

Čistírenství a vodárenství

Syllabus

- Typy a zdroje odpadních vod
- Komunální odpadní vody
- Typy technologií
- Biotechnologie
 - Nativní postupy
 - Biotechnologické postupy
 - Aerobní a anerobní postupy
- Chemické a fyzikální metody

Syllabus - vodárenství

- Zdroje surové vody
- Hygienické a ekologické požadavky na zdroje
- Technologie přípravy, dopravy a skladování pitné vody
- Rizika – hygienické požadavky, možnosti přenosu patogenů

Typy odpadních vod

- Hnilobné odp. vody – biochemicky rozložitelné látky
- Toxické odp. vody
- Odp. vody s anorganickými kaly
- Oteplené vody
- Radioaktivní vody
- Odp. vody s patogenními zárodky

Zdroje odpadních vod

- Plošné a liniové
 - zemědělství a doprava
- Bodové
 - Průmyslové odpadní vody
 - Výrobní závody – strojírenství, chemický průmysl
 - Těžební průmysl a stavebnictví
 - Transportní průmysl – (depa, opravy aj.)
 - Sklárky prům- a chem. odpadů
 - Zemědělské odpadní vody
 - Objekty a činnost
 - Sklárky - hnojiště, siláže, atd.
 - Komunální odpadní vody
 - Aglomerace – sídla
 - Drobný potravinářský průmysl
 - Sklárky komunálního odpadu

Průměrné složení komunálních odpadních vod

	Koncentrace (mg.l ⁻¹)
Celkové množství nerozpuštěných látek	700
Rozpuštěných	500
Fixovaných	300
Těkavých	200
Suspendovaných	200
Fixovaných	50
Těkavých	150
BSK	300
CHSK	400
Celkový organický uhlík (TOC)	200
Dusík (jako N)	40
Organický N	15
Volný amoniak	25
Dusitany	0
Dusičnany	0
Fosfor (jako P)	10
Organický P	3
Anorganický P	7
Tuky	100

Produkce znečištění na ekvivalentního obyvatele

Ukazatel znečištění	Jednotka	Hodnota
Nerozpuštěné látky	g	55
BSK ₅	g	60
CHSK	g	109
C _{org}	g	40
BSK ₅ /CHSK	-	0,55
C _{org} /CHSK	-	0.37
BSK ₅ /C _{org}	-	1,50
Celkový N	g	12
Celkový P	g	2-4*
Extrahovatelné látky	g	15

* V závislosti na spotřebě syntetických detergentů

Jakost vod – biochemické znečištění

- Fyzikálně-chemický rozbor vod
 - časově, technicky a ekonomicky náročný
 - výsledky poplatné systému vzorkování
- Biochemické stanovení
 - biochemická spotřeba kyslíku
 - biochemická (extracelulární) aktivita bakteriálních (houbových) enzymů
- Biomonitoring

Základní dělení

- Mechanické čištění odpadních vod
- Chemické čištění průmyslových odpadních vod
- Biologické (biochemické) čištění odpadních vod
 - Přírodní (nativní) metody
 - Biotechnologické metody

Mechanické čištění odpadních vod

- Gravitační metody
 - Sedimentační nádrže, dosazovací nádrže, lapoly
- Filtrační metody
 - Hrubá filtrace – česla, síta
 - Jemná filtrace – štěrkové a pískové filtry
 - Ultrajemná filtrace – membránové filtry

Chemické čištění průmyslových odpadních vod

- Neutralizační reakce
- Srážecí reakce
- Adsorpce a absorpce
- Flotační metody
- Iontové metody

Biologické (biochemické) čištění odpadních vod

- Nativní - přírodní metody
 - Půdní filtrace
 - Velmi omezené užití, vhodná půda (štěkopísky), riziko ohrožení podzemních vod



– Závlahy

- Metody:

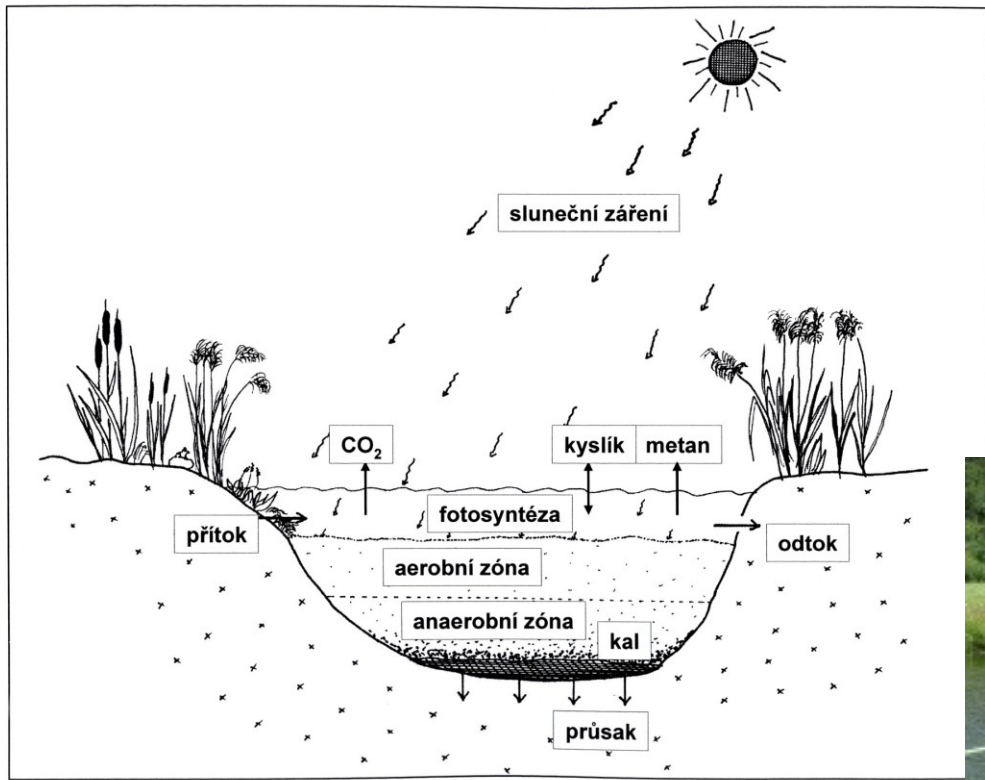
- Podmok – velmi podobné půdní filtraci, zavedení vody např. do drenážního systému
- Přeron – povrchové rozvedení vody např. závlahovým systémem
- Výtopa a postřik (zatopení plochy a nebo využití závlahových systémů)

- Velká plocha v desítkách ha
- Možné využití na dočištění odpadních vod s velkým obsahem živin
- Riziko havárie – náhlý přeron a místní bodové znečištění
- Orná půda – 30m³/den
- Louky až 90m³/den

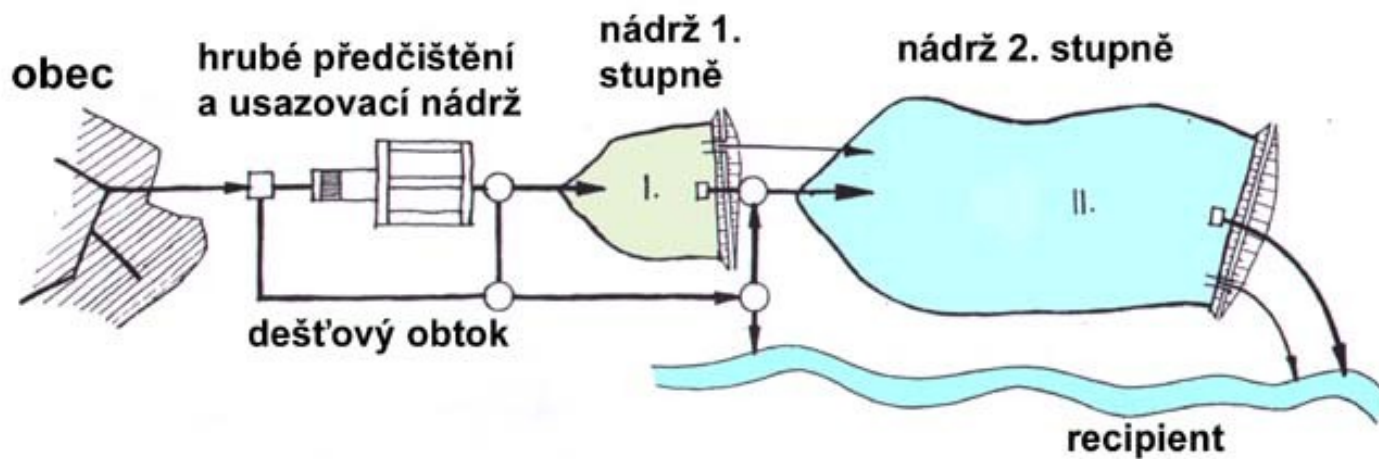
Nádrže - rybníky

- Akumulační rybníky
 - Kampaňové vody, bezodtokový systém
 - Vývoj: sedimentace – anaerobie; vytvoření eufotické zóny – sinice a řasy – aerobní vrstva; rozvoj fyto a zooplanktonu; možnost nasazení ryb.
- Asimilační rybníky
 - Odtokový systém, trvale ztěžování odpadními vodami, nutné mechanické předčištění, riziko místní a celkové anoxie, udržování chemismu vody (amoniak, vápník, pH), velikost a složení rybí obsádky
- Stabilizační (Pytlíkovy) rybníky
 - Soustava nádrží – sedimentační, asimilační, dočišťovací – produkční rybník; trvalé sledování a údržba, velikost a složení rybí obsádky

Asimilační nádrž



Stabilizační rybníky

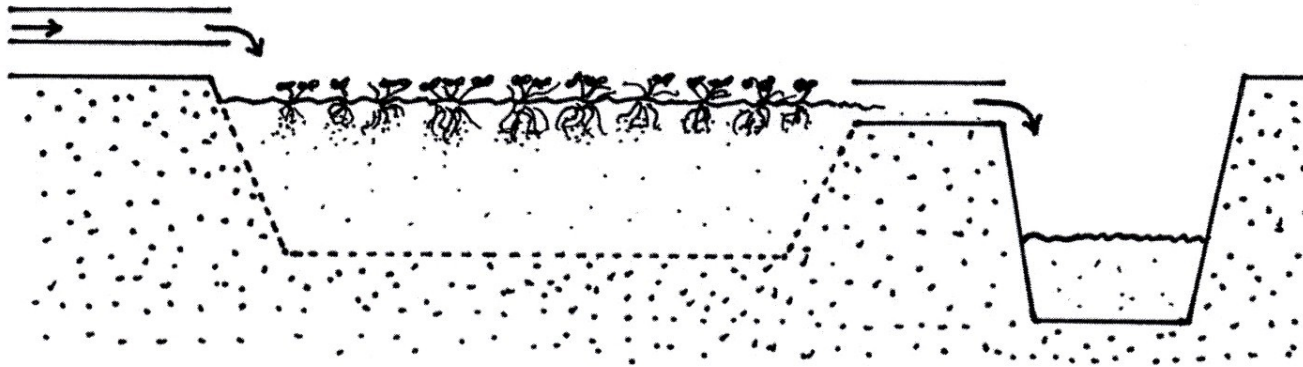




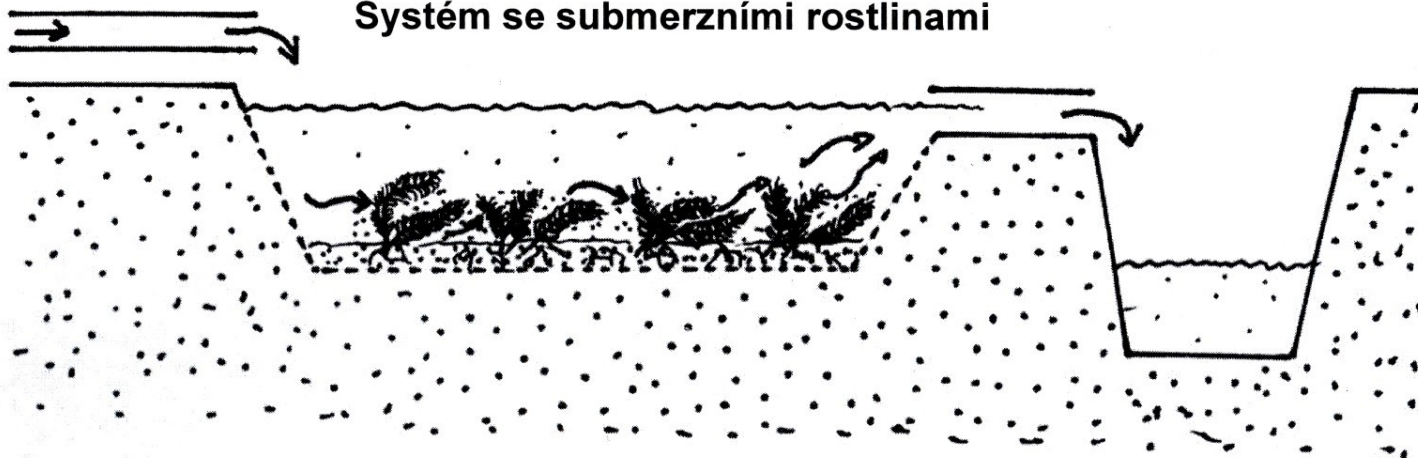
Vegetační čistírny

- Čistírny s natantní nebo submerzní vegetací
 - Okřešky (*Lemna* sp.), tokozelka nadmutá (*Eichhornia crasipes*)
 - Biokoncentrace kovů, odstraňování živin, akumulace některých organických polutantů
 - Pravidelné odebírání vegetace, údržba a dávkování (složení vody)
 - Likvidace sklizené vegetace

System s plovoucími rostlinami



System se submerzními rostlinami

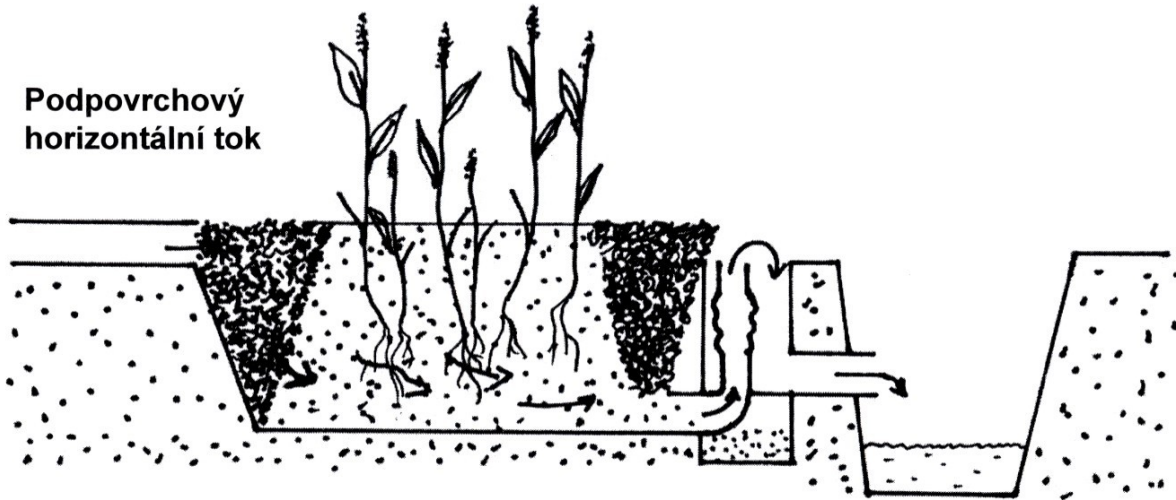


Vegetační čistírny

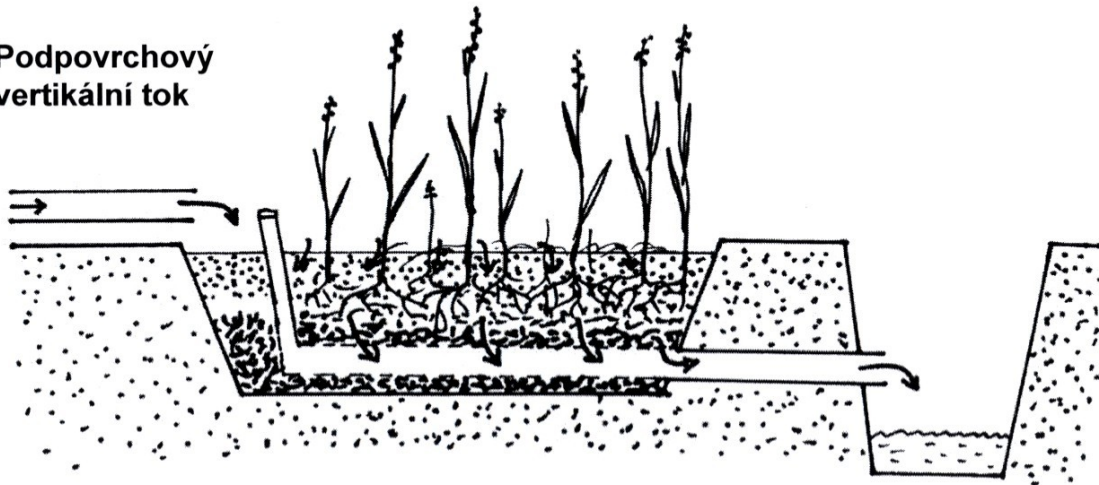
- Kořenové čistírny (vždy nutné mechanické předčištění)
 - Typ Seidel
 - Nádrž z pevným dnem, náplň štěrkopísek, hl. do 1m,
 - Osázení: Rákosy, skřípince, orobince, kosatce – nutná pravidelná sklizeň
 - Účinnost srovnatelná s aktivací v BSK₅ a CHSK
 - Nitrifikace jen částečná, defosforylace žádná
 - Při dočišťování – spotřeba živin N, P

System s emerzními rostlinami

Podpovrchový
horizontální tok



Podpovrchový
vertikální tok



● Kořenové čistírny

– Typ Kickuth

- Využití původního mokřadu a písčitých a štěrkopísčitých půdách
- Porost přirozený – rákos, orobince
- Aerobní zóna podél kořenů – nitrifikační zóna
- Anaerobní zóna – denitrifikace
- Neodebírání se úroda, v suchém materiálu depozice živin
- Účinnost závisí na obsluze a klimatu
- 1 ekv. Obyvatel 2 – 3 m³, tj. obce nad 5 tis. Obyvatel – velikost čistírny 10 – 15 tis m³



Účinnost kořenových ČOV

Parametr	přítok (mg/l)	odtok (mg/l)	účinnost (%)	K
BSK ₅	160	15,3	86,1	38
CHSK	352	60,0	75,9	30
NL	165	14,5	82,3	38
P _{celk.}	5,8	2,95	42,4	21
N _{celk.}	54,2	27,0	42,6	14
NH ₄ ⁺ -N	30,9	18,4	33,6	25
NO ₃ ⁻ -N	6,9	4,6	25,8	10

Výhody

- nízké provozní náklady
- nízké energetické požadavky
- mohou být postaveny u zdroje odpadní vody
- více flexibilní a méně náchylní na náhlé přetížení
- biomasa se může sklízet na krmivo pro zvířata nebo do kompostu
- sklizená biomasa může být využita jako palivo

Nevýhody

- vyžadují velké zábory půdy
- není využití pro velké objemy odtoků
- snížená schopnost provozu v zimě
- malá kapacita pro odstranění patogenů na výtoku
- mohou být náchylné na vysoké hladiny polutantů jako např. toxické kovy

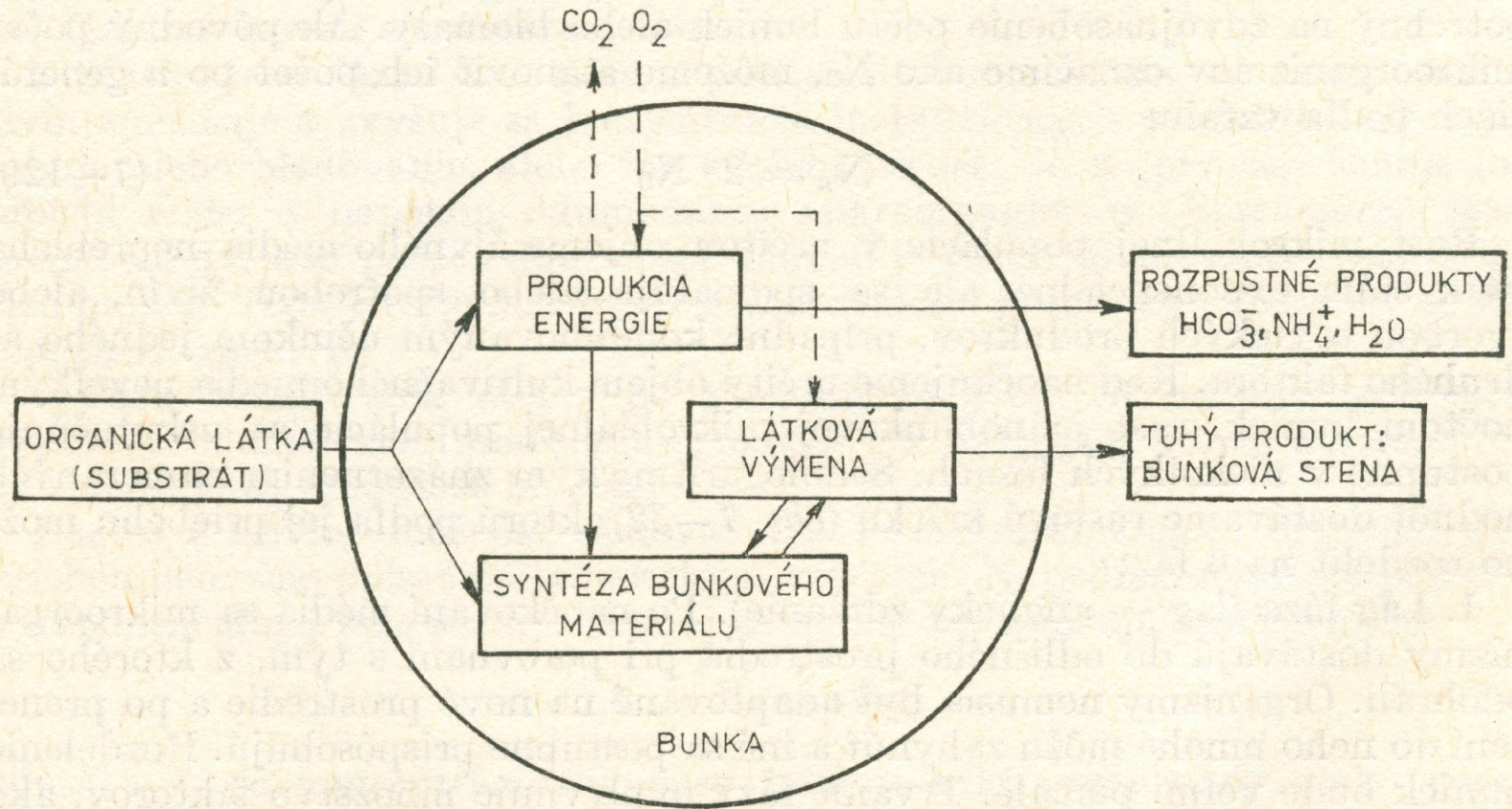
Biotechnologické metody

- Aerobní procesy
 - Biologická skrápěná tělesa – biofiltry
 - Biodiskové čistírny
 - Aktivační čistírny
- Anaerobní procesy
 - Stacionární systémy – žumpy, septiky, emšerské studny.....
 - Vyhnívací reaktory

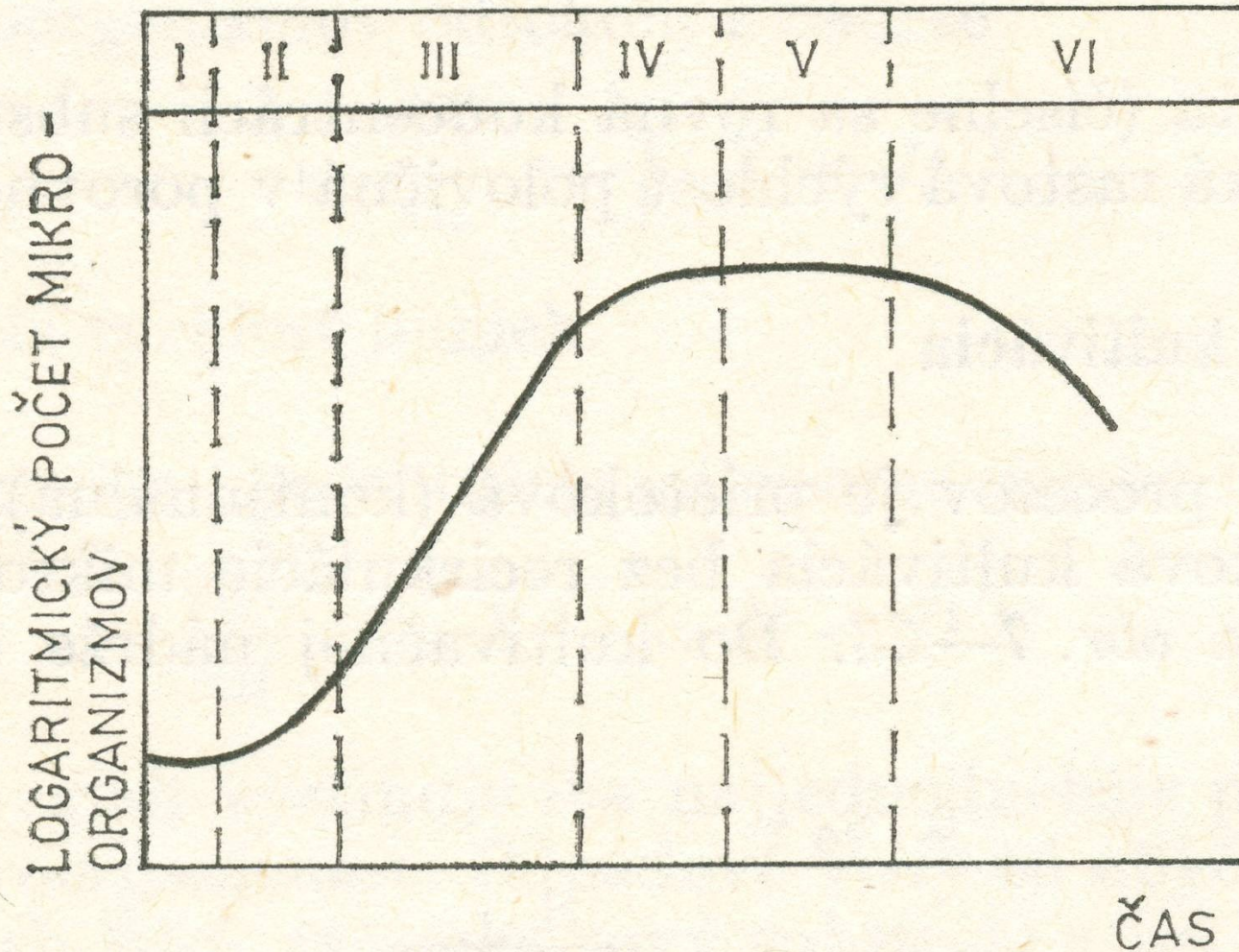
Principy aerobního rozkladu

- Trvalá přítomnost rozpuštěného O_2 – optimálně do 2 mg/l
- Dva stupně
 - Bioticko - oxidační rozklad organických látek za produkce CO_2 a H_2O – karbonizační stupeň
 - Biotická oxidace NH_4 iontů na NO_2 , NO_3 – nitrifikační stupeň
- Razantní spolupůsobení různých kmenů aerobních hub, bakterií, prvoků a i vyšších organismů

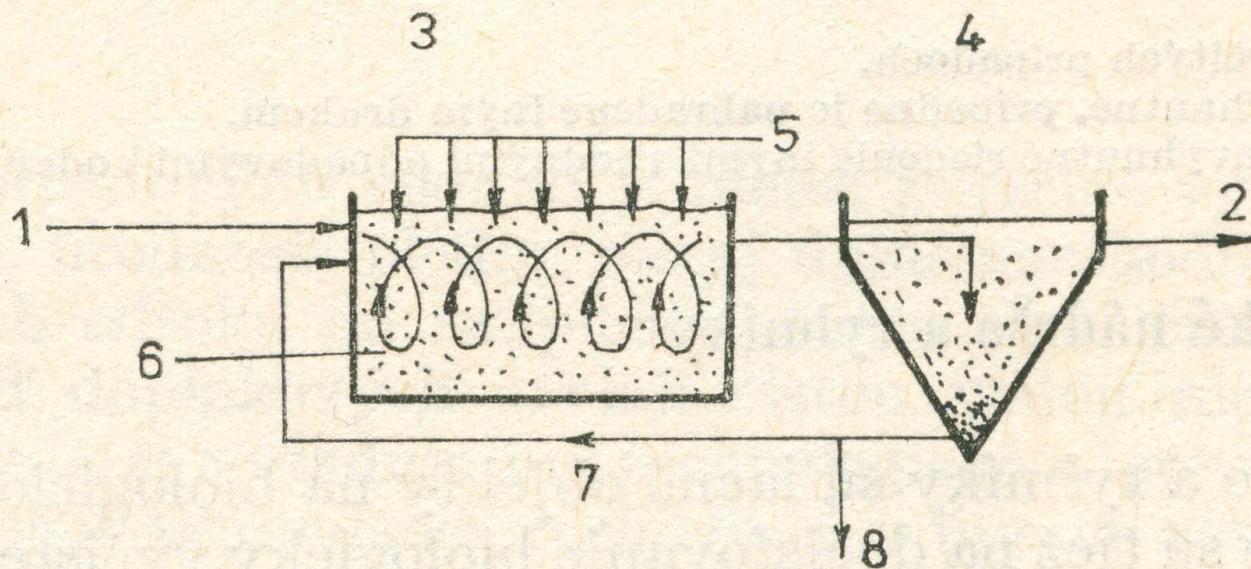
Rozložitelnost organických látek



Parametry biochemického rozkladu

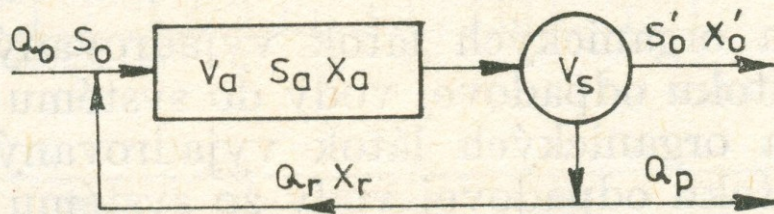


Aktivace – aktivovaný kal



Obr. 10—23. Schéma aktivácie

1 – prítok odpadovej vody, 2 – odtok vyčistenej odpadovej vody, 3 – aktivačná nádrž, 4 – sedimentačná nádrž, 5 – kyslík, 6 – aktivačná zmes, 7 – vratný kal, 8 – nadbytočný kal



Obr. 10—24. Základné parametre aktivácie

Čas zdržania T_a (h)

$$T_a = \frac{V_a}{Q_o} \quad (10-10)$$

kde V_a je objem aktivačnej nádrže (m^3),
 Q_o — prítok odpadovej vody ($m^3 \cdot h^{-1}$).

V praxi sa niekedy počíta aj čas zdržania zmesi odpadovej vody a vratného kalu

$$T'_a = \frac{V_a}{Q_o + Q_r} \quad (10-11)$$

kde Q_r je prítok vratného kalu ($m^3 \cdot h^{-1}$).

Vek kalu A (deň)

$$A = \frac{V_a X_a}{24 [Q_p X_r + (Q_o - Q_p) X'_o]} \quad (10-12)$$

kde Q_p je prítok nadbytočného kalu ($m^3 \cdot h^{-1}$),
 X_a — koncentrácia sušiny kalu (alebo organickej sušiny) v aktivačnej nádrži ($kg \cdot m^{-3}$),
 X_r — koncentrácia sušiny kalu (alebo organickej sušiny) vo vratnom kale ($kg \cdot m^{-3}$),
 X'_o — koncentrácia suspendovaných látok v odtoku zo sekundárnej sedimentačnej nádrže ($kg \cdot m^{-3}$).

Čistiaci účinok E (%)

$$E = \frac{S_o - S'_o}{S_o} \cdot 100 \quad (10-13)$$

kde S_o je koncentrácia organických látok vyjadrovaných ako BSK₅ alebo CHSK v prítoku odpadovej vody do systému ($kg \cdot m^{-3}$),

S'_o — koncentrácia organických látok vyjadrovaných ako BSK₅ alebo CHSK v odtoku odpadovej vody zo systému ($kg \cdot m^{-3}$).

Podľa čistiacieho účinku rozoznávame systémy s vysokou účinnosťou (95 % redukcia BSK₅) so strednou účinnosťou (asi 90 %), nízkou účinnosťou (80 %) a s čiastočným čistením (nižšie 70 %).

Látkové objemové zafazenie L_o ($kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$) organických látok vyjadrených najčastejšie ako BSK₅

$$L_o = \frac{24 Q_o S_o}{V_a} = \frac{24 S_o}{T} \quad (10-14)$$

Vyjadruje množstvo organických látok v odpadovej vode, ktoré privádzame na jednotku priestoru aktivačnej nádrže za časovú jednotku. Vzťah látkového objemového zafazenia k čistiacemu účinku je dostatočne voľný.

Zafazenie kalu L_k ($kg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$)

$$L_k = \frac{24 Q_o S_o}{V_a X_a} = \frac{24 S_o}{X_a T} = \frac{L_o}{X_a} \quad (10-15)$$

Je to dôležitý parameter, ktorý ukazuje koľko potravy (organických látok) majú k dispozícii mikroorganizmy prítomné v oživenom kale. V praxi sa určuje ako hmotnosť organických látok privádzaná na 1 kg sušiny kalu za deň. Pre produkciu kalu je dôležité odstrániť zafazenie kalu, ktoré je súčinom zafazenia kalu a čistiacieho účinku (deleného 100).

Kalový index (KI) ($l \cdot kg^{-1}$)

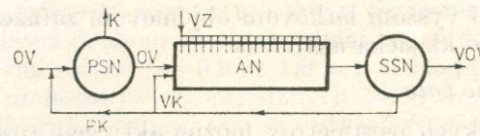
$$(KI) = \frac{10 V_{30}}{X} \quad (10-16)$$

kde V_{30} je objem kalu po 30 min sedimentácie v % k objemu na začiatku,
 X — koncentrácia sušiny kalu ($kg \cdot m^{-3}$).

Recirkulačný pomer r

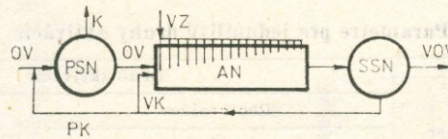
$$r = \frac{Q_r}{Q_o} \quad (10-17)$$

Odstupňovaná aerácia má podobnú schému ako klasická, len prívod vzduchu je rozdelený nerovnomerne, t. j. množstvom pridávaného kyslíka sa znižuje postupne pozdĺž nádrže v smere prietoku, súčasne so znížením koncentrácie organického znečistenia (obr. 10—29).



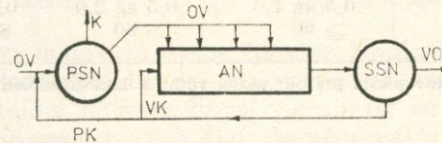
Obr. 10—28. Klasická aktivácia

PSN — primárna sedimentačná nádrž, AN — aktivačná nádrž, SSN — sekundárna sedimentačná nádrž, RN — regeneračná nádrž, VZ — vzduch, OV — odpadová voda, VOV — vyčistená odpadová voda, VK — vratný kal, PK — nadbytočný kal, K — kal



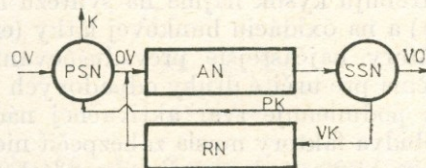
Obr. 10—29. Odstupňovaná aktivácia

Postupne zatažovaná aktivácia (obr. 10—30) sa vyznačuje tým, že odpadová voda sa privádza na niekoľkých miestach pozdĺž nádrže, čím sa vyrovnáva zataženie nádrže, a tým aj rýchlosť spotreby kyslíka v nádrži. Postupne zatažovanú aktiváciu možno objemovo viac zatažiť (nad $0,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) ako klasickú aktiváciu.



Obr. 10—30. Postupne zatažovaná aktivácia

Aktivácia s oddelenou regeneráciou kalu je na obr. 10—31. Odpadová voda a oživený kal v aktivačnej nádrži sa prevzdušňujú pomerne krátky čas

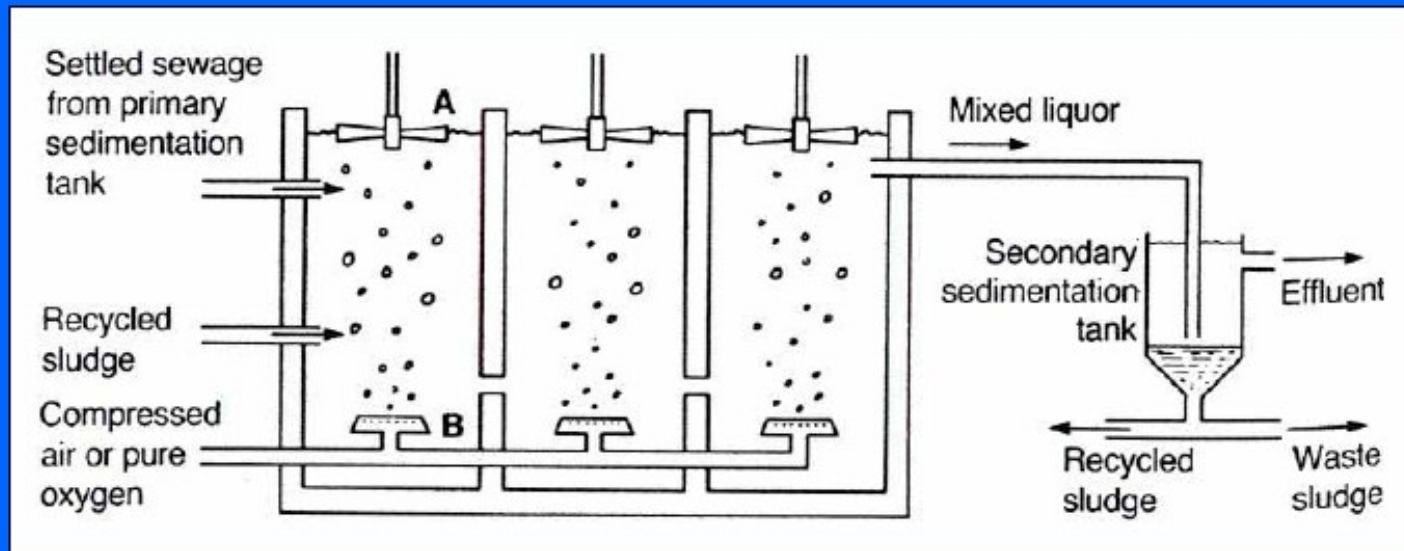


Obr. 10—31. Aktivácia s oddelenou regeneráciou kalu

Aktivace

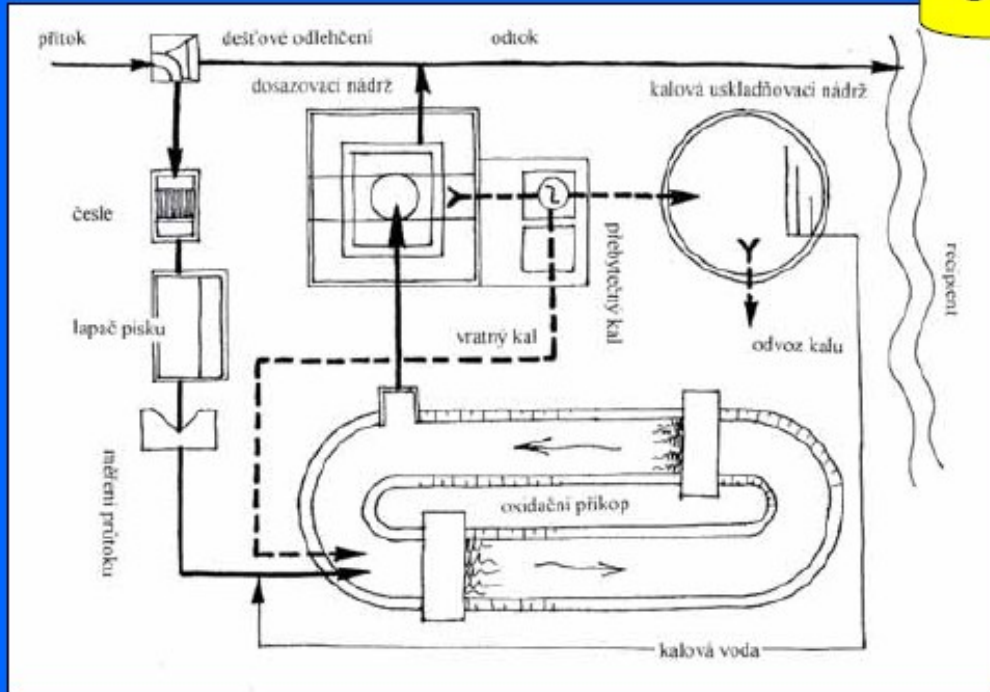


Aerobní čištění směsnou kulturou ve vzosu





Oxidační příkop

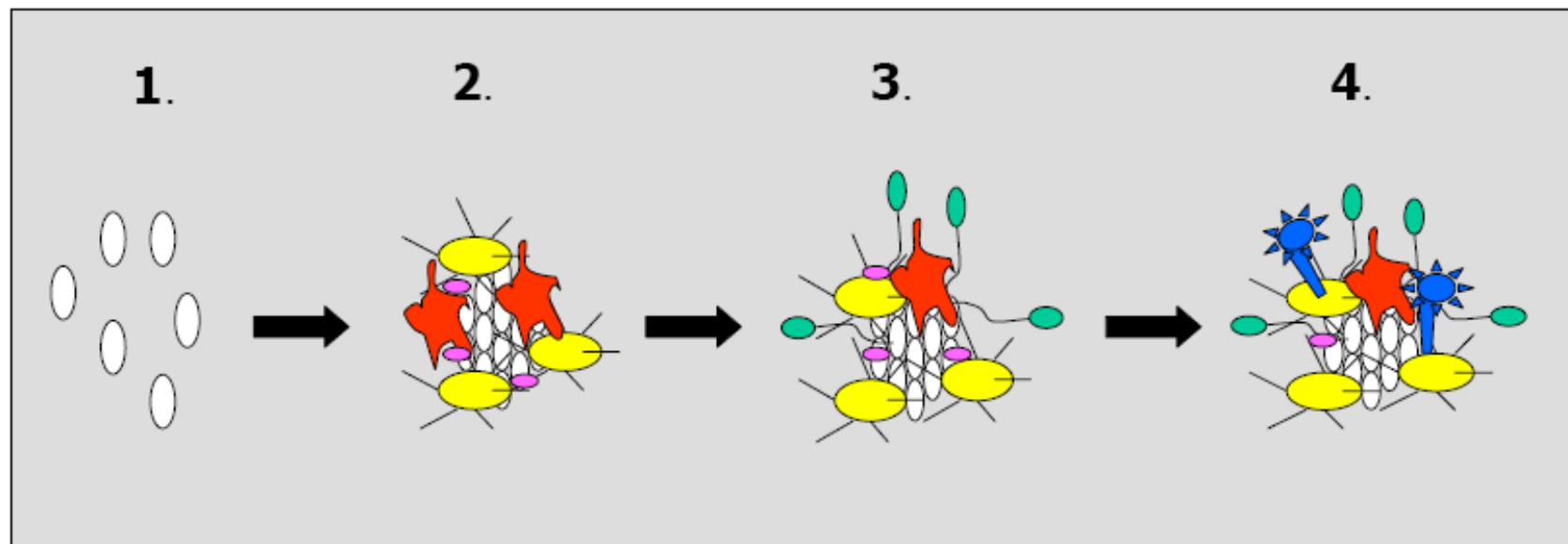


Parametre pre jednotlivé druhy aktivácie

Parameter, symbol, rozmer	Druh aktivácie			
	dlhotrvajúca		úplná	čiastočná
	s úplnou stabilizáciou kalu	s čiastočnou stabilizáciou kalu		
Zaťaženie kalu L_k (kg · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	0,02 až 0,08	0,08 až 0,15	0,25 až 0,65	1,0 až 2,5
Objemové látkové zaťaženie L_0 (kg · m ⁻³ · d ⁻¹)	0,1 až 0,5	0,15 až 0,70	1,1 až 2,7	> 3,6
Čas zdržania v aktivačnej nádrži T_a (h)	24 až 48	12 až 48	1,5 až 8,0	0,5 až 1,0
Recirkulačný pomer r	0,5 až 1,0	0,5 až 2,0	0,5 až 1,0	0,5 až 1,0
Čistiaci účinok E (%)	> 90	> 90	80 až 90	60 až 80

Uvedené hodnoty parametrov platia pre odpadovú vodu s koncentráciou 100 až 400 mg · l⁻¹ O₂ na vstupe do aktivácie.

Fáze vzniku vločky aktivovaného kalu



○ bakterie



Volně žijící nálevníci



stopkatí nálevníci

● bezbarví bičíkovci

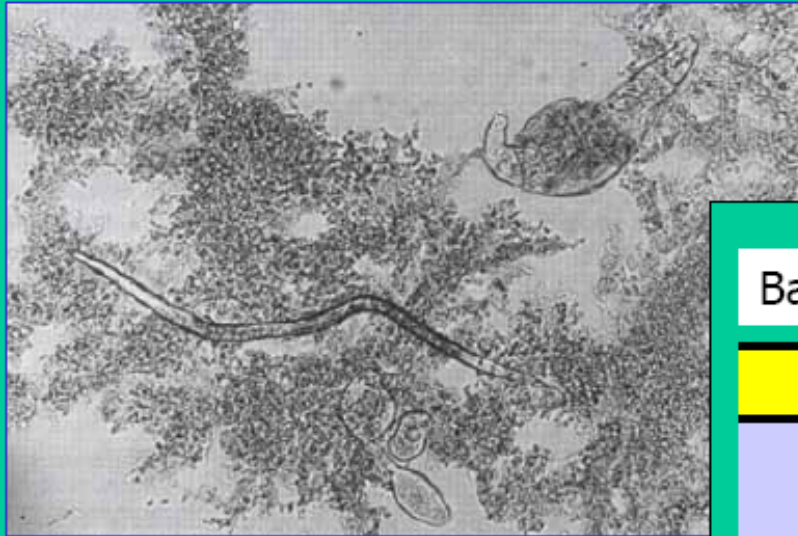


měňavky



vířníci

Typická vložka aktivovaného kalu



Bytnění kalu
= velký objem pro usazení



Nadměrný rozvoj vláknitých
organismů (*Sphaerotilus*
apod.)

Bakteriální rody vyskytující se v aktivovaném kalu

Dominantní rody

Akcesorické rody

<i>Zooglea</i>	<i>Aeromonas</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Aerobacter</i>
<i>Commomonas</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Spirillum</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Acinetobacter</i>
<i>Brevibacterium</i>	<i>Gluconobacter</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Cytophaga</i>
<i>Achromobacr</i>	<i>Hyphomicrobium</i>
<i>Corynebacterium</i>	
<i>Sphaerotilus</i>	

Vliv nálevníků na kvalitu odtoku z aktivačního systému

Parametry výtoku	Absence nálevníků	Přítomnost nálevníků
Celkové BSK (mg.l^{-1})	53-70	7-24
Rozpuštěné BSK (mg.l^{-1})	30-35	3-9
Suspendované látky (mg.l^{-1})	86-118	26-34
Počet kultiv. bakterií ($10^6.\text{ml}^{-1}$)	160	1-9

Kalový index

$$KI = V_k / X$$

kde V_k je objem aktivovaného kalu, který se usadí z 1 litru aktivační směsi po 1/2 hodině v Imhoffově kuželi, X je koncentrace kalové sušiny aktivační směsi ($\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$).



normální	$KI < 100 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$
lehký	$KI = 100 - 200 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$
zbytnělý	$KI > 200 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$



Imhoffův kužel

Protokol

Mikroskopický rozbor a hodnocení aktivovaného kalu

1. Morfologie vloček /pozorování při zvětšení cca 100 x
v počítací komůrce Z. Gyru, hloubka 100 μm/

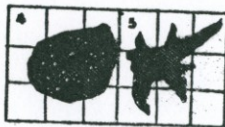
1.1. velikost :

1. velké
2. střední
3. malé



1.2 tvar :

4. sférický /2/
5. nepravidelný



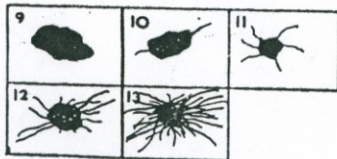
1.3. struktura :

6. pevná /kompaktní/
7. řídká /uvolněná/
8. přemostování /propojení vláknitými mikroorganismy/



1.4. vláknité organismy ve vločkách

9. žádné
10. ojedinělé
11. roztroušené
12. hojně
13. velmi hojně



2. Biocenóza /pozorovaná v komůrce při zvětšení 100 x /.
Zástupci hlavních skupin organismů,
četnost vyjádřená stupnicí : 0 - nepřítomné, 1 - ojediněle,
2 - roztroušeně, 3 - hojně, 4 - velmi hojně, 5 masově.

	Zoogloea ramifera Četnost:		Bezbarví bičíkovci Četnost:		Vorticella microstoma Četnost:
	Sphaerotilus Četnost:		Colpidium Četnost:		Carchesium polypinum Četnost:
	Spirillum Četnost:		Paramecium Četnost:		Epistylia nebo Opercularia Četnost:
	Beggiatoa Četnost:		Aspidisca Četnost:		Podophrya Četnost:
	Amoeba Četnost:		Vorticella convallaria Četnost:		Rotaria Četnost:

3. Stav biocenózy /na začátku mikroskopování, t.j. vyloužit vliv teploty, nedostatku kyslíku, tlaku krycího sklíčka/

Aktivní, zdravá :

Poškozená :

Mrtvá :

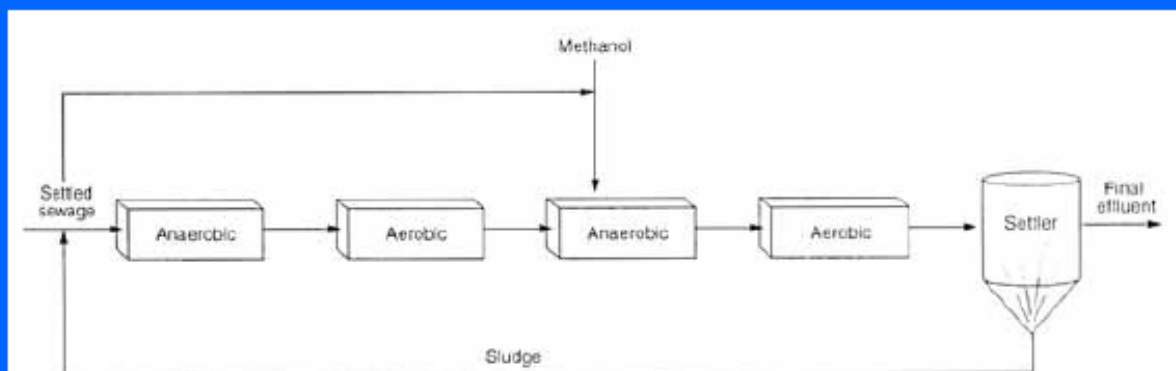
4. Závěr pozorování :

Neliší se od posledního odběru :

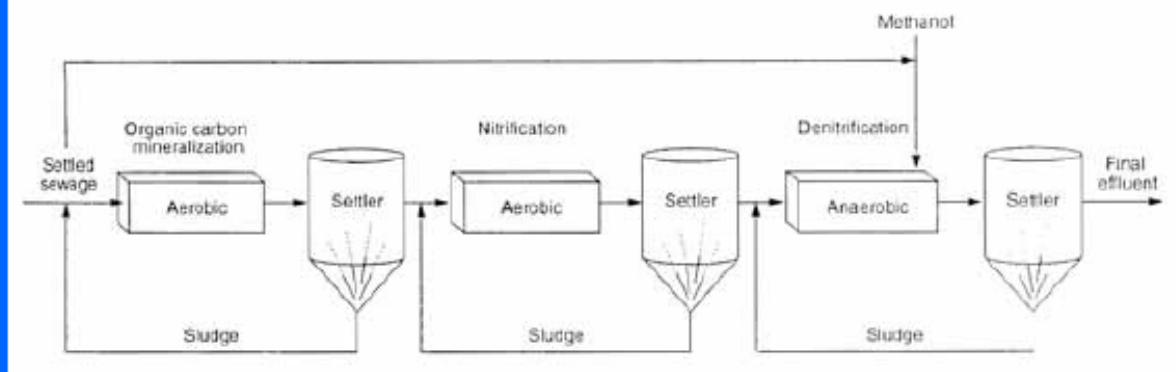
Výrazně se liší /v čem/ :

ZJIŠTĚNÉ ZÁŠKRTNĚTE !

Různé způsoby uspořádání aktivačního procesu zahrnujícího aerobní a anaerobní čištění pro odstraňování dusíku a redukcí BSK



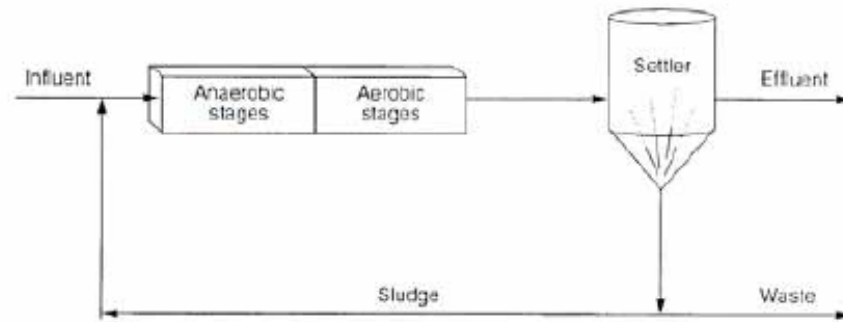
Jednoduchý systém se sérií anaerobních a aerobních nádrží



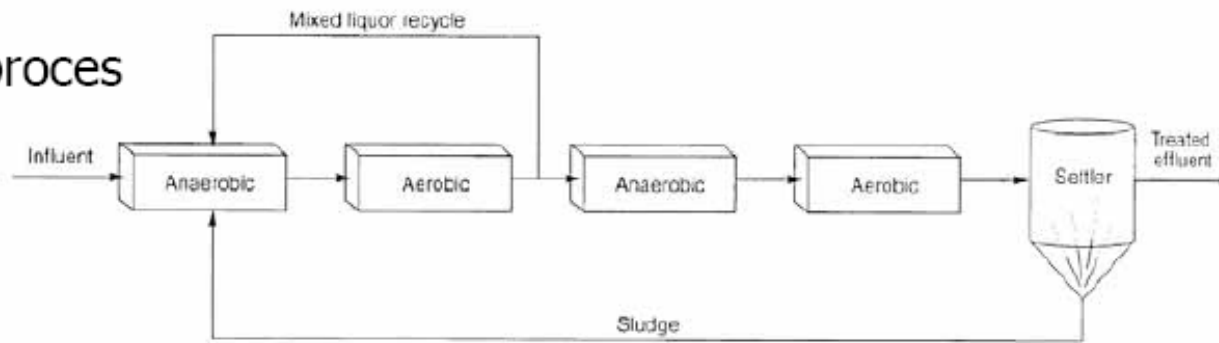
Multisystém se 3 oddělenými reaktory pro aerobní dekompozici organického uhlíku, aerobní nitrifikaci a anaerobní denitrifikaci

Modifikovaný aktivační proces s odtraňováním fosforu z odpadní vody

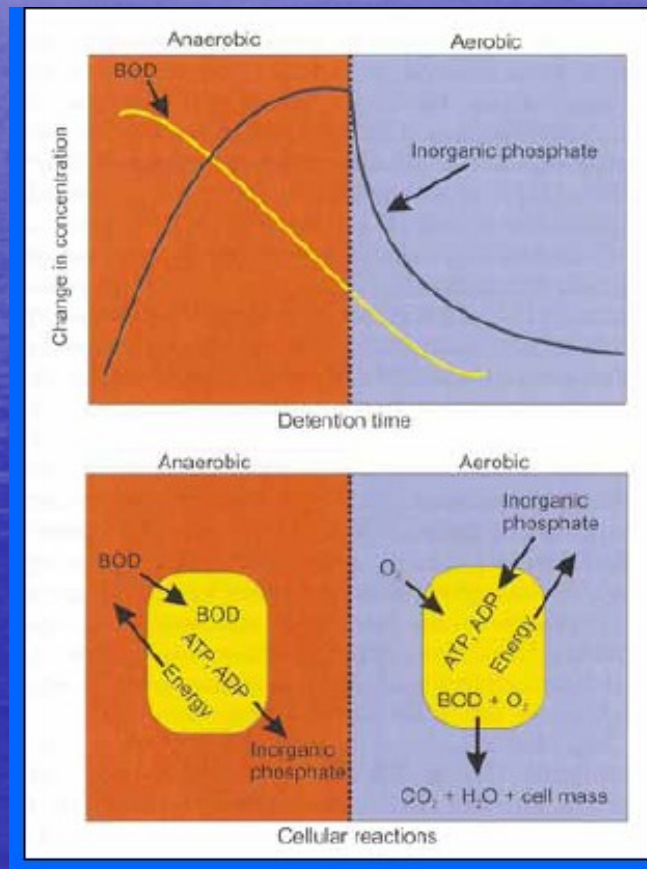
A/O proces



Bardenpho proces

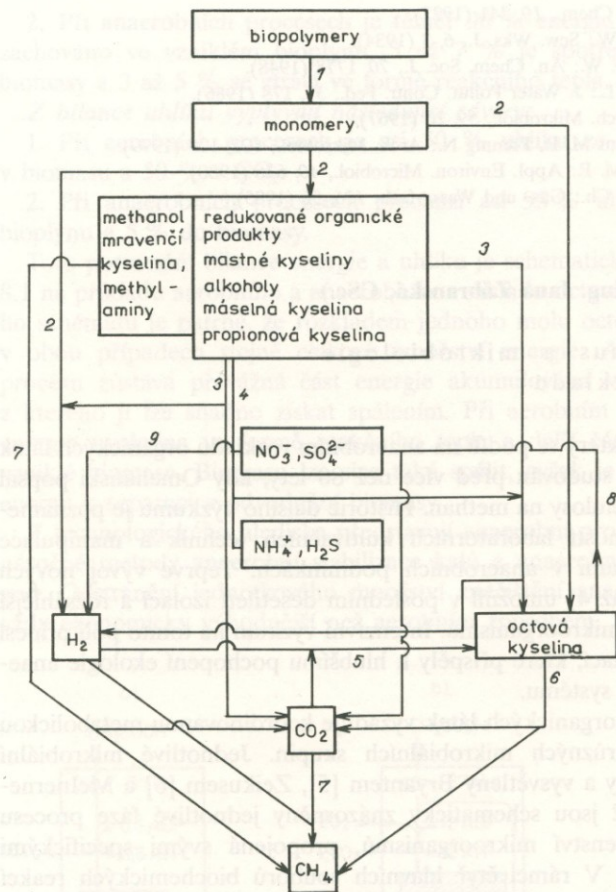


Odstraňování fosforu – kombinace anaerobních a aerobních procesů



Anaerobní způsoby čištění komunálních odpadních vod

- Extenzivní způsoby
 - Žumpy
 - Septiky
- Intenzivní způsoby
 - Přímé čištění odpadních vod
 - Likvidace – mineralizace kalů z ČOV



Obr. 8.2 Schéma anaerobního rozkladu organických látek

1 – hydrolyza organických polymerů (bílkoviny, tuky, polysacharidy) na jednotlivé monomery (aminokyseliny, organické kyseliny a glycerol, monosacharidy), 2 – acidogenese – přeměna organických monomerů na vodík, oxid uhličitý, máselnou, propionovou a octovou kyselinu a další nízkomolekulární látky jako ethanol, mléčná kyselina apod. (oxid uhličitý není v kapalném prostředí přítomen, okamžitě se rozpouští a reaguje s vodou za vzniku hydrogenuhlíčanů), 3 – acetogenese – oxidace redukováných organických produktů na vodík, oxid uhličitý a octovou kyselinu acetogenními mikroorganismy produkujícími vodík, 4 – oxidace redukováných organických produktů na oxid uhličitý a kyselinu octovou denitrifikačními a desulfurikačními baktériemi, 5 – acetogenní respirace oxidu uhličitého a vodíku homoacetogenními mikroorganismy, 6 – methanogenese z octové kyseliny acetotrofními methanogenními mikroorganismy, 7 – methanogenese z jednouhlíkatých substrátů, oxidu uhličitého a vodíku hydrogenotrofními mikroorganismy, 8 – oxidace octové kyseliny na oxid uhličitý denitrifikačními a desulfurikačními baktériemi, 9 – oxidace vodíku denitrifikačními a desulfurikačními baktériemi.

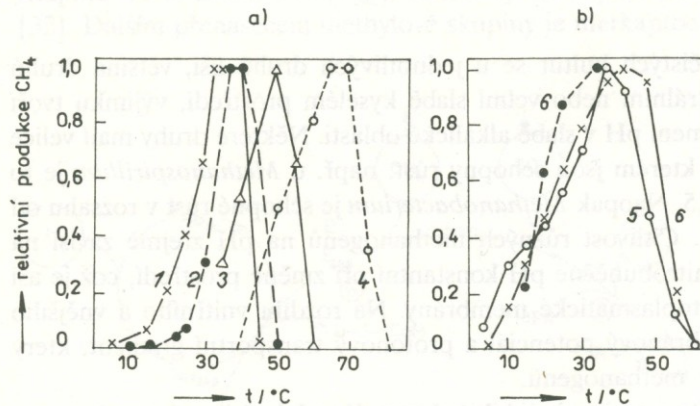
Všechny tyto procesy by měly být v dynamické rovnováze, aby mohla methanogenese probíhat maximální rychlostí [8]

Methanové bakterie

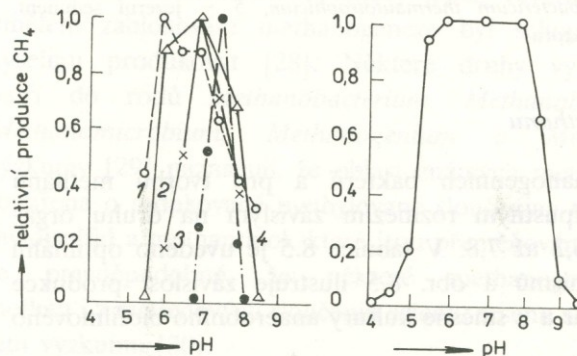
Tabulka 8.4 Specifické substráty methanogenních bakterií

Substrát	Druh organismu
H ₂	<i>Methanobacterium bryantii</i> , <i>M. formicicum</i> , <i>M. thermoautotrophicum</i> <i>Methanobrevibacter arboriphilus</i> , <i>M. ruminantium</i> , <i>M. smithii</i> <i>Methanococcus mazei</i> , <i>M. vanniellii</i> , <i>M. voltae</i> <i>Methanomicrobium mobile</i> <i>Methanogenium cariaci</i> , <i>M. marisnigri</i> <i>Methanospirillum hungatei</i> <i>Methanosarcina barkeri</i>
HCOOH	<i>M. formicicum</i> , <i>M. ruminantium</i> , <i>M. smithii</i> , <i>M. vanniellii</i> , <i>M. voltae</i> <i>M. mobile</i> , <i>M. cariaci</i> , <i>M. marisnigri</i> , <i>M. hungatei</i>
CO	<i>M. barkeri</i> , <i>M. thermoautotrophicum</i>
CH ₃ OH	<i>M. mazei</i> , <i>M. barkeri</i>
CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH, (CH ₃) ₃ N	<i>M. mazei</i> , <i>M. barkeri</i>
CH ₃ CH ₂ -N(CH ₃) ₂	<i>M. barkeri</i>
CH ₃ COOH	<i>M. mazei</i> , <i>M. barkeri</i> , <i>Methanotherix soehngenii</i>

Podmínky procesů



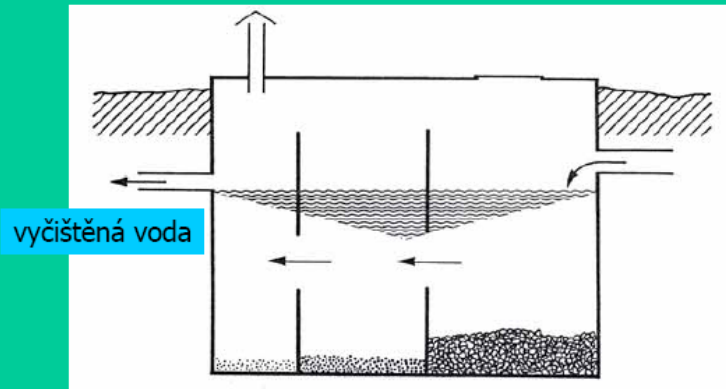
Obr. 8.4 Závislost produkce methanu na teplotě [31]
 a – pro jednotlivé druhy methanogenních bakterií, b – pro směsné kultury z anaerobního reaktoru a z jezerního sedimentu (jezero Mendota)
 1 – *Methanobrevibacter arboriphilus*, 2 – *Methanotherix soehngeni*, 3 – *Methanobacterium thermautotrophicum*, 4 – *Methanobactericum thermautotrophicum*, 5 – jezerní sediment, 6 – směsná kultura anaerobního reaktoru



Obr. 8.5 Závislost produkce methanu na pH [31]
 a – pro jednotlivé druhy methanogenních bakterií, b – pro směsnou kulturu anaerobního biofilmového reaktoru
 1 – *Methanosarcina* sp., 2 – *Methanobrevibacter arboriphilus*, 3 – *Methanotherix soehngeni*, 4 – *Methanococcus mazei*

Biologický septik

Biologický septik



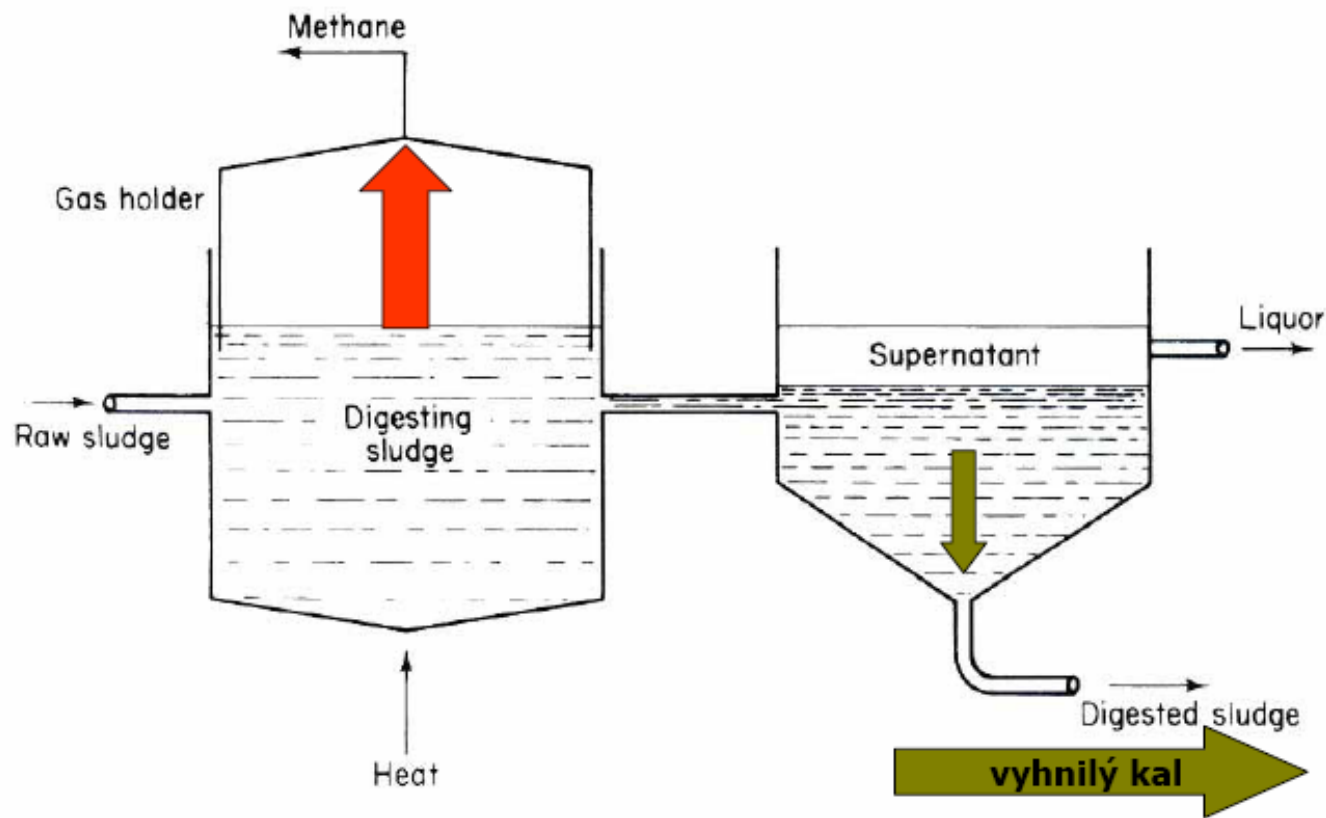
vyčištěná voda

lehký kal pevné částice

Domovní sestava septik-zemní filtr



Anaerobní stabilizace kalu



Stabilizací kalu rozumíme rozklad jeho lehce odbouratelných látek, tj. mineralizaci

Předpokládá se, že v průběhu anaerobní stabilizace klesne obsah organické sušiny kalu asi o 45-65 %.

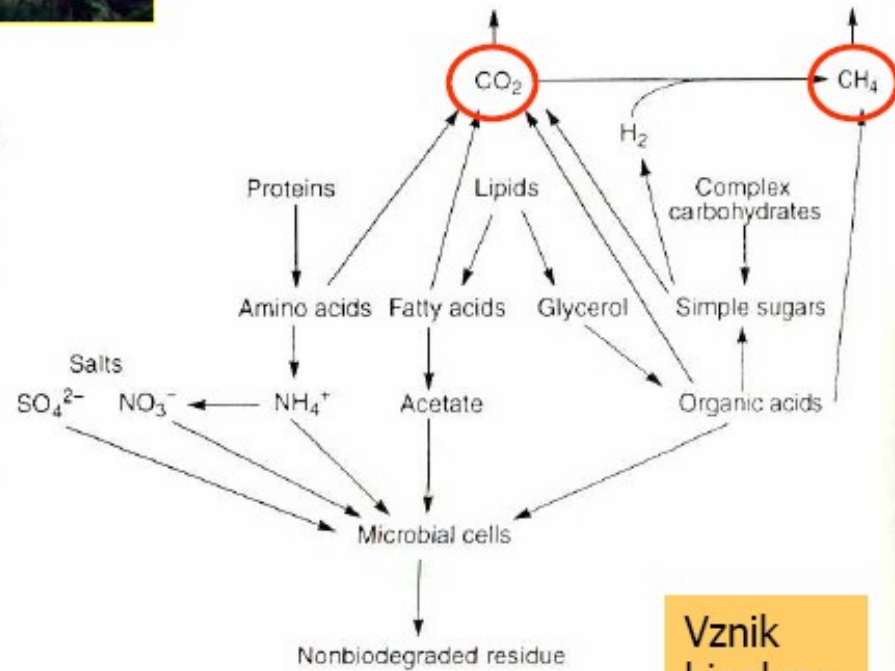
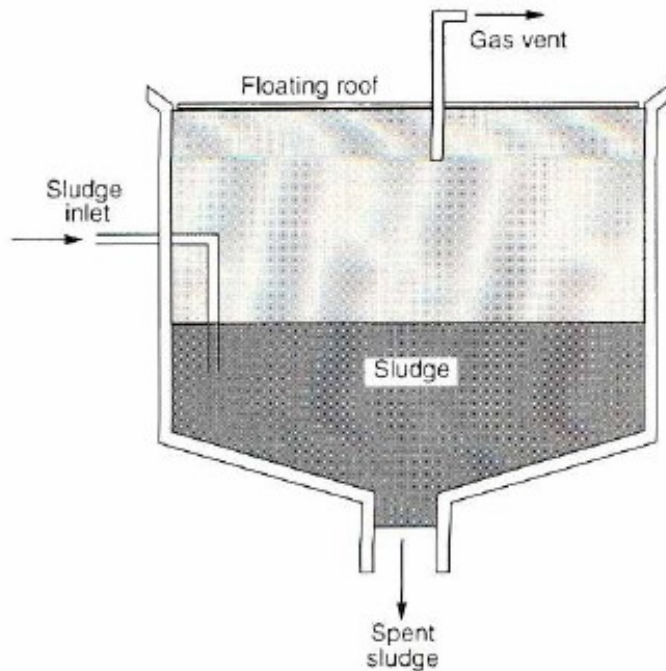


Plynojem



Bioplyn

CH₄ (65-75 %) a CO₂ (25-35 %)
 menší množství H₂, N₂ a H₂S

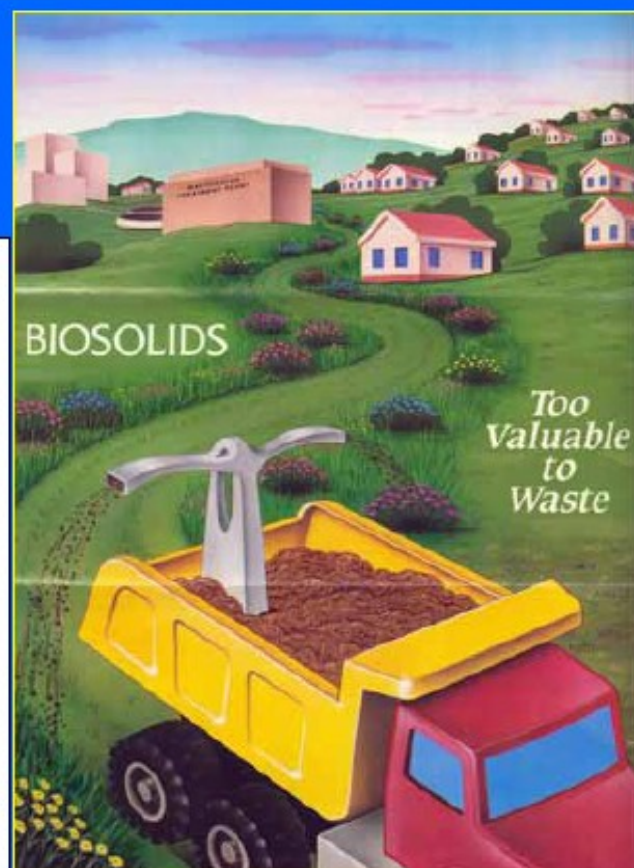
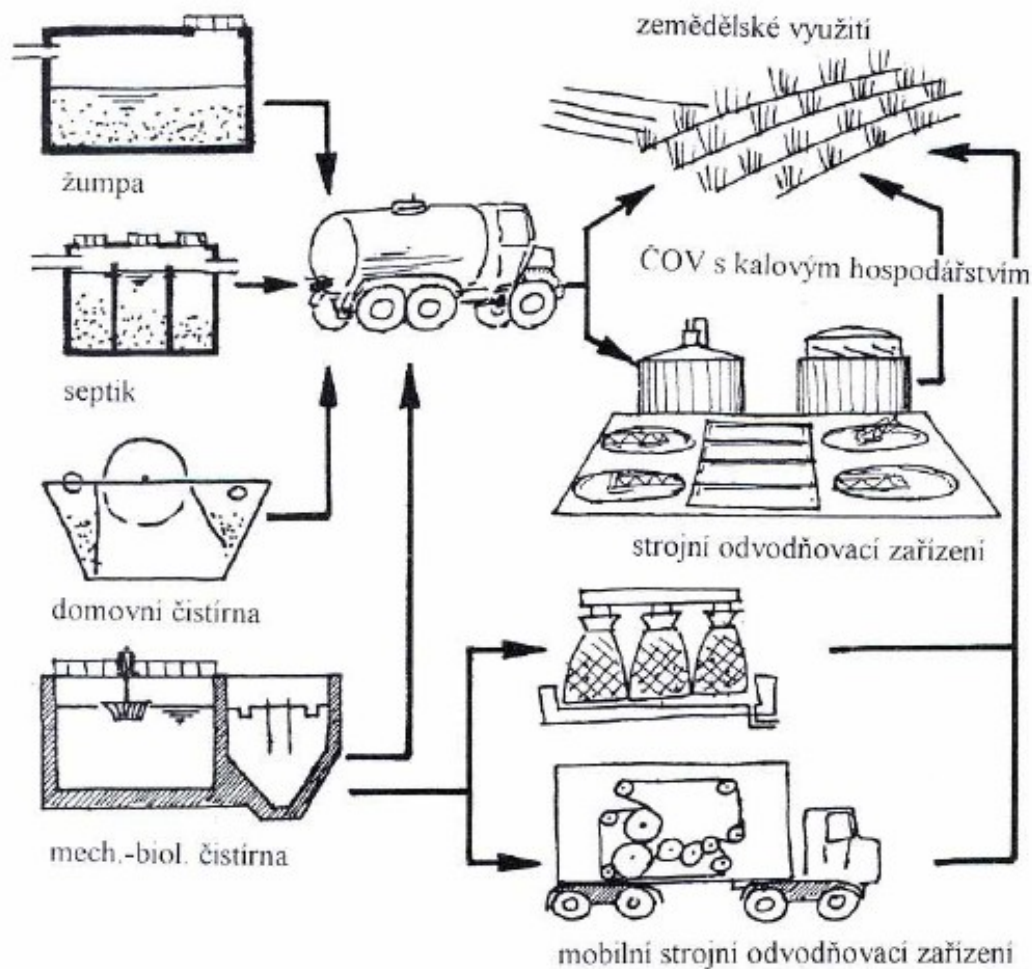


Vznik bioplynu

Vyhnilý, stabilizovaný kal – ČOV Olomouc



Nakládání s kaly



Chemicko – fyzikální čištění odpadních vod

- Vody s vysokým obsahem inhibujících nebo toxických látek
- Vody biochemicky nečistitelné – hodnoty BSK významně menší než hodnoty CHSK
- Vody obsahující choroboplodné zárodky

Flotační čistiřny

- **Flotace** je separační proces, používaný pro oddělení dispergovaných částic z kapaliny, při které se tyto částice spojují s mikrobublinami plynu za vzniku flotačních komplexů lehčích než voda a vynášených tedy k její hladině. Dispergované částice mohou být tuhého i kapalného skupenství, tedy tvořící suspenze nebo emulze. Vzniku mikrobublin (optimální velikost 10 až 100 μm) dosáhneme různými způsoby, mezi hlavní patří:
 - snížení tlaku v systému = vakuová flotace
 - jemnobublinné provzdušnění = volná flotace
 - expanze vody nasycené vzduchem při zvýšeném tlaku = tlaková flotace
 - denitrifikační pochody v biomase za vzniku plynného dusíku = biologická flotace
 - přidavek chemikálií uvolňujících plyn = chemická flotace
 - elektrolýzou vody = elektroflotace

Filtrační metody

- Jako filtraci označujeme proces, při němž jsou částice zachycovány na přepážce nebo ve vrstvě materiálu. Nutnou podmínkou je průchodnost disperzního materiálu (např. vody) přes filtr. Při filtraci nedochází zpravidla k chemické reakci mezi filtračním materiálem a látkami disperzního prostředí. Filtrací lze z vodné (kapalné) disperze odstranit částice suspendované, příp. emulgované, tedy větší než cca $1 \mu\text{m}$. Při tom se rozlišují podle velikosti průlin, určujících průchodnost částic česle a síta (1 mm), mikrosíta ($10 \mu\text{m}$) a mikrofiltry ($0.1 \mu\text{m}$). Speciálními filtračními postupy s použitím polopropustných membrán lze docílit zachycení částic řádově menších. U mikrofiltrace bývá velikost částic zachycených na mikrofiltrech cca od $1 \mu\text{m}$. Pro poměrně velký odpor filtračního média je třeba použít při filtraci zvýšený tlak. U mikrofiltrů probíhá filtrace ve filtrační vrstvě, tvořené různými materiály.
- *Dělicí metody na principu polopropustných membrán*
 - Základem těchto postupů jsou polopropustné membrány, propouštějící molekuly vody (disperzum) a podle typu membrán pak jen další částice určité velikosti nebo určitého elektrického náboje. V přírodě jsou takovými membránami buněčné blány organismů. Pro účely uvedené níže jsou vyráběny uměle.
- *Ultrafiltrace*
 - je vhodná pro zachycení částic od cca $5 \mu\text{m}$ do $0,1 \mu\text{m}$, což odpovídá molekulám o molekulové hmotnosti od 10 000 do 100 Da. Je tedy vhodná pro čištění koloidních roztoků, např. olejových emulzí, pro separaci hydroxidů kovů, vyloučených v koloidní formě apod. Podobně jako u mikrofiltrace je principem separace tzv. screeningový efekt, tj. mechanické zachycení částic větších než je velikost pórů.
- *Nanofiltrace*
 - Je vhodná pro zachycení částic velikosti přibližně od 1 do 10 nm, odpovídající relativní molekulové hmotnosti 200 až 20 000 Da, tedy řady rozpustných organických sloučenin, jako jsou cukry a částečně i soli. Propustnost solí je výrazně vyšší než u reverzní osmózy.

Sedimentace

- Teoreticky lze sedimentací separovat částice větší než 4 μm , u nichž ustává Brownův pohyb. Prakticky lze použít sedimentaci pro separaci suspendovaných částic větších než 10 μm , spíše však větších než 50 μm . V technologii vod se rozlišují suspenze tvořené z částic zrnitých a vločkovitých. U prvních nemění částice při usazování svůj tvar; patří sem suspenze hlinito-jílovitých částic, kaolinu, uhelného prachu, částic rudy a některé anorganické sraženiny, jako je CaCO_3 . U vločkovitých suspenzí netvoří pevné částice s kapalinou ostré rozhraní. Na částici v klidné kapalině působí proti sobě síly:
 - 1) tíhová
 - 2) vztlaková (dle Archimedova zákona)
- Podle výsledné síly se částice pohybuje - je-li hustota větší než je hustota kapaliny, sedimentuje, je-li menší, pohybuje se směrem k hladině (flotuje). Při těchto pohybech na ni působí další síla - tření, a to opačného směru než je pohyb částice. Výsledná síla při sedimentaci:
 - $F = F_g - F_v - F_r = V_s \cdot g (\rho_s - \rho_f) - F_r$;
 - kde F_g je síla gravitační, F_v je vztlak, F_r je tření odporem prostředí, V_s je objem suspendované částice, g je gravitační zrychlení $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, ρ_s je hustota suspendované částice, ρ_f je hustota vody (kapaliny).

Stripování

- Stripováním jsou z kapaliny odháněny proudem procházejícího plynu těkavé látky. Pro tento účel lze použít vzduch, kouřové plyny a vodní páru. Stripováním lze odstranit z vody těkavé látky:
 - a) organické
 - alifatické a aromatické uhlovodíky
 - jejich chlorované a nitrované sloučeniny
 - fenoly a jejich deriváty
 - pesticidy
 - b) anorganické sloučeniny v jejich nedisociované formě
 - amoniak, sulfan, oxid uhličitý, kyanovodík

Další metody

- *Chemická koagulace nebo čerění*
 - Používá se pro odstranění jemně dispergovaných (koloidních) částic (jemná vlákna a barviva v textilním a papírenském průmyslu, olejové emulze atd.).
- *Sorpční pochody*
 - Jako sorbentů se využívá aktivní uhlí, škvára, popílek
- *Extrakce*
 - Extrakce je postup, kterým se z jedné kapaliny převádí látka do jiné kapaliny na základě rozdílné rozpustnosti této látky v obou kapalinách. Jednou kapalinou bývá obvykle vodný roztok, druhou jiné rozpouštědlo, zpravidla organické, které se s vodou nemísí, což je podmínkou úspěšné extrakce. Čím je rozpustnost látky v tomto rozpouštědle větší než ve vodě, tím je extrakce účinnější.
 - Protřepeme-li vodný roztok látky s extrahovadlem, dojde k rozdělení látky mezi extrahovadlo a vodu v poměru, který vyjadřuje tzv. rozdělovací koeficient: **$K_r = c_e/c_v1$** ;
 - kde c_e je koncentrace látky v extrahovadle a c_v1 je koncentrace látky ve vodném roztoku.

Čiření

- Čiření je proces používaný pro odstranění koloidních, příp. jemně suspendovaných částic z vody. Jeho podstatou je převedení malých částic na větší, které lze separovat sedimentací, filtrací apod. Tohoto cíle se dosáhne destabilizací koloidních částic a vytvořením podmínek pro jejich spojování (aglomeraci). Prostředkem k tomu je přidavek sloučenin zvaných **koagulanty** a proces destabilizace se nazývá koagulací. Koagulanty, příp. produkty vzniklé jejich reakcí s vodou mají koloidní charakter a za vhodných podmínek se shlukují neboli koagulují spolu s koloidními a suspendovanými částicemi obsaženými ve vodě za vzniku hrubé disperze, z níž lze suspendované částice odstranit mechanickými způsoby. Aglomerace koloidních částic do mikrovloček a následně do objemných vloček se nazývá **flokulace**. Lze ji urychlit přidavkem látek, zvaných flokulant neboli pomocné koagulanty. Často se celý proces koagulace, flokulace a separace nazývá čiření nebo koagulace.
 - Nejobvyklejší anorganické koagulanty jsou soli železa a hliníku. jejich přidavkem do vody dochází k hydrolýze za tvorby příslušných hydroxidů:
 - $\text{Fe}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$
 - $\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$
 - $\text{Fe}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2 \text{H}^+$
- Obvyklými koagulanty, používanými při chemickém čiření jsou: síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, síran železitý (obchodní název Prefloc) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, bezvodý chlorid železitý FeCl_3 aj.

Neutralizační čistírny

- Čištění kyselých nebo zásaditých odpadních vod; přídavek činidla opačných vlastností upravuje reakci vody (pH) do normálních mezí. Častěji se vyskytují kyselé odpadní vody, které se obvykle neutralizují přídavkem vápna ve formě vápenného mléka. Neutralizační čistírny se využívá i při čištění odpadních vod z povrchových úprav kovů, kde se nejedná pouze o úpravu pH, ale též o odstranění toxických kyanidů a těžkých kovů. Odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace a do recipientů nesmí být ani příliš kyselé ani příliš zásadité. **Rozsah povoleného pH bývá od 6,0 do 8,5 až 9,0.** Pokud odpadní vody tento požadavek nespĺňují, musí být předem **neutralizovány**. Neutralizační reakci lze vyjádřit rovnicí:
 - $HX + BOH = H_2O + BX$;
 - kde HY je kyselina a BOH je zásada. Produktem neutralizace je tedy voda a sůl.
- Neutralizační stanice pracují na principu
 - (1) odstavném - neutralizace se provede jednorázově v nádrži, jejíž obsah se pak vypustí nebo
 - (2) průtočném - neutralizace probíhá v průtočné nádrži průběžným přidáváním neutralizačních činidel.
- Běžná je neutralizace kyselých vod vápencem $CaCO_3$, magnezitem $MgCO_3$, dolomitem $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ a páleným dolomitem $CaCO_3 \cdot MgO$. Podstatou probíhajících chemických reakcí je vytěsnění slabé kyseliny uhličitě z uhličitanu působením silnější kyseliny obsažené ve vodě:
 - $CaCO_3 + 2H^+ = Ca^{2+} + H_2O + CO_2$
- Analogicky reaguje magnezit a dolomit. Složka páleného vápence MgO reaguje takto:
 - $MgO + 2H^+ = Mg^{2+} + H_2O$

Srážecí reakce

- Srážecími reakcemi lze převést některé látky z rozpuštěné formy do formy nerozpustné a pak je separovat od kapalného prostředí sedimentací, filtrací apod.. K vysrážení látky z vodného roztoku dochází z různých příčin. Např. bílkoviny při zvýšené teplotě, při změně pH koagulují a vyloučí se z roztoku. U anorganických sloučenin je nejčastější příčinou jejich vysrážení překročení tzv. součinu rozpustnosti, což je násobek molárních koncentrací v roztoku přítomných iontů, tvořících sloučeninu.
- Běžné je srážení fosforečnanů. Pro jejich odstranění z vod se nejčastěji používá přídavek železité nebo hlinité soli, tvořící málo rozpustné fosforečnany FePO_4 , resp. AlPO_4 . V případě, že je voda dobře provzdušňována, lze použít rovněž železnatou sůl (síran), čímž je Fe(II) oxidováno na Fe(III) . Voda nesmí být příliš kyselá, neboť z kyselých roztoků se fosforečnany nevysrážejí. Vhodné je pH 8 až 9. Při vysoké koncentraci OH^- však dochází k vytěsňování fosfátových iontů ze sráženin do roztoku:
 - $\text{FePO}_4 + 3 \text{OH}^- = \text{Fe(OH)}_3 + \text{PO}_4^{3-}$
 - $\text{AlPO}_4 + 3 \text{OH}^- = \text{Al(OH)}_3 + \text{PO}_4^{3-}$

Jako srážedla se používají nejčastěji síran nebo chlorid železitý, síran hlinitý, síran železnatý a hlinitan sodný. Všechny uvedené soli s výjimkou poslední okyselují vodné roztoky vlivem hydrolyzy, naopak přídavek hlinitanu alkalizuje roztok.

Ionexy

- Jedná se o látky, které z roztoků diferencovaně zachycují určité látky (jejich ionty). Měníče iontů (ionexy) jsou vysokomolekulární látky, nesoucí na svém skeletu funkční skupiny, které jsou disociovatelné. Při disociaci těchto funkčních skupin se uvolňují jednoduché ionty, zvané protionty, kdežto funkční skupiny jsou pak nabitý nábojem opačným. Protionty jsou ke zbytku ionexu, nesoucího funkční skupiny, vázány nepříliš pevnými vazbami opačných elektrických nábojů a jsou za vhodných podmínek vyměnitelné za jiné ionty, obsažené ve vodném roztoku, s nímž je ionex ve styku. Ionexy se dělí na:
 - a) katexy - u nichž je protiontem kation (nabitý kladně - obvykle H^+ , Na^+)
 - b) anexy - u nichž je protiontem anion (nabitý záporně - obvykle OH^- , Cl^-)

Osmotické metody

- *Reverzní osmóza*

- Reverzní neboli vratná osmóza je tlakový membránový proces pro oddělení částic v rozsahu 0.1 až 1 nm. Nutná tlaková diference před a za membránou je 1 až 10 MPa. Separační mechanismus je založen na rozdílech v rozpustnosti a difúzi rozpouštědla a rozpuštěných látek v membráně. V ideálním případě propouští membrána jen rozpouštědlo.

- *Dialýza*

- Principem dialýzy je prostup malých molekul a iontů membránou vlivem koncentračního rozdílu na obou stranách membrány. Slouží především k oddělení solí - soli procházejí membránou do ředícího roztoku, v němž musí být udržována jejich nízká koncentrace. Dialýza tedy slouží k oddělení nízkomolekulárních látek, nikoliv k jejich zakoncentrování.

- **Elektrodialýza** - využívá bipolárních membrán, tj. membrán propouštějících selektivně jen kationty nebo jen anioty.