

VLIV TEPLoty A POUŽITÍ ANAEROBNÍHO PROCESU U DOMOVNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

Darina Vinklárková¹⁶, Karel Plotěný¹⁷, Stanislav Piňos¹⁸, Karol Kratochvíl¹⁹, Miloš Rozkošný²⁰,
Hana Hudcová²¹, Miroslav Plotěný²²

Abstrakt

Anaerobní čistírny odpadních vod mohou být řešením i pro decentrální čištění odpadních vod. V případě využití odpadního tepla pro ohřev reaktoru se zvyšuje účinnost čistícího procesu. Moderním trendem pro decentrální čistírny odpadních vod je kombinace anaerobního předčištění s aerobním dočištěním.

Úvod

Použití anaerobního reaktoru je doporučeno tam, kde nejsou objekty trvale obývány nebo slouží jako předčištění před vegetačními čistírnami odpadních vod.

Je to nejstarší způsob čištění odpadních a díky intenzivnímu výzkumu a intenzifikaci procesů prožívá tento způsob čištění nový rozvoj. Výhodou je nízká spotřeba energie a schopnost čistit i bez napojení na zdroj energie, další výhodou je nízká produkce kalu. Nevýhodou naopak je potřeba větších objemů, účinnost a dosažení nízkých odtokových parametrů – proto se jako jediný stupeň nepoužívá nebo používá jen výjimečně. Anaerobní reaktory lze tedy použít jak pro domovní čistírny odpadních vod, tak i pro stabilizaci kalů. Současná ekonomická a legislativní situace v ČR prozatím nepřispívá k významnému rozvoji výstavby malých ČOV do 2000 EO v takové míře, jak by okolnosti vyžadovaly. Výstavba menších ČOV je v přepočtu výdajů na 1 EO dražší než v případě větších ČOV nad 2000 EO. V současnosti využívané systémy převažují aktivační systémy s aerobní stabilizací, které mají vysoké požadavky na specifický objem nádrží (min. doba zdržení 24h, tj. 100-120 litrů aktivační nádrže na 1EO). Provozní náklady těchto ČOV jsou neúměrně vysoké a spotřeba energie mimořádná.

Decentrální řešení

Dle dotazníku (Bodík, 2012) se podíl obyvatel žijících v sídlech menších než 2000 EO pohybuje v zemích střední a východní Evropy kolem 30%, na Slovensku kolem 51%, v Maďarsku 17% a v Rumunsku 5%. Procento připojených obyvatel na kanalizaci se ve střední Evropě pohybuje kolem 60%, přičemž v Rumunsku je napojeno 30% a v Estonsku 88%, v ČR kolem 78% obyvatel. Z uvedených dat vyplývá, že asi 10-15% obyvatelstva těchto zemí

¹⁶ Mgr. Darina Vinklárková, ASIO, spol. s r.o., Tuřanka 1, 627 00 Brno, tel. 548428125, e-mail: vinklarkova@asio.cz

¹⁷ Ing. Karel Plotěný, ASIO, spol. s r.o., Tuřanka 1, 627 00 Brno, tel. 548428118, e-mail: ploteny@asio.cz

¹⁸ Ing. Stanislav Piňos, ASIO, spol. s r.o., Tuřanka 1, 627 00 Brno, tel. 548428135, e-mail: pinos@asio.cz

¹⁹ Ing. Karol Kratochvíl, ASIO-SK s.r.o., ul. 1. mája, 014 01 Bytča, +4210 5540677, e-mail: kratochvil@asio.sk

²⁰ Ing. Miloš Rozkošný, Ph.D., VÚV, Mojžírovo nám. 16, 612 00 Brno, e-mail: milos_rozkosny@vuv.cz

²¹ Ing. Hana Hudcová, VÚV, Mojžírovo nám. 16, 612 00 Brno, e-mail: hana_hudcova@vuv.cz

²² Ing. Miroslav Plotěný, ASIO, spol. s r.o., Tuřanka 1, 627 00 Brno, tel. 548428131, e-mail: mploteny@asio.cz

nebude mít po roce 2015 přístup k žádné sanitaci, což neodpovídá evropským environmentálním ani sociálním standardům. Při čištění odpadních vod v malých obcích pod 2000 EO obecně přicházejí v úvahu tato řešení:

- 1) připojení malé obce na stokovou síť velkého města (závisí na vzdálenosti),
- 2) spojení většího počtu malých obcí a vybudování společné stokové sítě a ČOV – nutnost ekonomického zhodnocení toho řešení,
- 3) výstavba malých ČOV,
- 4) Použití separačních systému.

Dle předpokladů bude přibývat decentrálních řešení ve formě individuálních nebo skupinových ČOV. Odtoky z decentrálu však mohou ovlivnit také povrchové vody v území, takže bude nutno věnovat více pozornosti odstranění fosforu, zejména pokud se nacházejí v povodí nádrže. Zátěž z menších zdrojů můžeme snížit zasakováním, recyklací nebo dělením vod. Vzhledem k objemu a obsahu nutrientů v odpadní vodě (především dusíku a fosforu - denní produkce na 1 EO– 5 l hnědých vod a 60 l šedých vod, tj. cca N 9 g ,P 1,5 g a K 1 g) může být do budoucna zajímavá recyklace a separace šedých a žlutých vod s následným využitím. S rozvojem nových technologií směřují trendy k čištění, úpravě a dělení vod v místě vzniku – s použitím tepelných čerpadel, přírodních způsobů čištění odpadních vod a tzv. miniaturizovaných verzí technologií používaných ve velkých čistírnách až po speciální nano- a membránové technologie. Výběr anaerobní technologie s sebou může přinést velké úspory investičních a provozních nákladů.

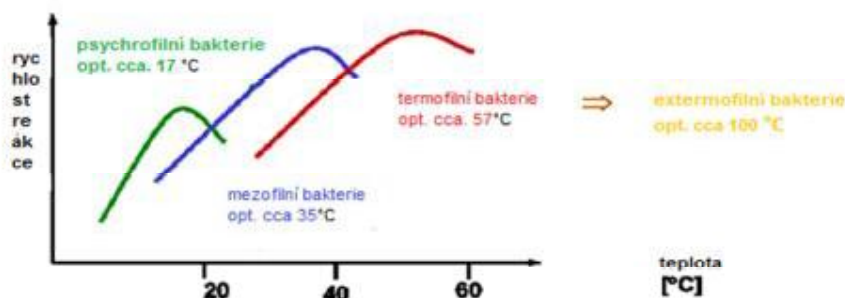
Vliv teploty na anaerobní proces

Pro anaerobní proces je zásadní rozklad organických látek, který je výslednicí součinnosti několika mikrobiálních skupin. Jejich metabolické procesy na sebe navazují. Produkty metabolismu jedné skupiny jsou substrátem pro skupinu další.

Rychlost reakce anaerobních bakterií je velmi závislá na teplotě (Bodík, 2000; Malý, 2006). Teplotní optimum je specifické podle organismů a pohybuje se v rozmezí od 20 do 80°C. Často je uváděno toto rozdělení viz. Graf 1. Teplotní průměr odpadních vod se pohybuje v psychrofilní oblasti (s výjimkou tropických zemí).

V případě psychrofilních teplot se snižuje rychlost hydrolýzy organických látek. Při semikontinuální a kontinuální kultivaci aktivita mikroorganismů plynule stoupá se vzrůstající teplotou. Hydrolýza při nižších teplotách omezuje anaerobní odbourávání organických látek (HUBER, 2010).

Obr 1: Teplotní závislost rychlosti reakce anaerobních bakterií



Experimentálně byl vliv teploty ověřen u anaerobního SBR reaktoru a nejvyšší účinnost odbourání CHSK a BSK₅ byla analyzována při 23°C.

Tab 1: Hlavní technologické charakteristiky a hodnoty CHSK, BSK₅ a NL na nátok a odtok v anaerobní SBR reaktoru (Bodík et al., 2010)

Teplota T (°C)	Doba zdržení (h)	nátok			odtok			Účinnost odstranění		
		CHSK mg.L ⁻¹	BSK ₅ mg.L ⁻¹	NL mg.L ⁻¹	CHSK mg.L ⁻¹	BSK ₅ mg.L ⁻¹	NL mg.L ⁻¹	CHSK %	BSK ₅ %	NL %
8	10	500	250	230	180	114	37	56	48	81
	20	520	260	230	150	54	40	69	76	84
	46	640	230	680	150	60	33	74	65	92
15	10	500	250	230	160	90	32	62	57	80
	20	520	260	230	150	70	30	72	73	83
	46	640	230	680	90	40	23	84	76	90
23	10	500	320	-	57	20	-	88	96	-
	20	730	390	107	90	53	28	87	86	75
	46	860	590	150	100	54	20	86	85	91

Porovnání aerobních a anaerobních procesů rozkladu organické hmoty

Mikrobiální rozklad organických látek probíhá v aerobním i anaerobním prostředí, ovšem s odlišnou mikroflórou a s rozdílným průběhem i konečnými produkty rozkladu. Z toho také vyplývá rozdílná bilance přeměn sloučenin uhlíku i energetická bilance uvedená v tabulce 2 a 3.

Tab 2: Porovnání bilance energie při aerobních a anaerobních procesech (Dohányos et al. 1998)

Produkt přeměny energie	Aerobní proces (%)	Anaerobní proces (%)
Produkce nové biomasy	60	5-7
Reakční teplo	40	3-5
Bioplyn	-	90

Tab 3: Porovnání energetické náročnosti aerobního a anaerobního čištění (Dohányos et al. 1998)

	jednotka	Aerobní proces	Anaerobní proces
Spotřeba el. energie	kWh/měsíc	130 000	28 000
Produkce bioplynu	m ³ /měsíc	0	69 000
Průměrná potřeba tepla	GJ/měsíc	69	340
Bioplyn využitelný	m ³ /měsíc	0	56 700
Využitelná energie	GJ/měsíc	0	14 300

Výhody anaerobního procesu:

- nízká spotřeba energie - není vynakládána na aeraci, naopak produkuje se bioplyn – energeticky cenný,
- nižší produkce biomasy (cca 10 krát),
- nízké požadavky na živiny (oproti anaerobnímu procesu nižší ve stejném poměru jako je produkce biomasy),
- možnost udržení vysoké koncentrace biomasy v reaktoru (není limitovaná rychlostí přestupu kyslíku).

Nevýhodami anaerobního procesu jsou:

- menší reakční rychlost (z toho vyplývá potřeba většího objemu reaktoru),
- vyšší zbytková koncentrace organických látek v odtoku (je nutné docíštění odpadní vody v aerobním stupni),
- citlivost methanogenních bakterií vůči vnějším podmínkám (výrazný vliv teploty na rychlost projektu aj.),
- dlouhá doba zapracování procesu (nižší růstová rychlost anaerobů).

Anaerobní biomasa

Řízené anaerobní procesy lze s výhodou využít také pro čištění odpadních vod s vysokou koncentrací organických látek, zejména z potravinářského průmyslu, např. z cukrovarů, lihovarů, pivovarů, škrobáren apod. a pro stabilizaci kalů z městských ČOV, výhledově snad i pro čištění odpadních vod s obsahem xenobiotik (Dohányos, 1998). Anaerobní organismy zpravidla vyžadují pevný nosič, kterým mohou být suspendované látky instalované do reaktoru.

Biofilm vzniklý v anaerobních podmínkách na pevném nosiči, je kompaktní vrstvou mikroorganismů. Složení společenstva mikroorganismů se výrazně liší stratifikací organismů navazující na sebe metabolickou činností i produktů jejich rozkladu. Parciální tlak vodíku je v povrchové vrstvě biofilmu větší než v kapalině, s hloubkou biofilmu však jeho koncentrace klesá. Vodík má regulační úlohu v rozkladném procesu.

Bakteriální agregace jsou typem bakteriální kultivace, který drží pohromadě elektrostatické síly a přírodní polymery. Jedná se o makroskopicky homogenní granule o velikosti 1-8 mm s hustotou biomasy - 1 g.cm³. Methanogenní aktivita granulí je vysoká a rozhodující je kvalita substrátu. granule se tvoří v mezofilních i termofilních podmínkách. Mezofilní granule však nelze použít jako inokulum pro termofilní proces.

Mikroorganismy anaerobního rozkladu dělíme na:

- hydrolytické a fermentační
- acetogenní (produkující vodík)
- homoacetogenní
- sulfátredukující a denitrifikační
- methanogenní

Wiegel (1990) rozděluje v tabulce 4 mikroorganismy do teplotních skupin podle jejich teplotního rozmezí a optimálních teplot.

Tab 4: Rozdělení mikroorganismů do teplotních skupin

baktérie	Tmin	Topt	Tmax
Psychrofilní	<0	<15	<20
Termotolerantní mesofily	<5	>15	>20
Mesofilní	<5	<45	<50
Termotolerantní termofily	<25	>45	>50
Termofilní	>25	>45	>50
Termotolerantní extrémní termofily	<45	>65	>70
Extrémní termofily	>45	>65	>70

Dle literární rešerše sestavené Bodíkem et al. (2010) byly shromážděny údaje o anaerobních reaktorech a jejich provozování při různých teplotách a srovnání účinnosti odstranění CHSK a BSK. Z výsledků je patrné, že anaerobie je účinnější při vyšších teplotách kolem 25°C.

Tab 5: Bodík et al. (2000) uvádí následující tabulku, ve které jsou shrnuta data z literární rešerše

Objem	Teplota	Doba zdržení	Nátok CHSK [mg.L ⁻¹]	Odtok CHSK [mg.L ⁻¹]	Odstranění CHSK [%]	Odstranění BSK [%]	Lokalita
20	15-16	10	0,4-0,9	170-303	49	-	Bergambach,
6	15-19	8	0,5-1	220	55	-	Netherland
20	12-18	9-11			49		Benekom, Netherland
35	23-27	5,2	430-520	145	65	80	Bucaramanga, Columbia
76,3	12	1,8	297	125	58	71	Japonsko
	24		286	89,6	69	80	
	28		394	106	73	73	
120	18-28	5-15	113-595	80-150	54-65	60-72	Sao Paulo Brazílie
200	15-25	12	-	92-198	49-78	69-83	Bombaj Indie
477		11,5	486-694	136-262	61-78	-	Itabira Brazílie
1200	20-30	6	563	149-178	68-74	69-75	Kanpur, Indie
4800	-	8	133-254	58-84	49-65	58-71	Mirzapur, Indie
12000	-	8	551-730	220-303	24-50	25-47	Kanpur, Indie

Optimální růstová teplota

Tepelnou limitací bakteriálního růstu je denaturace enzymů a nukleových kyselin při zvyšující se teplotě. Běžné teplotní rozmezí růstu je 20-40°C, avšak některé anaerobní bakterie mohou mít mnohem větší rozmezí, např. *Methanobacterium thermoautotrophicum* může růst od 22 do 78°C (Wiegel, 1990). Spodní hranicí je teplotní minimum pro psychrofilní bakterie kolem 5°C. Výsledky experimentálních zhodnocení ukazují, že přímá adaptace obyčejných mezofilních bakterií na termofilní není možná. Např. Wiegel (1990) a Tsien et al. (1980) pokládají adaptaci mezofilních mikroorganismů na termofilní za možnou.

Mechanismus adaptace na vyšší teplotu je i nadále studován. Termofilové mají obecně vyšší obsah nasycených mastných kyselin a jejich enzymy obsahují více siřných aminokyselin a více S-S vazeb.

Vyšší teplota má vliv i na rychlost všech chemických a biologických reakcí. Biologické reakce jsou však limitovány tepelným rozmezím pro růst daného mikroorganismu.

Teplota má vliv na:

rychlost růstu, rozpustnost plynů a solí, snížení viskozity, rychlost difuze, disociaci některých látek (amoniak, mastné kyseliny). Množství nedisociovaného amoniaku je funkcí pH a teploty. Produkce biomasy je za termofilních podmínek nižší než za mezofilních.

Rychlost růstu bakterií je závislá na čase, koncentraci biomasy a specifické růstové rychlosti. Růstové rychlosti termofilů jsou 2-3 krát vyšší než u mezofilů, pak i odstraňování rozpuštěného substrátu může být limitováno difuzí. Zvýšená teplota má za následek snížení viskozity reakční směsi, zlepšuje separovatelnost tuhých částic a zvyšuje možnost flotace vloček kalu vznikajícím bioplynem.

Vliv termofilních podmínek na různé stupně rozkladu:

1/ Acidogenezi – není limitujícím stupněm pro rychlost. Fermentačním baktériím nepůsobí potíže adaptace na zvyšující se dobu zdržení.

2/ Acetogeneze – závislost na problematice mezidruhového transportu vodíku.

3/ Metanogeneze – obecně se udává, že při termofilním rozkladu je spektrum produktů a meziproductů acidogenních fermentačních bakterií podstatně užší než za mezofilních podmínek jak uvádí Witner a Zellner (1990).

Anaerobní rozklad je charakterizován řadou rozkladných stupňů (hydrolyza, acidogeneze, acetogeneze, metanogeneze). Obecně reakční rychlost s rostoucí teplotou vzrůstá. Každá reakce může mít jinou teplotní závislost. Teplota má významný vliv na reakce vně i uvnitř mikrobiálních buněk a je rozhodujícím faktorem zda daná reakce proběhne či neproběhne. Vnitrobuněčné prostředí potřebuje dostatečnou adaptaci, aby se stalo rezistentní vůči teplotě.

Tab 6: Předpoklad míry účinnosti při použití AnSBR

Teplota vody	Hydraulický čas zdržení	CHSK účinnost odstranění
10°C	20 h	70-80%
10°C	10 h	60%
20°C	10 h	80%

Nízké teploty v DČOV v mírném a chladném klimatu jsou považovány za hlavní překážku rozšíření anaerobních procesů, protože energetické požadavky na ohřev velkých objemů odpadních vod převažují nad potenciálem využití OV. Martin et al. (2011) zjistil, že nátok CHSK vyšší než 4-5 g/L je řádově větší než v prezentovaný v typické DČOV a měl by být dostatečný pro produkci dostatku bioplynu pro ohřátí bioreaktoru na mezofilní teplotu.

První provozní termofilní anaerobní stabilizace kalů byla postavena v letech 1942-44. Pro rozklad organických látek byly zjištěny dvě optima, jedno při 42°C pro mezofily a druhé při 60°C pro termofily. Výhodou termofilní anaerobní stabilizace je snížení obsahu patogenů, tj. při 50°C to je o dva řády méně než při 36°C, zároveň prudký i pokles parazitů a virů. Vyšší obsah mastných kyselin v kalové vodě je nevýhodou a může být příčinou nižší stabilizace.

Výkonnost anaerobního reaktoru je ovlivněna dalšími vstupními hodnotami uvedenými v tabulce 8.

Tab 7: Závislost vstupních parametrů na konstrukčních parametrech anaerobních reaktorů

Důležité vstupní údaje	Závislosti	Hodnotící parametr
Množství biomasy v reaktoru	Konstrukce reaktoru a provozních podmínkách	Teplota objemové zatížení reaktoru CHSK $\text{kg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$
Aktivita biomasy	Provozní teplota a způsob kultivace biomasy látkové a hydraulické zatížení (ovlivňuje stáří, mikrobiální složení)	Látkové zatížení biomasy CHSK $\text{kg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$ Hydraulické zatížení resp. doba zdržení odpadní vody
Složení odpadní vody	Biologické rozložitelnosti organických látek i jejich koncentrace, přítomnost dalších sloučenin (toxických, nutričních)	Recirkulační poměr (poměr mezi vrácenou a přiváděnou odpadní vodou) Kvalita přiváděné a vyčištěné vody – ukazatelem CHSK
Styk biomasy se substrátem odpadní vody	Konstrukce reaktoru a způsobu provozování	Koncentrace biomasy v reaktoru Produkce bioplynu vztážená k časovému období Kvalita bioplynu

Typy anaerobních reaktorů

Níže je uveden přehled typů reaktorů použitelných, jak pro čištění odpadních vod, tak pro stabilizaci kalů. Nejpoužívanější jsou UASB reaktory.

- Reaktor s biomasou v suspenzi

Míchané nádrže a pro udržení vysoké koncentrace je nutná separace vyčištěné vody. Separace může proběhnout buď v reaktoru nebo mimo něj. Běžná je sedimentace v usazovací nádrži, nebo v reaktoru aerobní SBR, popř. flotací do flotátoru. Z novějších postupů se nabízí použití ultrafiltrace membránami o velikosti pórů 0,01-0,1 μm umístěných přímo v reaktoru nebo mimo něj.

- Reaktory s biomasou na pevném, nepohyblivém nosiči

Nosičem biomasy může být plast, kameny, keramická náplň, trubky apod. umístěné v koloně. Náplň by měla mít specifický povrch 100-200 $\text{m}^2.\text{m}^{-3}$.

- Reaktor s pohyblivým nosičem

Tzv. biodiskové reaktory přičemž ponor disků může být větší než u aerobních reaktorů. Výkonnost reaktoru je vztahena k ploše nosiče.

- Reaktor s náplní ve vznosu

Biomasa roste na povrchu interního nosiče, většinou zrnitého materiálu s velkým specifickým povrchem.

Důležité je rovnoměrné rozdělení průtoku na celou plochu průřezu reaktoru. Úniky suspenze jsou odstraněny vestavbou podobnou jako u štěrbínových nádrží. Výhodami toho procesu:

- a) nehrozí ucpání
- b) snadnější manipulace s náplní a možnost regulace množství biomasy
- c) lepší hydraulické poměry
- d) větší koncentrace biomasy v reaktoru

Dle expanze (poměr výšky vrstvy nosiče v expandovaném a klidovém stavu) se dělí reaktory na:

- reaktory s fluidním ložem
- reaktory s expandovaným ložem

- Reaktor s kalovým mrakem

Odpadní voda zde reaguje s granulovanou anaerobní biomasou. Dle způsobu zachycení suspendovaných látek kalu, které jsou částečně ve vznosu (hlavně bioplynem) jsou nejpoužívanější reaktory UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

Náměty z praxe

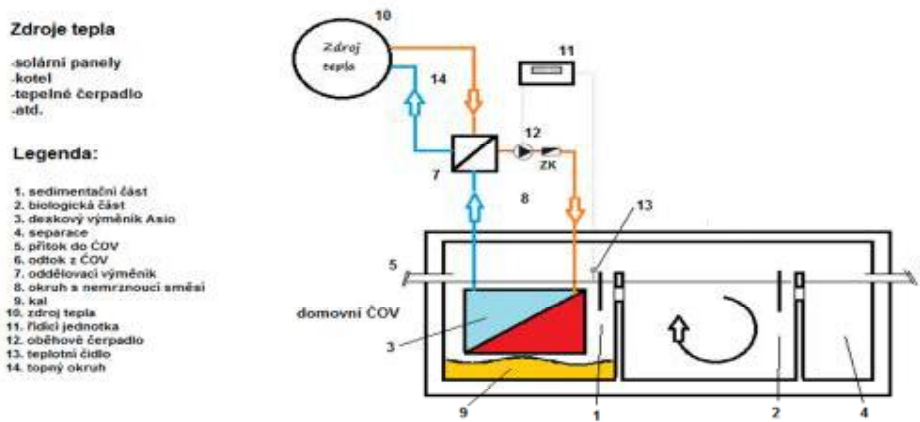
Nápad s dodatečným vyhříváním reaktoru není nový, ale novátorská je myšlenka udržitelného systému čištění odpadních vod a využití odpadního tepla. Zvýšením teploty u anaerobního reaktoru se podstatně zvýší účinnost procesu a jeho rentabilita. Jsou známy velké průmyslové anaerobní reaktory nebo zařízení na zpracování kalu, které se ohřívají samočinně. U domovních čistíren, se tento postup zatím neuplatňoval.

Námi navržený systém počítá s vložením tepelného výměníku za účelem ohřevu čištěné vody a urychlení stabilizace kalu do nátokové části biologické anaerobní části a dalšího stupně nebo stupňů dočištění (dosazovák, filtrace, elektrochemické procesy aj.).

Zvýšením teploty vody a kalu v čistírně a jejím udržováním v určitém rozmezí lze dosáhnout zvýšení účinnosti anaerobních čistících procesů. Anaerobní ČOV pak může mít menší rozměry a/nebo je dosaženo lepších odtokových parametrů souvisejících s odstraněním organických látek z vody, zároveň se urychlí stabilizace kalu a sníží se množství kalu, který má být z ČOV odvážen. Tento způsob ve většině případů předpokládá ještě další způsob dočištění po anaerobních procesech – např. sorpčním stupněm, elektrochemickým stupněm nebo chemickým stupněm určeným k odstranění dalšího specifického znečištění. Lepší předčištění však dále zvýší účinnost těchto následných stupňů. Pro samotný ohřev lze s výhodou využít např. energii ze slunečního záření nebo větrné energie.

Samozřejmě i tato technologie se sebou přináší nevýhody a rizika při poklesu teplot pod 30°C. Problémy mohou nastat i při velkém kolísání koncentrací a průtoků, kde může

docházet ke zhoršení kvality parametrů na odtoku. Také při vyšší koncentraci síranů a nerozpuštěných látek může dojít i inhibici mikrobiálního rozkladu.



Obr 2: Návrh tepelného výměníku pro ohřev anaerobního reaktoru

Závěr

Anaerobní procesy mohou být použity i pro decentralní systém čištění odpadních vod. V rozvojových zemích jsou anaerobní reaktory často využívány jako jednoduché efektivní zařízení. Ve vyspělých zemích jsou anaerobní reaktory sofistikované systémy, které jsou využívány i jako velkokapacitní zařízení pro recyklaci energií. Při zhodnocení anaerobního čištění odpadních vod je nutno vzít v úvahu pořizovací náklady, investici, provoz zařízení, účinnost, spolehlivost, snadnou obsluhu, úspory a recyklaci a produkci odpadů. Zvýšenou účinnost odstranění znečištění zajistí zvýšená teplota reaktoru a následné dočištění pomocí elektrochemických, sorpčních a membránových technologií. Nadějným se jeví využití odpadního tepla nebo solárních panelů na ohřev anaerobního reaktoru. Tento systém by měl být dostupný pro rekreační objekty či individuální zástavbu.

Poděkování

Tento článek vznikl za finanční podpory agentury TAČR z projektu TA02021032 "Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů".

Literatura

Entwicklung eines anaeroben Hochleistungsreaktor zur Behandlung von kommunalen Abwasser mit Hilfe einer Ultrafiltrationsmembran bei mesophilem und psychrophilem Betrieb, Schlussbericht. HUBER Technology. 2010.

Malý, J., Malá, J.: Chemie a technologie vody. Vydavatelství ARDEC. 2006. s. 331. ISBN 80-86020-50-9.

Bodík, I., Herdová, B., Drtil, M.: Anaerobic treatment of the municipal wastewater under psychrophilic conditions. 2000. Springer-Verlag.. Bioprocess Engineering 22, s. 385-390.

Wiegel, J.: Temperature spans for growth: hypothesis and discussion. *FEMS Microbiol. Rev.* 1990. 75. s. 155-170.

Tsien, H., Panos, C.H., Shockman, G.D., Higgins, M.L.: Evidence that *Streptococcus mutans* constructs its membranes with excess fluidity for survival at suboptimal temperatures. 1980. *J. Gen. Microbiol.* 121. s. 105-111.

Winter, J., Zellner, G.: Thermophilic anaerobic degradation of carbohydrates – metabolic properties of microorganisms from the different phases. 1990. *FEMS Microbiol. Rev.*, 75. s. 139-153.

Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P., Fialka, P., Kajan, M.: Anaerobní čistírenské technologie. 1998. Vydavatelství NOEL 2000 s.r.o.. s. 343.

Martin, I., Pidou, M., Soares, A., Judd, S., Jefferson, B., 2011. Modelling the energy demands of aerobic and anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment. *Environ. Technol.* 32, 921–932.

Bodík, I., Boscornea, C., Istenič, D., Zakharchenko, M.: GWP CEE Regional Study, Natural processes of wastewater treatment – actual status in CEE countries. 2012. Bratislava. s.43.