynové kotelny vč. tepelných zdrojů KGJ, plynových kotlů a elektrokotle a vč. strojního vybavení a montáže.

Čtvrtým položkovým seznamem jsou technologie pro dodatečnou úpravu a distribuci vyčištěné vody. Filtry a vybavení dalších komponent v jednotlivých bytech na finální úpravu vody a drtiče biologického odpadu pro zvýšení produkce bioplynu a pohodlnou okamžitou likvidaci bioodpadu z domácností. Pátým okruhem investice je fotovoltaická elektrárna vč. dodávky a potřebných elektrotechnických úprav. Přehled odhadovaných investičních nákladů je v tabulce 16.

5.4.2. Dotace

Na některé technologie lze žádat dotace a snížit tak celkovou potřebnou investici.

Z aktuálně probíhajícího programu Nová zelená úsporám (NZÚ) Ministerstva životního prostředí lze žádat o dotaci na kogenerační jednotku ve výši 30 000 Kč.b.j.⁻¹ nebo na kondenzační plynový kotel ve výši 12 000 Kč.b.j.⁻¹. Tato podpora se vztahuje i na příslušenství kotelny a zapojení do otopné soustavy. V tabulce 16 je znázorněna výše dotace na KGJ 30 000 Kč na 72 bytových jednotek v celkové výši 2 160 000 Kč.

Na fotovoltaiku lze žádat také dotaci ve výši 15 000 Kč.kWp⁻¹ instalovaného výkonu FVE z programu NZÚ pro bytové domy. Výzvu pro žádosti o podporu fotovoltaiky vypsalo i Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) a je kryta z prodeje emisních povolenek a národního plánu obnovy (NPO). Jedná se o I. výzvu MPO a lze v této výzvě žádat až o 35 % nákladů fotovoltaiky a až 50 % nákladů akumulace vyrobené energie mimo území Prahy. V tabulce 16 je počítáno s výší dotace 15 000 Kč z NZÚ a instalovaný výkon 92,61 kWp v celkové výši 1 389 150 Kč. (34)

Na ČOV jsou nyní vypsány pouze dotace pro obce a ČOV do 50 EO. Zajímavý je ale trend EU a tzv. zelené dohody a Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK 2021 – 2027) z NPO. Dne 8.3.2022 proběhl konzultační den i se širokou veřejností na téma dotační možnosti na obnovitelné zdroje energie a nové nízkoemisní technologie, do kterých patří i bioplynové stanice vč. technologií na zpracování a metanizaci čistírenských kalů. Není zatím zcela zřejmé, jaká přesně podpora a v jaké výši bude poskytnuta, proto do studie zahrneme dotaci ve výši 30 %, což může představovat minimální hodnotu podpory. I. výzva dotací se může uskutečnit od května letošního roku 2022. V tabulce 16 je proto počítáno s částkou 30 % dotace na technologii ČOV jako odhad možné dotace ve výši 343 500 Kč. (35)

5.4.3. Provoz

Samotná ČOV s bioplynovou stanicí a KGJ není energeticky soběstačná a je nutné dodávat tepelnou energii a elektrickou energii do systému z jiných zdrojů. Celková potřeba tepla ČOV s bioplynovou stanicí je 14 620 kWh_t a elektrické energie 25 404 kWh_e.

Aby byl systém soběstačný a ekonomicky přínosný, je doplněn o zdroj elektrické energie fotovoltaické panely na střeše bytového domu. Využitelná je střecha pro fotovoltaiku z celkové plochy 735 m² zhruba ze 70 % s ohledem na stínění strojoven výtahů a římsy okraje střechy vč. rozestupů samotných panelů. Celkový výkon P_{FVE} fotovoltaické elektrárny je možné spočítat ze vzorce 11.

$$P_{FVE} = S \cdot \sum E_R \cdot \eta \cdot \Delta P \quad (11)$$

S je celková plocha panelů, $\sum E_R$ je úhrn záření 1 120 kWh.m⁻²m.rok⁻¹, η je účinnost panelů 18 % a ΔP jsou ztráty systému 18 %. Celková roční výroba fotovoltaiky činí zhruba 85 214 kWh a výkon představuje 92,61 kWp. (36)

Výrobu v jednotlivých měsících lze odhadnout ze zkoumání skutečné výroby fotovoltaických systémů dle tabulky 17 s procentuálním vyjádřením výroby pro jednotlivé měsíce.

Tabulka 17 - Procentuální rozdělení výroby FVE dle měsíců (autor)

Měsíc	Procento z roční výroby dle měsíců
Leden	3,02%
Únor	5,11%
Březen	9,29%
Duben	12,28%
Květen	11,81%
Červen	12,00%
Červenec	12,48%
Srpen	12,00%
Září	9,62%
Říjen	6,06%
Listopad	3,72%
Prosinec	2,61%
Celkem	100,00%

Pro výpočet fotovoltaiky je dále uvažováno snížení účinnosti panelů po 10 letech o 10 % a po 20 letech o 20 %, tak uvádějí výrobci účinnost v záruční garanci na jednotlivé panely.

Bilance tepelné energie a elektrické energie po započtení výnosů z fotovoltaiky jsou v tabulce 18.

Tabulka 18 - Bilance tepelné a elektrické energie s FVE (autor)

Měsíc	potřeba tepla [kWh.měsíc-1]	potřeba elektrické energie [kWh.měsíc-1]	Výroba FVE	Produkce TE z KGJ	Zbylá potřeba tepla po využití TE z KGJ	Zbylá EE z FVE po spotřebě v EK na doořev fermentoru	Výroba EE z KGJ
Leden	1 278	2 158	2 568	481	797	1 762	379
Únor	1 150	1 949	4 349	434	716	3 626	342
Březen	1 269	2 158	7 905	481	788	7 109	379
Duben	1 203	2 088	10 448	465	738	9 703	366
Květen	1 222	2 158	10 043	481	741	9 295	379
Červen	1 170	2 088	10 205	465	704	9 494	366
Červenec	1 200	2 158	10 610	481	719	9 884	379
Srpen	1 204	2 158	10 205	481	724	9 475	379
Září	1 182	2 088	8 181	465	717	7 456	366
Říjen	1 243	2 158	5 151	481	762	4 381	379
Listopad	1 224	2 088	3 167	465	759	2 400	366
Prosinec	1 274	2 158	2 219	481	793	1 418	379
Celkem	14 620 kWh	25 404 kWh	85 053 kWh	5 661 kWh	8 959 kWh	76 004 kWh	4 458 kWh

Ostatní provozní náklady jsou stanovené na jeden rok odhadem dle četnosti úkonů v jednom roce a odhadovaných nákladů dle pracnosti. Do nákladů jsou započítány i použitý materiál a doprava. Ostatní provozní náklady znázorňuje tabulka 19.

Tabulka 19 - Ostatní provozní náklady (autor)

Ostatní provozní náklady	Jednotková cena [Kč]	Intenzita [x.rok ⁻¹]	Celkem [Kč]
Pravidelná kontrola kotelny	1500	52	78 000
Pravidelná kontrola ČOV	1500	52	78 000
Údržba ČOV	1200	52	62 400
Odvoz stabilizovaného kalu	1200	52	62 400
Výměna filtrů	77500	1	77 500
Elektrorevize	15000	0,33	5 000
Celkem			363 300

Po vyhodnocení energetických bilancí technologie a pokrytí potřeby tepla a elektrické energie ČOV a fermentoru zůstává z výroby FVE 76 004 kWh_e a z KGJ 4 458 kWh_e. Celková spotřeba elektrické energie objektu je stanovena odhadem 144 MWh_e z průměrné spotřeby domácnosti v bytovém domě, která nepoužívá elektrickou energii na vytápění na spotřebu 2 MWh.rok⁻¹. Celkově vyrobenou elektrickou energii je tedy možné spotřebovat v bytovém domě a zbylých 63,5 MWh odebrat z distribuční sítě. (37)

5.4.4. Cash Flow model

Cash-flow model počítá na příjmové stránce úsporu ze spotřeby jinak nutně odebrané elektrické energie ze sítě, kterou z části nahrazuje vlastní zdroj KGJ i FVE a z platby vodného a stočného, které díky technologii nebude vynakládáno. Do modelu byla stanovena průměrná roční inflace spotřebitelských cen ve výši 3,8 % plynoucí z dlouhodobého průměru (38), růst cen energií, vodného a stočného o 5,8 % ročně

zveřejněných Českým statistickým úřadem (37). Model vychází z předpokladu fixních ročních nákladů rostoucích o inflaci, odpisu investice 15 let a úvěru z banky ve výši 1 723 342 Kč s úrokem 7,5 % a anuitním splácením. Úrok na bankovní úvěr byl stanoven ze součtu základní repo sazby 4,5 % a 3 % marži komerčních bank. (39) Bankovní úvěr tvoří 50 % zbylých investičních nákladů po odečtení dotace. Celková investice z vlastních zdrojů činí 1 723 342 Kč.

Při výpočtu byla použita diskontní sazba 7 % pro výpočet čisté budoucí hodnoty stanovené součtem výše úroku na spořicímu účtu 1,6 %. míry úvěrového rizika 3,2 % a průměrné výše inflace 3,8 % (40). Cena elektrické energie pro výpočet byla použita v prvním roce 5 923 Kč.MWh⁻¹ na nízkém napětí ve vysokém tarifu vč. složky za distribuci dle ceníků ČEZ se smlouvou na dobu neurčitou (41).

Prostá doba návratnosti investice, označována také jako PPB (pay back period) činí 3 roky a stanovuje se z poměru kumulovaných příjmů k počáteční investici. Diskontovaná doba návratnosti DPP (discount pay back) zohledňuje časovou hodnotu peněz a peněžní toky diskontuje diskontní sazbou. Stanovuje se z kumulovaného diskontovaného cash flow a činí 4 roky. Čistá současná hodnota po 20 letech označována jako NPV (net present value) činí 95 540 525 Kč a je stanovena z kumulovaného diskontovaného cash flow ve 20. roce.

Nákladová část modelu je tvořena provozními výdaji na pravidelné kontroly a údržbu pracovníky a odvoz shrabků, písku a stabilizovaného kalu. Tyto provozní náklady jsou znázorněny v tabulce 19. (42)

Příjmovou stránku modelu tvoří úspora z nespotřebované elektrické energie, která je v současné době odebírána z distribuční sítě v tarifních cenách a tvoří v cash flow modelu tržby. Cash flow model znázorňuje tabulka 20. Životnost technologie a strojního zařízení je počítána až na 15 let a více za předpokladu správné a pravidelné údržby. Investiční náklady na výměnu strojních zařízení nejsou v cash flow modelu zohledněny.

Z cash flow modelu, návratnosti investice ve 3. roce a životnosti technologie 15 let i více lze doporučit tuto investici jak vhodnou a rentabilní.

Tabulka 20 - Cash Flow model (autor)

Investice celkem:	7 339 334 Kč
Dotace celkem:	3 892 650 Kč
Vlastní zdroje:	1 723 342 Kč
Odpis:	15 let

Bankovní úvěr	1 723 342 Kč
Úrok úvěru:	7,5%
Růst cen elektřiny:	5,8%
Cena elektřiny:	5,923 Kč/kWh

Růst cen vodné/stočné:	5,8%
Inflace:	3,8%
Diskont:	7,0%

ROK	NÁKLADY	ODPISY	SPLÁTKA ÚVĚRU	Neodebraná elektřina ze sítě	Neodebraná elektřina ze sítě	Nespotřeba vodné a stočné	TRŽBA ZA NESPOTŘEBU celkem	ČISTÝ ZISK - nepeněžní příjem	CASH FLOW	Diskontovaný CASH FLOW	Kumulovaný diskontovaný CASH FLOW
(-)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(kWh/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)
1	363 300	114 889	181 612	144 000	852 912	376 419	1 229 331	799 309	-924 033	-924 033	-924 033
2	377 105	114 889	181 612	142 400	902 381	398 251	1 300 632	856 804	-67 229	-62 831	-986 864
3	391 435	114 889	181 612	140 800	954 719	421 350	1 376 069	917 911	850 682	743 019	-243 845
4	406 310	114 889	181 612	139 200	1 010 093	445 788	1 455 881	982 849	1 833 531	1 496 707	1 252 862
5	421 750	114 889	181 612	137 600	1 068 678	471 644	1 540 322	1 051 850	2 885 381	2 201 243	3 454 106
6	437 776	114 889	181 612	136 000	1 130 661	498 999	1 629 661	1 125 162	4 010 543	2 859 462	6 313 567
7	454 412	114 889	181 612	134 400	1 196 240	527 941	1 724 181	1 203 047	5 213 590	3 474 035	9 787 602
8	471 679	114 889	181 612	132 800	1 265 622	558 562	1 824 183	1 285 782	6 499 372	4 047 482	13 835 084
9	489 603	114 889	181 612	131 200	1 339 028	590 958	1 929 986	1 373 661	7 873 032	4 582 176	18 417 261
10	508 208	114 889	181 612	129 600	1 416 691	625 234	2 041 925	1 466 995	9 340 027	5 080 356	23 497 617
11	527 520	114 889	181 612	128 000	1 498 859	661 498	2 160 357	1 566 115	10 906 142	5 544 129	29 041 746
12	547 566	114 889	181 612	126 400	1 585 793	699 864	2 285 658	1 671 370	12 577 511	5 975 485	35 017 231
13	568 373	114 889	181 612	124 800	1 677 769	740 456	2 418 226	1 783 130	14 360 642	6 376 297	41 393 528
14	589 971	114 889	181 612	123 200	1 775 080	783 403	2 558 483	1 901 789	16 262 431	6 748 331	48 141 858
15	612 390	114 889	77 813	121 600	1 878 035	828 840	2 706 875	2 131 561	18 393 992	7 133 507	55 275 366
16	635 661	0	0	120 000	1 986 961	876 913	2 863 874	2 228 212	20 622 204	7 474 436	62 749 801
17	659 816	0	0	118 400	2 102 204	927 774	3 029 978	2 370 162	22 992 366	7 788 310	70 538 111
18	684 889	0	0	116 800	2 224 132	981 585	3 205 717	2 520 828	25 513 194	8 076 824	78 614 935
19	710 915	0	0	115 200	2 353 132	1 038 517	3 391 649	2 680 733	28 193 927	8 341 566	86 956 501
20	737 930	0	0	115 200	2 489 613	1 098 751	3 588 364	2 850 434	31 044 362	8 584 025	95 540 525

6. Výsledky a diskuse

Samotná ČOV s bioplynovou fermentací anaerobní stabilizací kalu je energeticky nesoběstačná. Na vyhřívání denní produkce 58,64 kg substrátu je zapotřebí dodat ročně 52,6 GJ tepelné energie a na celý provoz technologie je zapotřebí ročně dodat 25,4 MWh elektrické energie. Vyprodukovaný bioplyn z procesu anaerobní fermentace je schopný ročně vygenerovat spálením v kogenerační jednotce 4,5 MWh elektrické energie a 20,4 GJ tepelné energie. Systému mezofilní anaerobní fermentace je potřeba dodat 5 GJ tepelné energie a celému technologickému zařízení 20,9 MWh elektrické energie. Investice do takové technologie je vzdáleně návratná a je zapotřebí k technologii ČOV dodat další zdroj energie, který bude kompenzovat potřebnou energii.

Systém byl navržen kombinací s fotovoltaickou elektrárnou na střeše budovy, jejíž investice za pomoci získání dotace je sama o sobě návratná díky vlastní spotřebě přímo v objektu. Kompenzuje drahou elektrickou energii na nízkém napětí, kterou je jinak nutné odebrat z distribuční sítě pro provoz technologie ČOV nebo spotřebu objektu. Jelikož je fotovoltaická elektrárna velmi omezená svou výrobou ve slunečné dny a křivka výroby je určena úhlem osvitů během dne pouze na příslušné denní hodiny, celkový potenciál výkonu fotovoltaické elektrárny by nebyl využit maximálně efektivně. Proto je celé technologické zařízení doplněno o samostatnou plynovou kotelnu, která kombinovaně připravuje topnou vodu pro výměník fermentoru, vytápění objektu jako náhrada za centrální zdroj tepla a přípravu TUV. Díky plynové kotelně a vysoké možné dotaci na kogenerační jednotky a příslušné strojní vybavení kotelny, je možné výhodně investovat do takové technologie. Aby byl maximálně během dne a noci využit potenciál všech zdrojů a vykrytí špičky výroby elektrické energie z fotovoltaiky, je technologie plynové kotelny doplněna o dvě akumulční nádoby na topnou vodu, která může být během nadbytečné výroby elektrické energie za pomoci elektropatrony nebo elektrokotle akumulována topnou vodou s pozdějším využitím na potřeby vytápění jedné z topných větví. Stejně tak špička potřeby TUV v objektu je pokryta ze dvou akumulčních nádrží na TUV, které mohou být taktéž nahřívány během dne z fotovoltaiky, kdy není v objektu vysoký požadavek na odběr elektrické energie a TUV.

Výhodnost celého systému dále tvoří i teoretický prodej přebytků elektrické energie do distribuční sítě. Vzhledem ke dvěma obnovitelným zdrojům elektrické energie kogeneračních jednotek a fotovoltaických panelů, je možnost volitelnosti a systémového nastavení tak, aby bylo vždy výhodně nastaveno, že budou přebytky do distribuční sítě

dodávány ze zdroje, pro který aktuálně platí vyšší výkupní ceny elektrické energie. Aktuálně lze tedy nezajímavé výkupní ceny z fotovoltaiky využít na vlastní spotřebu, a naopak výrobu z bioplynu využít plně na prodej přetoků do distribuční sítě.

Celá práce byla zpracována na teoretických poznatcích reálných provozů a hrubém odhadu výše investice. Pro detailní ověření je nutné získat více dat z více reálných provozů. Jako vhodné provozy pro další sledování mohou být stávající ČOV s bioplynovým hospodářstvím doplněné o fotovoltaiku a systém MaR např. na ČOV v Kolíně, kde v rámci této diplomové práce byly zpracovány teoretické poznatky. Dalším vhodným místem pro získání dat a pilotní provozy jsou místa, kde je možná kombinace ČOV se zdroji tepla v centrálních městských teplárnách doplněním o fotovoltaiku a systém MaR.

O fotovoltaické panely doplnila obec Nemile na Šumpersku svou ČOV a pokryla tak jednu třetinu potřeby elektrické energie ČOV. Elektrárna o instalovaném výkonu 19,25 kWp ročně vyrobí v průměru 19 MWh elektrické energie. Obec Nemile uzavřela na fotovoltaickou elektrárnu smlouvu s firmou ČEZ ESCO a díky této smlouvě přenesla plně investiční náklady na firmu ČEZ ESCO, která na základě smlouvy o dodávce elektrické energie dodává pro ČOV obce elektřinu za stabilní a příznivou cenu oproti standardní ceně za spotřebu elektřiny z distribuční části. ČEZ uvádí návratnost tohoto projektu 15 let. Oproti kombinaci fotovoltaické elektrárny a ČOV v této diplomové práci je výrazný rozdíl ve vlastnictví a přínosu fotovoltaické elektrárny. V případě této diplomové práce jsou uvažovaným vlastníkem fotovoltaické elektrárny přímo obyvatelé bytového domu, tedy Společenství vlastníků jednotek a výnosy jsou počítány jako plná cena nespotřebované elektrické energie z distribuce. Absence další obchodní marže ČEZ ESCO u modelového případu této práce oproti případu fotovoltaické elektrárny na ČOV v obci Nemile, přináší rentabilnější model. Naopak systém pořízení fotovoltaické elektrárny na ČOV v obci Nemile je z hlediska provozních nákladů, údržby, řešení potíží a nahodilých událostí i počáteční investice bezstarostnou investicí a okamžitou úsporou provozních nákladů stávající ČOV. Výhodou kombinace ČOV s fotovoltaickou elektrárnou je možnost systémem MaR plánovat a řídit spínání technologií na ČOV během dne a omezení těchto činností během noci. (43)

7. Seznam literatury

1. HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění. Vyd. 1.* Brno : autor neznámý, 2001. ISBN 80-86020-30-4.
2. KOUKALOVÁ, Dana. *Možnosti zpracování vodárenských kalů z úpraven vody.* Brno : Mendelova univerzita v Brně, 2015. Bakalářská práce.
3. Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. *Zákony pro lidi.* [Online] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>.
4. *Zákony pro lidi.* [Online] [Citace: 1. 1 2022.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>.
5. institut, český normalizační. *ČSN EN 12255-1 - Čistírny odpadních vod – Část 1: Všeobecné konstrukční zásady.* 2003.
6. Pošta, Josef. *Čistírny odpadních vod.* Praha : Technická fakulta ČZU, 2005.
7. *ASB Portal.* [Online] <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrskestavby/rozsireni-aoptimalizace-cistirny-odpadnich-vod-vkoline>.
8. institut, český normalizační. *ČSN EN 12255-3 - Čistírny odpadních vod – Část 3: Předčištění.* 2002.
9. —. *ČSN EN 12255-4 - Čistírny odpadních vod – Část 4: Primární čištění.* 2003.
10. institut, Český normalizační. *ČSN EN 12255-5 - Čistírny odpadních vod – Část 5: Čištění odpadních vod v biologických nádržích.* 2000.
11. —. *ČSN EN 12255-6 - Čistírny odpadních vod – Část 6: Aktivace.* 2003.
12. [leporelo.info.](https://leporelo.info) [Online] <https://leporelo.info/filtr-biologicky>.
13. Netrval, Petr. docplayer. [Online] 2019. <http://docplayer.cz/108065444-Rozdeleni-biofilmovych-reaktoru.html>.
14. institut, Český normalizační. *ČSN EN 12255-7 - Čistírny odpadních vod – Část 7: Biofilmové reaktory.* 2003. 2003.
15. —. *ČSN EN 12255-8 - Čistírny odpadních vod – Část 8: Kalové hospodářství.* 2002.
16. Doc. Ing. František Straka, CSc. a kol. *Bioplyn.* Říčany : GAS s.r.o., 2003. ISBN 80-7328-029-9.

17. Ing. Barbora Lyčková, Ph.D. Zpracování kalů. [Online]
<http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/charakter.html#:~:text=Su%C5%A1ina%20v%C4%9Bt%C5%A1inou%20nep%C5%99ekro%C4%8D%C3%AD%2010%20%25%2C%20z%C3%A1vis%C3%AD,30%2D40%20%25%20anorganick%C3%BDch%20l%C3%A1tek..>
18. Ing. Miroslav Kajan, Mgr. Richard Lhotský. Možnosti zvýšení výroby bioplynu na stávajících zařízeních. místo neznámé : ČEA, 2006. ev.č. 222004 6194.
19. doc. Ing. Jan Malafák, Ph.D. Přednáška Bilance energií BPS. Praha : Česká zemědělská univerzita, 2018.
20. Veolia a.s. [Online] <https://www.veolia.com/en/newsroom/news/drinking-water-recycling-wastewater-windhoek-namibia>.
21. Ministerstvo životního prostředí. [Online] 2019.
https://www.mzp.cz/cz/news_190626-opetovne-vyuziti-vody-zemedelstvi-ma-predbezne-eu-zelenou.
22. Havel, Pavel. Deník veřejné správy. [Online] 2021.
<http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6806368>.
23. Kotas, Ing. Jindřich. TZB info. [Online] 2016. <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/14589-zakladni-funkce-a-princip-reverzni-osmozy-ro>.
24. Bindzar, Jan. Technologie pro recyklaci vody. [Online] <http://recyklace-voda.vscht.cz/technologie/d71a3fd4-368d-4441-8f87-521080600f30>.
25. Naše voda. [Online] 2012. <https://www.nase-voda.cz/jaka-mineralizace-vody-je-optimalni/#:~:text=Za%20optim%C3%A1ln%C3%AD%20je%20pova%C5%BEov%C3%A1no%20mno%C5%BEstv%C3%AD,mluv%C3%ADme%20u%C5%BE%20o%20vod%C3%A1ch%20miner%C3%A1ln%C3%ADch..>
26. ČÚZK. [Online] <https://cuzk.cz/>.
27. Severočeské vodovody a kanalizace. [Online] <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>.
28. Google Earth. [Online] <https://earth.google.com/>.
29. Odpady. [Online] <https://odpady-online.cz/produkce-bioodpadu-v-cr/>.

30. Viessmann. [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/kogenerace/kogeneracni-jednotka-pro-provoz-na-zemnizkapalneny-plyn.html>.
31. Filtry-vodní. [Online] https://www.filtry-vodni.cz/katalog/filtry/samoridici-filtry/piskove-filtry/168195.html?gclid=Cj0KCQiAybaRBhDtARIsAIEG3knj_oI6x2mFBL4jt6gzc-n6MPVx5Np4iMSTLTB42P1VHsW8kZnOEWYaAkS6EALw_wcB.
32. Aquacon. [Online] <https://www.aquacon.cz/selektivni-upravny-vody/reverzni-osmoza/reverzni-osmoza-aq-2000.html>.
33. Aqua-shop. [Online] <https://www.aqua-shop.cz/prumyslova-filtrace-vody/aqe-uv-lampa-200-840w/>.
34. úsporám, Nová zelená. NZÚ. [Online] 2022. <https://novazelenausporam.cz/>.
35. obchodu, Ministerstvo průmyslu a. MPO. [Online] 2022. <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/optak-2021-2027/>.
36. ÚNMZ. *ČSN EN 15316-4-6 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy – Část 4-6: Výroba tepla, fotovoltaické soustavy*. 2014.
37. úřad, Český statistický. [Online] 2015. <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energii-v-domacnostech>.
38. —. ČSO. [Online] https://www.czso.cz/csu/czso/inflace_spotrebitelske_ceny.
39. banka, Česká národní. [Online] [Citace:] <https://www.cnb.cz/cs/cnb-news/tiskove-zpravy/CNB-zvysuje-urokove-sazby-00019/#:~:text=Bankovna%20rada%20C4%8CNB%20na%20sv%20A9m,%20Anora%202022..>
40. Moneta. Moneta. [Online] [https://www.moneta.cz/slovník-pojmu/detail/cista-soucasna-hodnota#:~:text=NPV%20%3D%20CFn%20%2F%20\(1,%20%3D%20%20%3BArokov%20%20%3ADra%20\(diskont\)..](https://www.moneta.cz/slovník-pojmu/detail/cista-soucasna-hodnota#:~:text=NPV%20%3D%20CFn%20%2F%20(1,%20%3D%20%20%3BArokov%20%20%3ADra%20(diskont)..)

41. ČEZ. ČEZ. [Online] https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2022/moo/web_new-cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_202112_cezdi.pdf.

42. Kučma, L'ubomír. *DOBA NÁVRATNOSTI INVESTICE DO REKONSTRUKCE MULTIFUNKČNÍHO OBJEKTU*. Brno : VÚT Brno FS, 2012.

43. Mach, Martin. Ekolist. [Online] 1. Červen 2021.

<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/fotovoltaicka-elektrana-pokryje-tretinu-spotreby-cov-v-obci-nemile>.