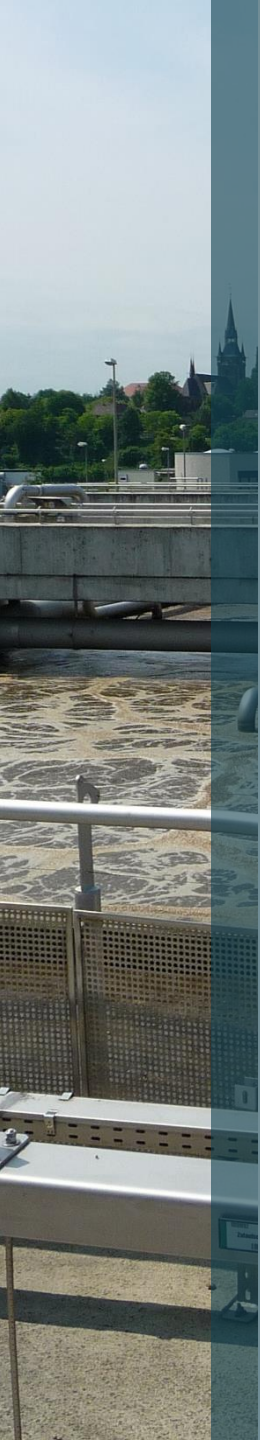
MUNI
PŘÍRODOVĚDECKÁ
FAKULTA

Biologické čištění odpadních vod

Biologická linka-řešení

09.04.2022

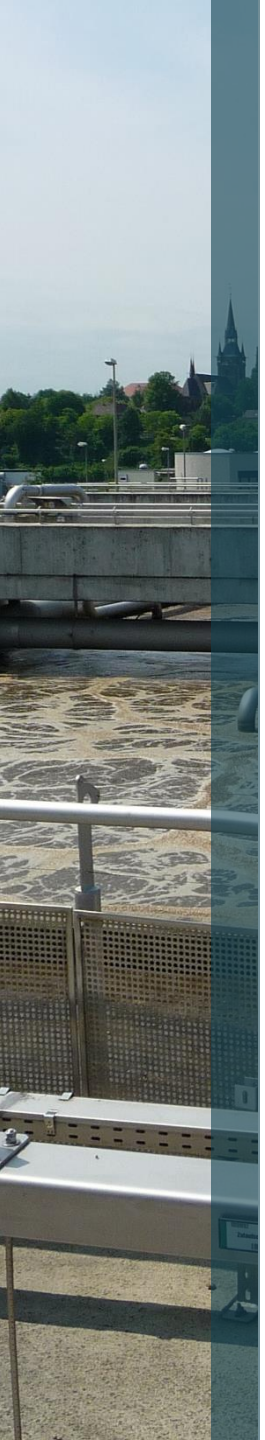
Tomáš Vítěz
Monika Vítězová



Biologické čištění

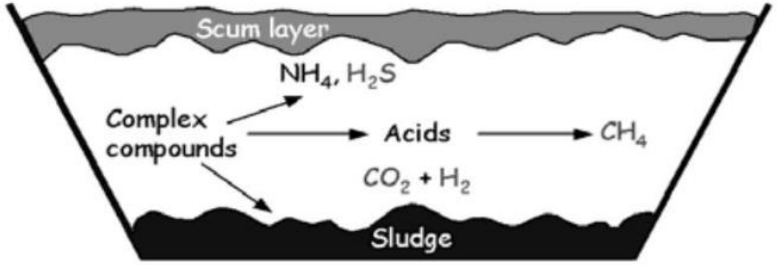
Procesy

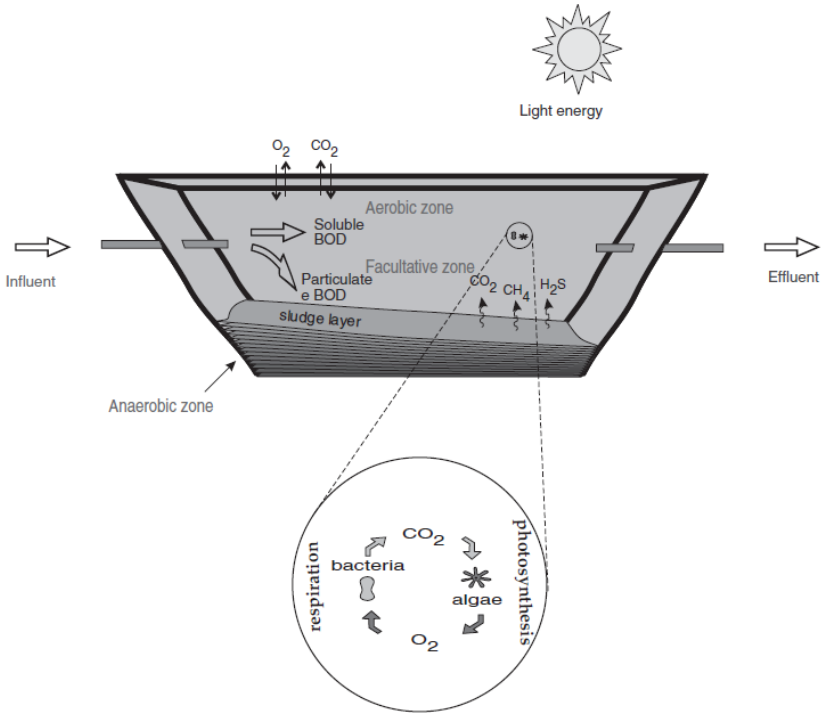
- stabilizační nádrže
- půdní filtry
- aerobní biofilmové reaktory
- anaerobní reaktory
- aktivační systém

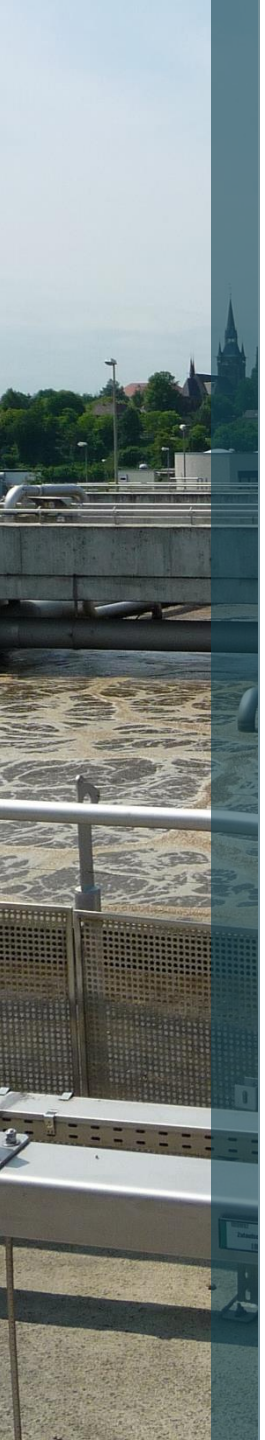


Stabilizační nádrže

- nejstarší čistírenské zařízení,
- 1877 první zmínky v Německu,
- principem čištění je autotrofní a heterotrofní aktivita,
- nutnost odstraňování kalu,



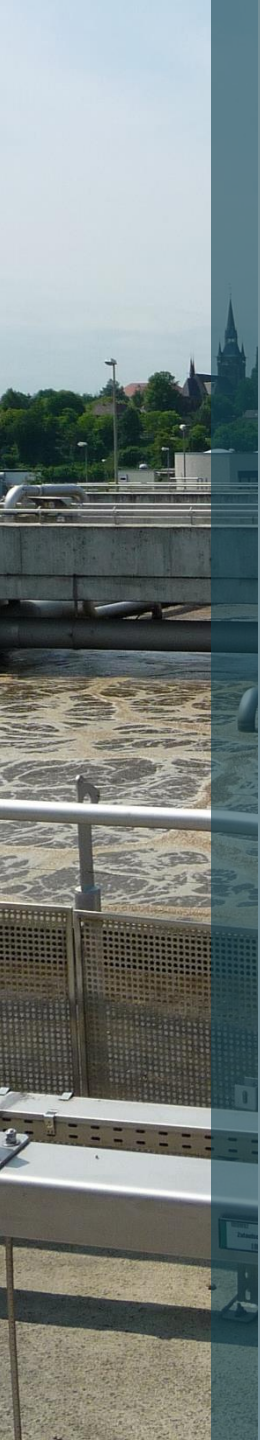




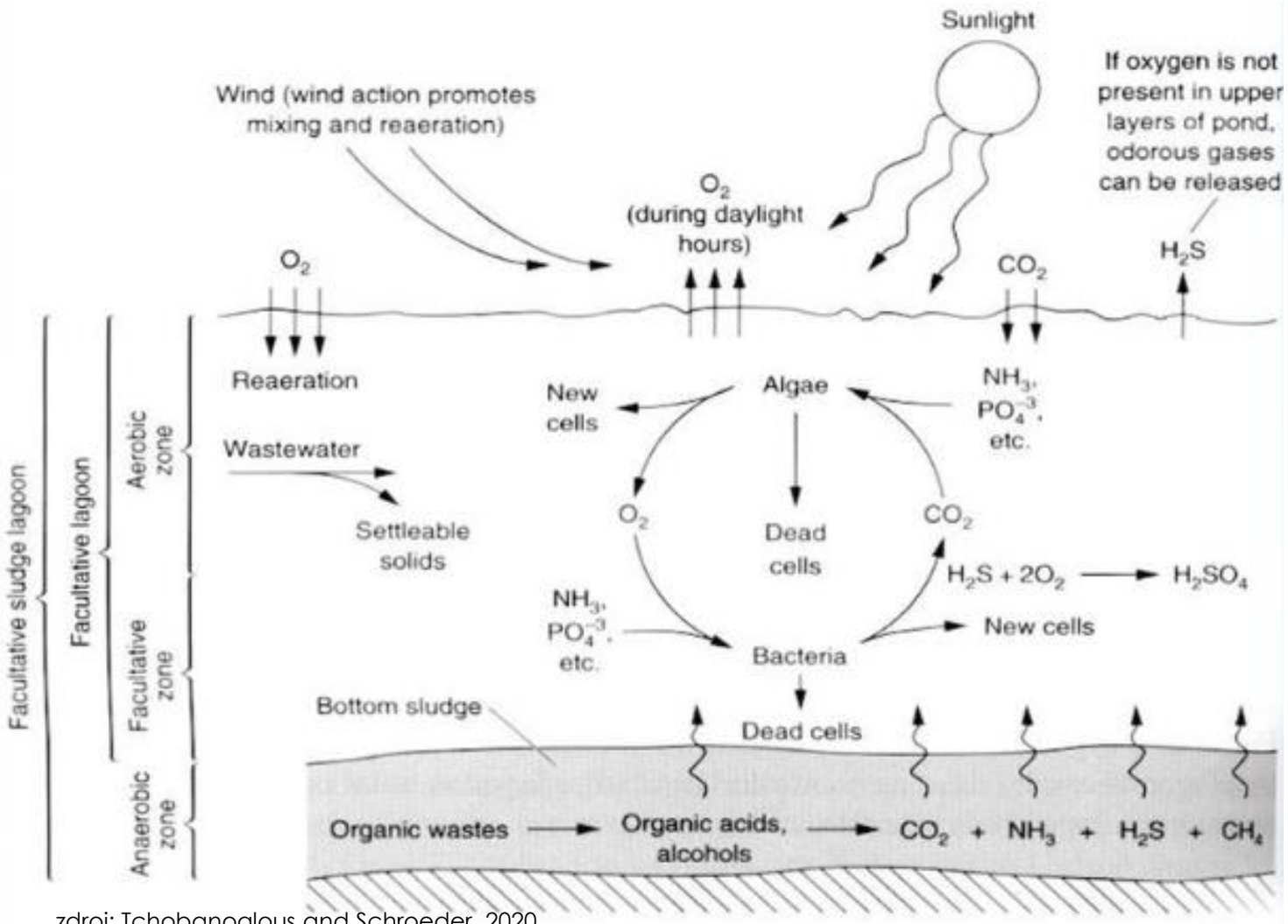
Stabilizační nádrže - typy

typ nádrže	prostředí	způsob aerace
fakultativní	anaerobní / aerobní	přirozená
anaerobní	anaerobní	ne
provzdušňované	aerobní	mechanická

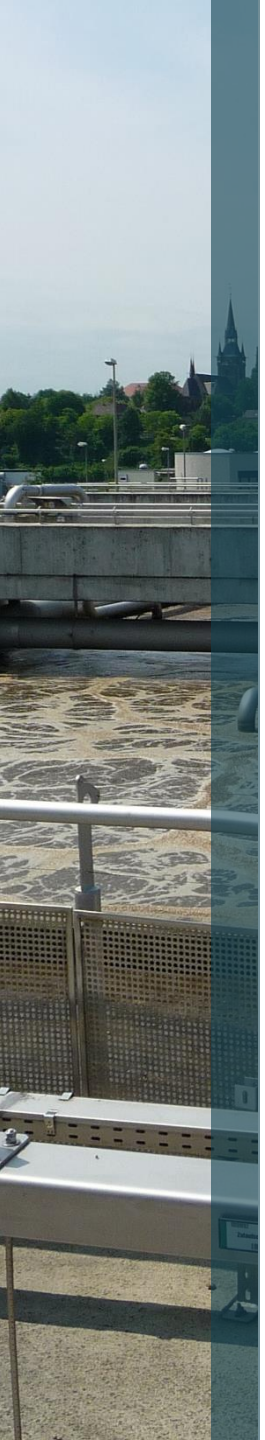
typ nádrže	zdržení	odstranění BSK_5	hloubka
fakultativní	> 20 dnů	60 % – 80 %	1,5 – 2 m
anaerobní	měsíce	30 % – 75 %	3 – 6 m
provzdušňované	1 – 5 dnů	50 % – 70 %	1,5 – 4 m



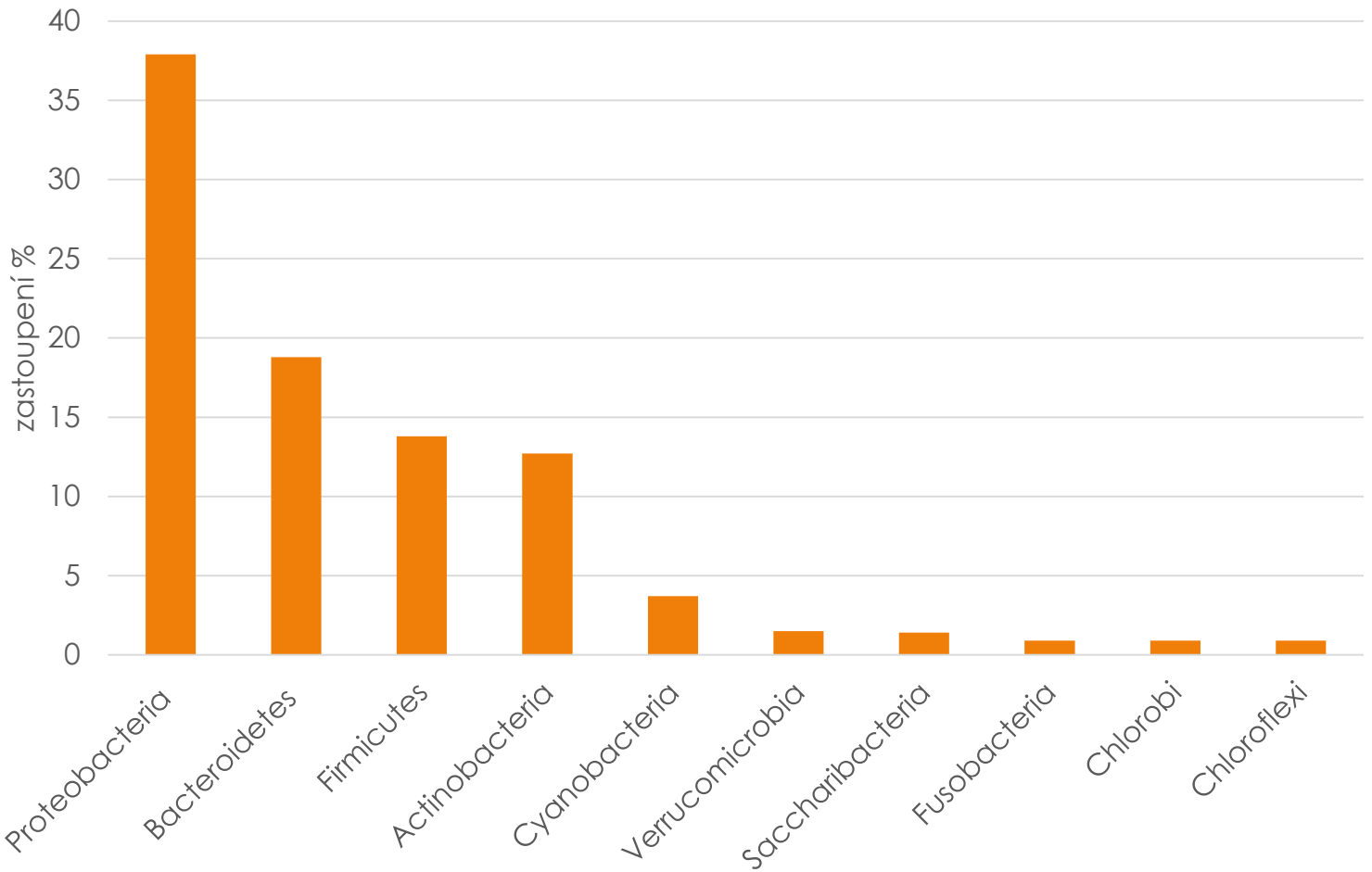
Stabilizační nádrže - procesy



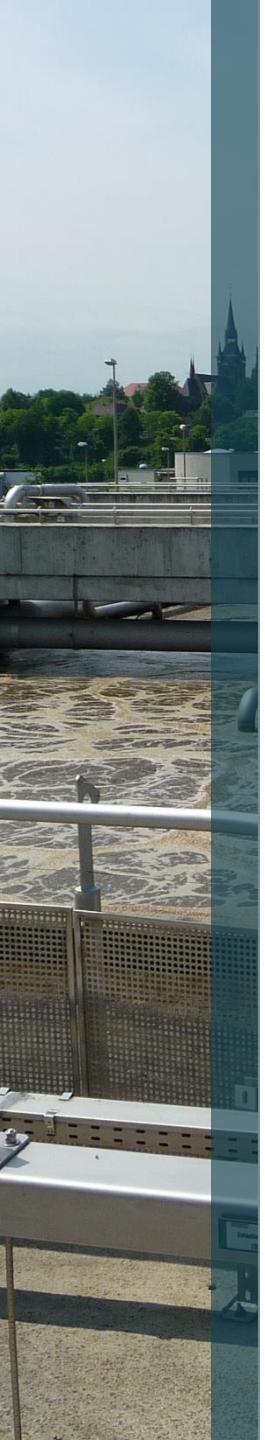
zdroj: Tchobanoglous and Schroeder, 2020



Stabilizační nádrže - mikroorganismy

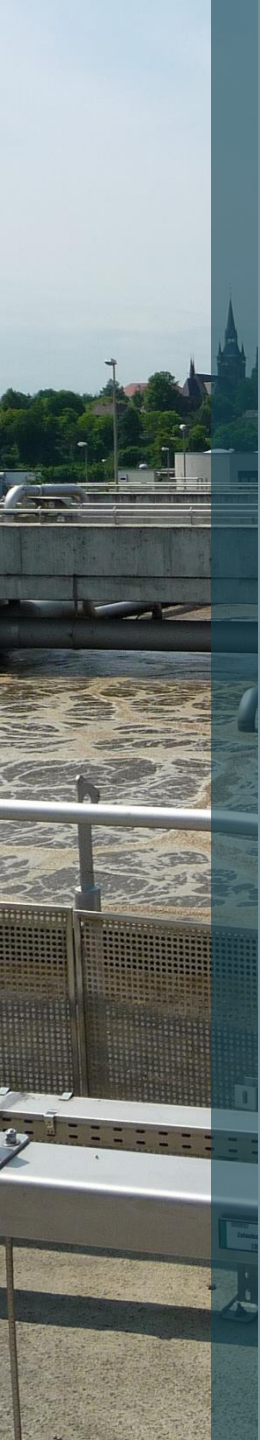


zdroj: Gruchlik et al 2016



Biofilmové technologie

- aerobní až anoxické podmínky,
- specifická plocha : 2 - 6 m^2 / EO, výška lože 0,6 - 1 m,
- hydraulické zatížení 0,1 - 0,2 m^3/m^2 za den,
- látkové zatížení (BSK_5) 10 - 40 g/m^2 za den,
- odstranění BSK_5 – 90 %, $CHSK_{Cr}$ 80 %, $N\text{-}NH_4$ – 78,5 %,
- fosfor – závislost na náplni,

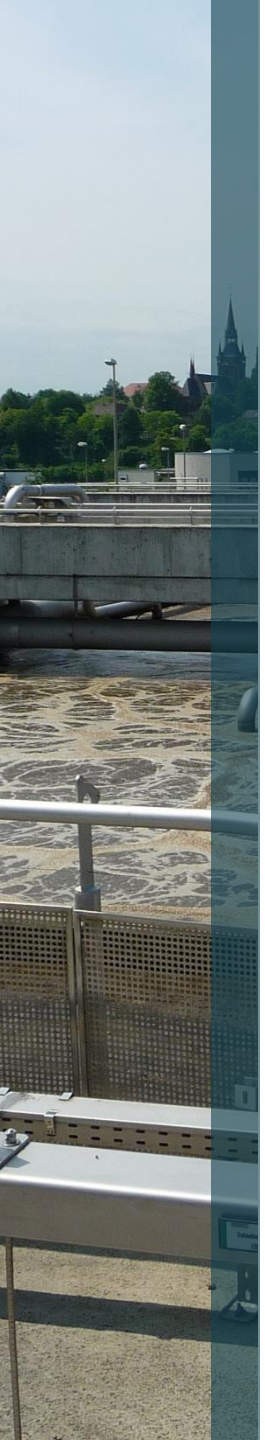


Biofilmové technologie

- mikroorganismy „přichyceny“ na nosič,
- nosič (štěrk, písek, částice dřeva, plastu),
- substrát přichycen extracelulárními látkami (EPS),
- tloušťka biofilmu ovlivňuje oxidační podmínky,

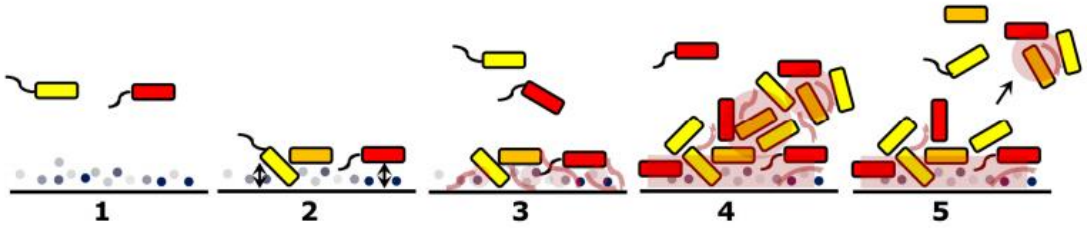
Faktory ovlivňující růst mikroorganismů

- průtok odpadní vody, velikost a tvar částic nosiče,

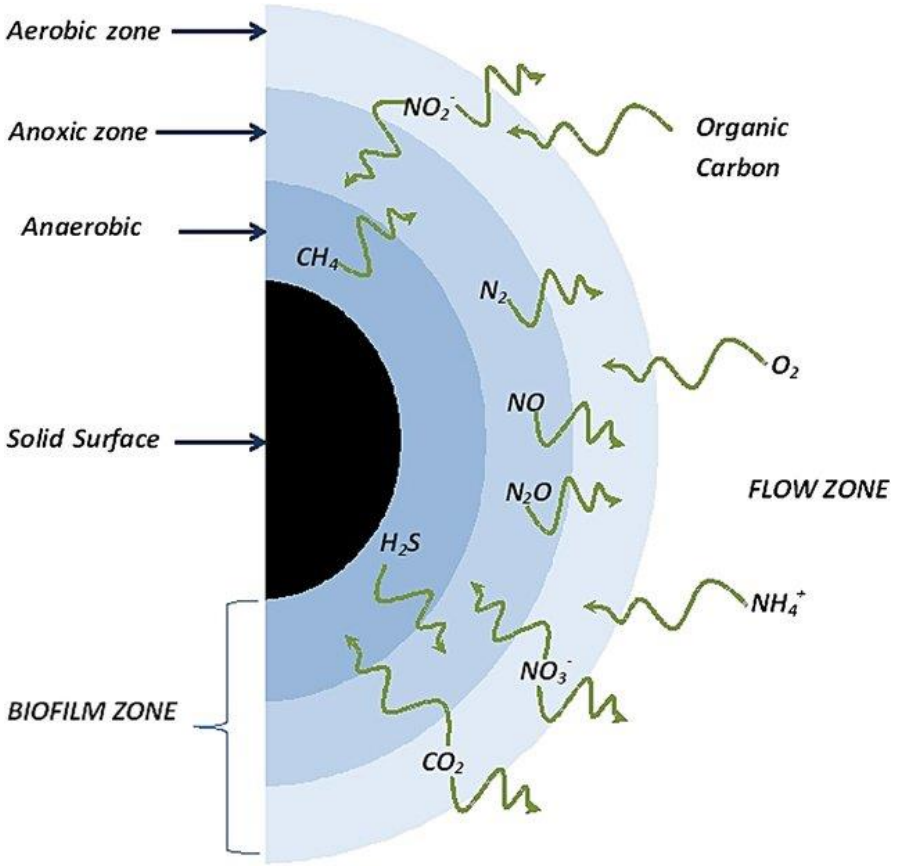


Biofilmové technologie

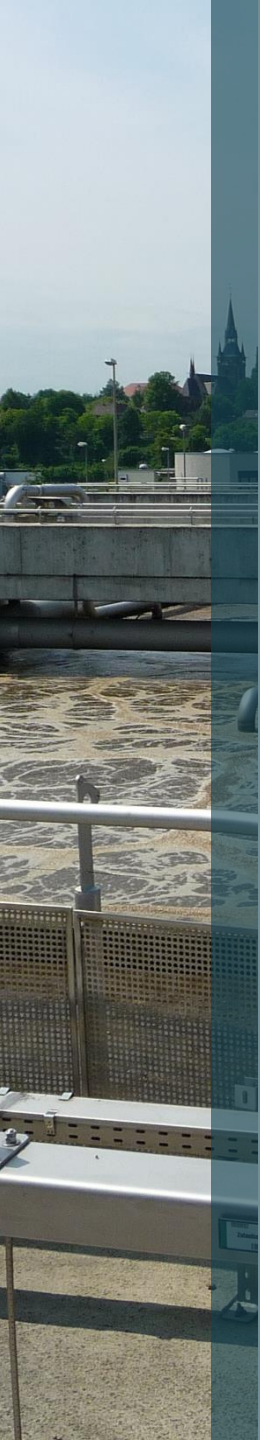
Tvorba biofilmu



1. formation of conditioning film on the surface,
2. initial adherence of bacterial cells,
3. irreversible attachment of bacteria,
4. maturation of the biofilm,
5. detachment.



zdroj: Andersson, 2009, Subramaniam 2015



Biofilmové technologie

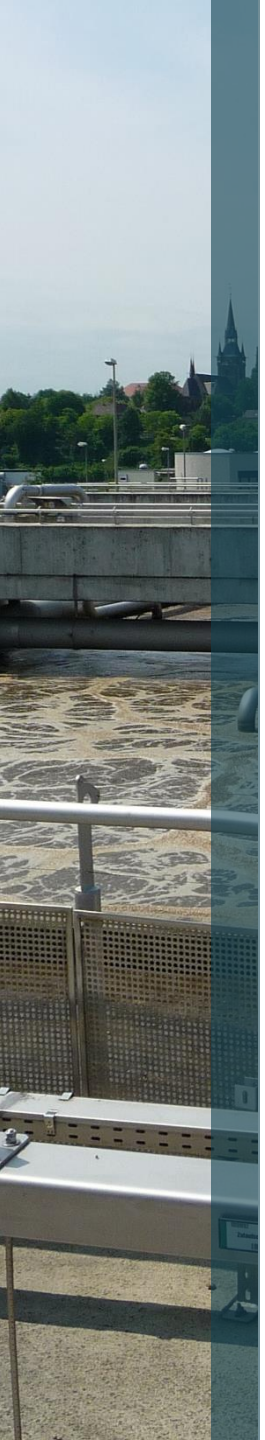
Složení biofilmu

- až 97 % voda ; 2,5% buňky; 3-6% EPS

Složení extracelulárních látek

- polysacharidy 40-95%
- proteiny 1-60 %
- nukleové kyseliny 1-10 %
- lipidy 1-40 %

zdroj: Andersson, 2009

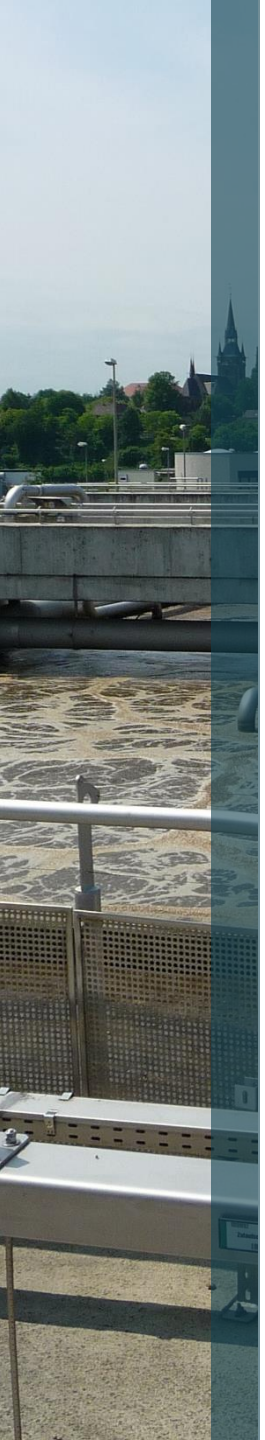


Biofilmové technologie

Funkce biofilmu

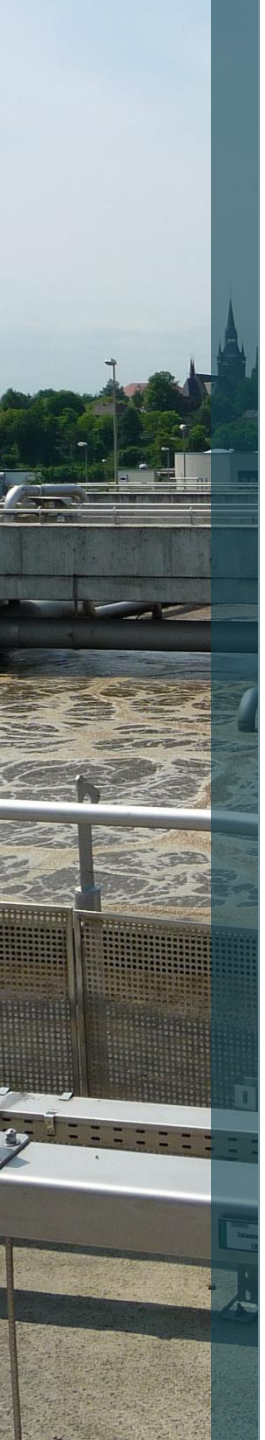
Effect of EPS component	Nature of EPS component	Role in biofilm
Constructive	Neutral polysaccharides Amyloids	Structural component Structural component
Sorptive	Charged or hydrophobic polysaccharides	Ion exchange, sorption
Active	Extracellular enzymes	Polymer degradation
Surface active	Amphiphlic Membrane vesicles	Interface interactions Export from cell, sorption
Informative	Lectins Nucleic acids	Specificity, recognition Genetic information, structure
Redox active	Bacterial refractory polymers	Electron donor/acceptor
Nutritive	Various polymers	Source of C, N, P

zdroj: Andersson, 2009



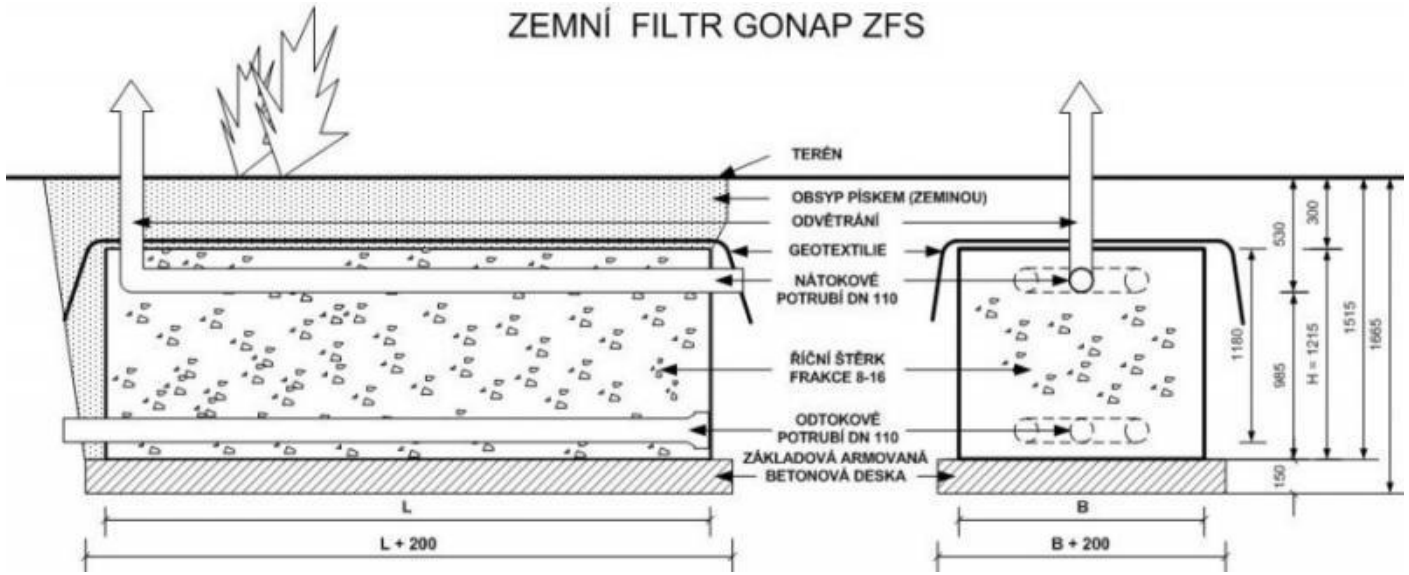
Zemní filtr

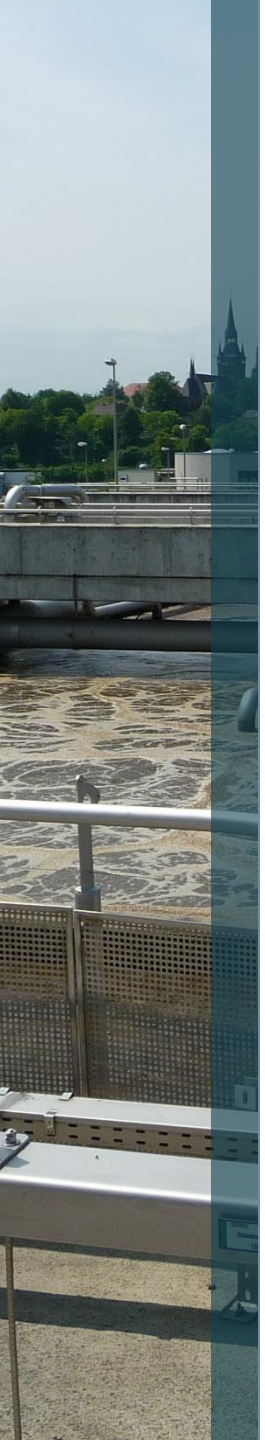
- aerobní až anoxické podmínky,
- specifická plocha : 2 - 6 m^2 / EO, výška lože 0,6 - 1 m,
- hydraulické zatížení 0,1 - 0,2 m^3/m^2 za den,
- látkové zatížení (BSK_5) 10 - 40 g/m^2 za den,
- odstranění BSK_5 – 90 %, $CHSK_{Cr}$ 80 %, $N\text{-}NH_4$ – 78,5 %,
- fosfor – závislost na náplni,



Zemní filtr

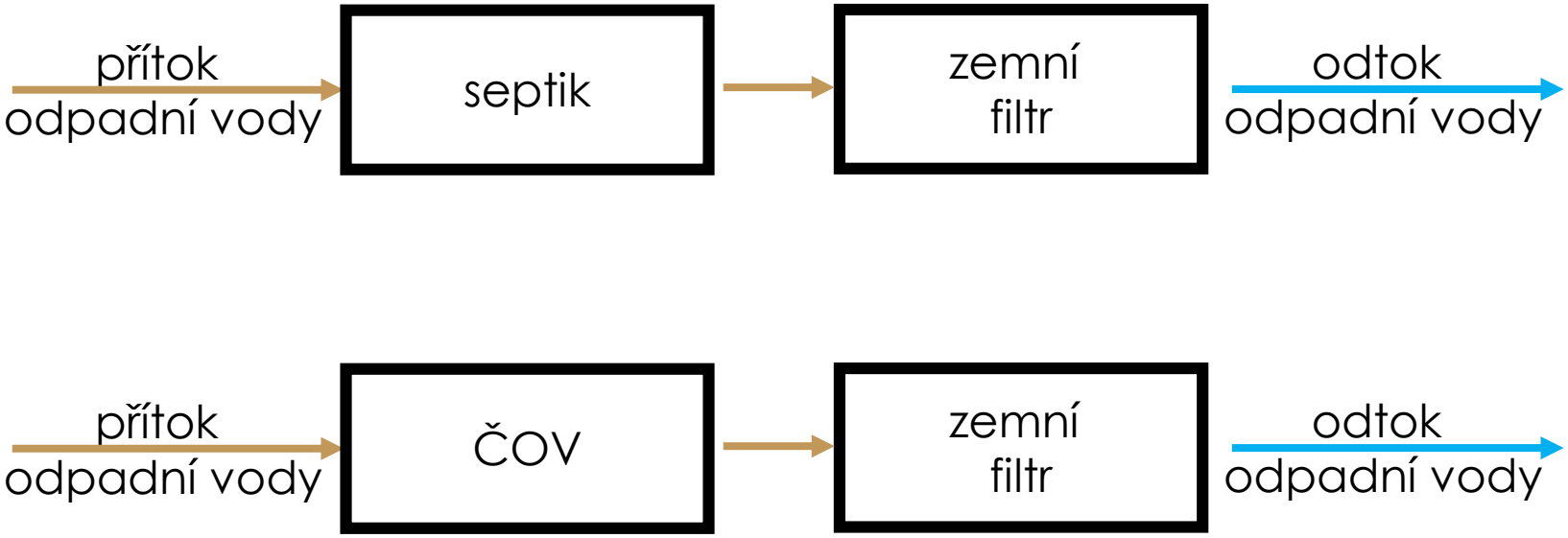
- hydroizolovaný výkop s přívodním a drenážním systémem;
- další stupeň čištění, nutno mechanicky předčistit vodu;
- náplň, štěrk a písek, využívají filtračního a sorpčního účinku použitého materiálu a přisedlou biomasu;

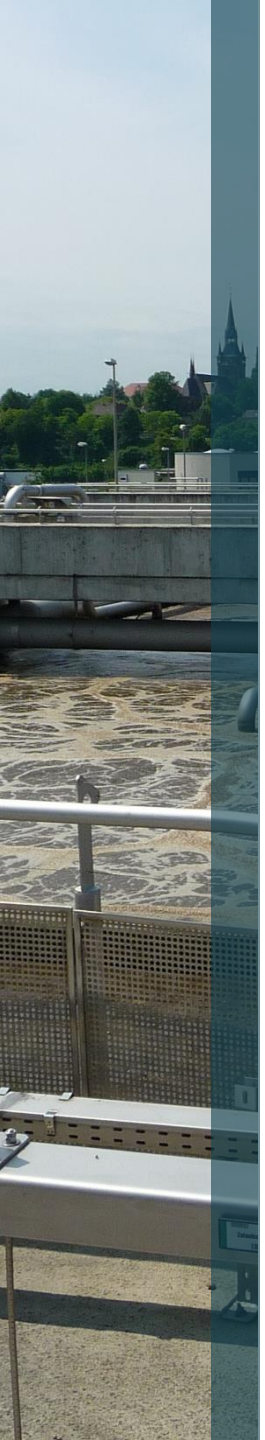




Zemní filtr

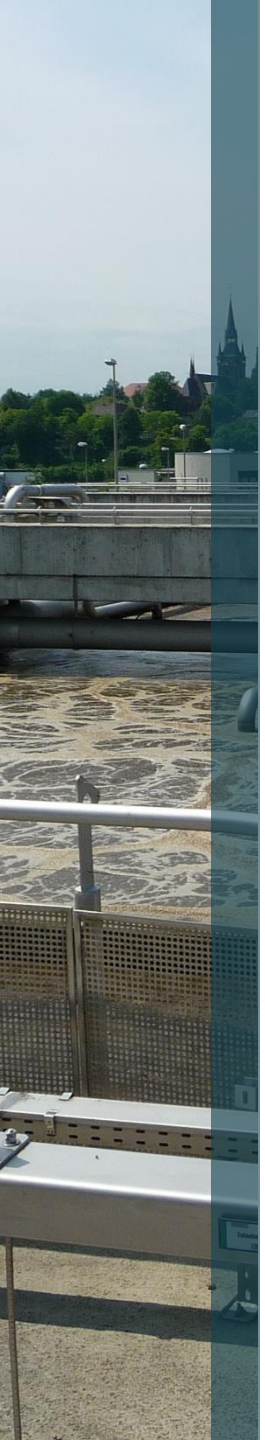
Možné uspořádání





Kořenové čistírny odpadních vod

- kombinace fyzikální / chemické / biologické čištění;
  - filtrace, sedimentace, adsorpce
  - mikroorganismy (bakterie, mikromycety, řasy, protozoa)
  - vegetace
- filtrační pole, štěrk, písek,
- hloubka pole 1 – 2 m, nutná plocha pro filtr 4 – 6 m^2 / EO;
- hydraulické zatížení 0,3 - 0,6 m^3/m^2 za den,
- látkové zatížení (BSK_5) 6 - 10 g/m^2 za den,

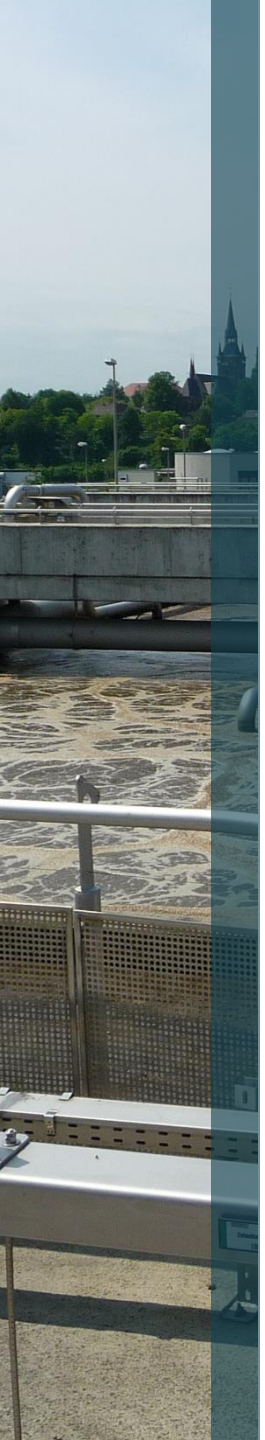


Kořenové čistírny odpadních vod

Rostliny

- rákos obecný
- sítina rozkladitá
- skřípinec jezerní
- orobinec úzkolistý

- transport plynů (kyslík),
- akumulace látek (fosfor, kovy, fenol,..),
- uvolňování sloučenin (cukry, aminokyseliny, vitamíny, organické kyseliny),
- transpirace,

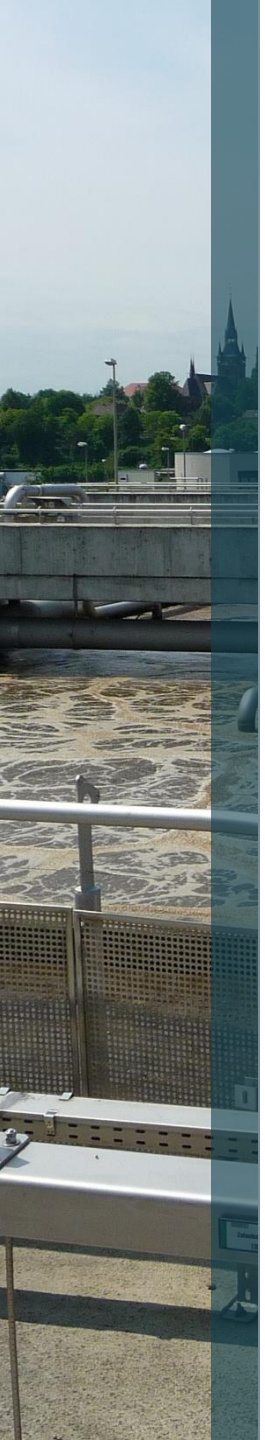


Kořenové čistírny odpadních vod

Účinnost čištění

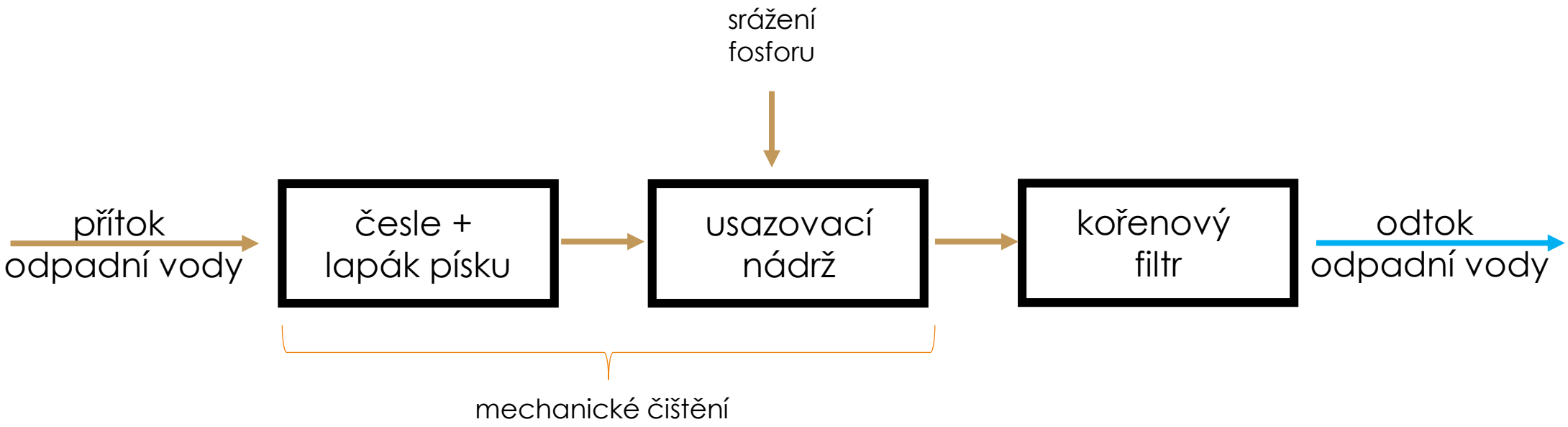
BSK_5	85 % (ČSN 75 6402 uvádí 65–95 %)
$CHSK_{cr}$	75 % (ČSN 75 6402 uvádí 70–90 %)
NL	80 % (ČSN 75 6402 uvádí 85–95 %)
$N\text{-}NH_4^+$	30 % (ČSN 75 6402 uvádí 10–15 %)
P_{celk}	10 % (ČSN 75 6402 uvádí 5–25 %)

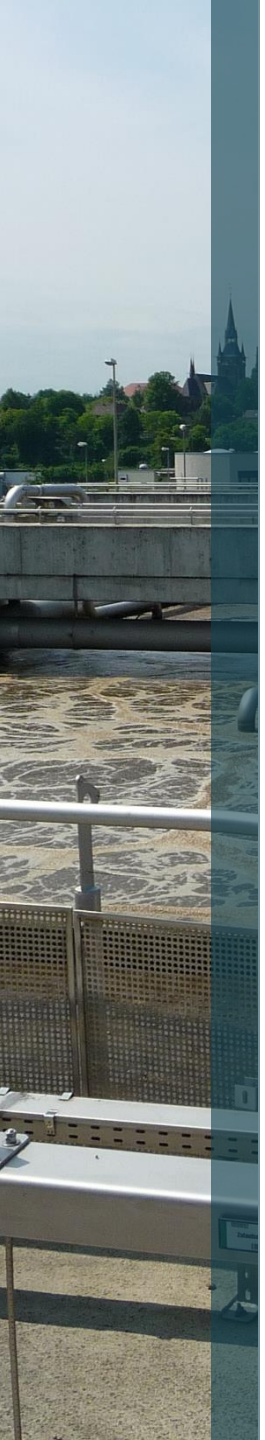
Zdroj : Vymazal, 1995; Šálek a Tlapák, 2006; Rozkošný, 2008; Mlejnská a kol., 2009; Vymazal, 2009



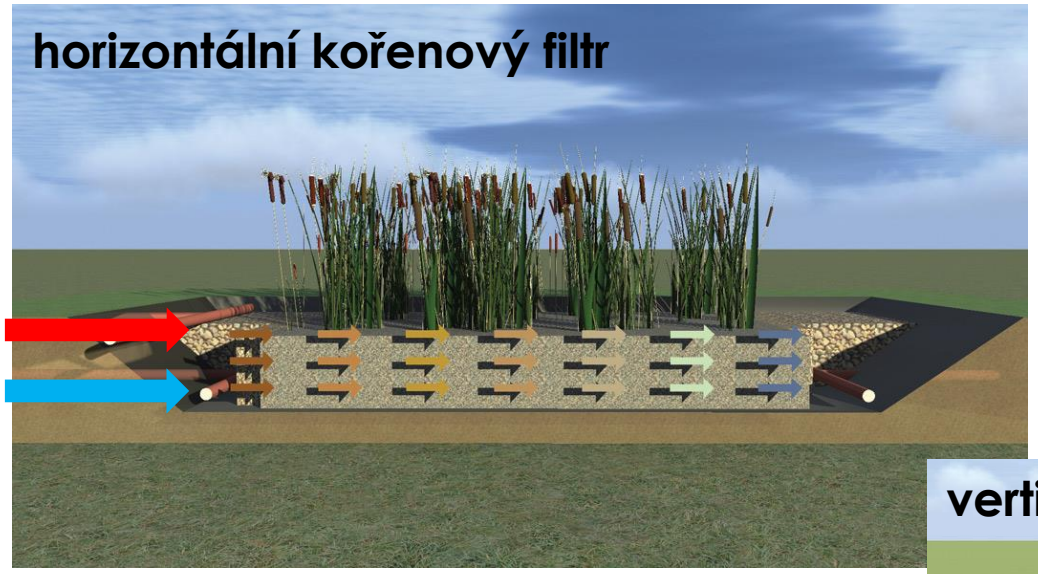
Kořenové čistírny odpadních vod

Typické uspořádání





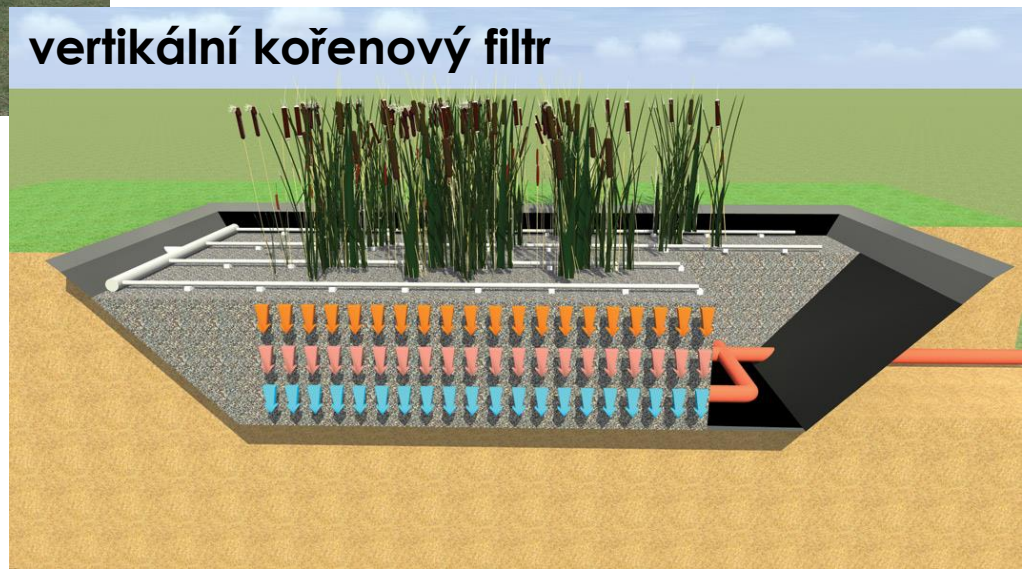
Kořenové čistírny odpadních vod



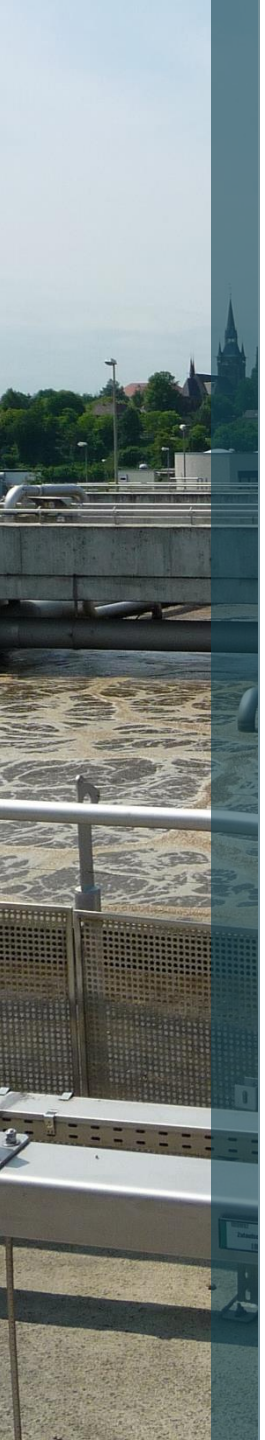
Název vrstvy	Materiál	Výška (mm)
Svrchní vrstva	Praný říční štěrk 4/8 mm	50 – 100
Hlavní filtrační vrstva	Drcený štěrk 2/4 mm*	500 – 600
Přechodový filtr	Drcený štěrk 4/8 mm	50 – 100
Drenážní vrstva	Drcený štěrk 8/16 mm	200
Kompenzační vrstva**	Písek	0 – 50
Těsnění	Hydroizolace PVC 1,5 mm krytá oboustranně geotextilií 500 g/m^2	-
Pískový podsyp**	Písek	0 – 50

** je možná aplikace frakce 1/4, 1/5, 2/5 podle možností nejbližšího lomu*

*** (vhodné, ale není bezpodmínečně nutné)*



zdroj: Vodní hospodářství



Kořenové čistírny odpadních vod

Výpočet plochy kořenového pole

$$A = Q_d \cdot (\ln C_o - \ln C) / K_{BSK} \ [m^2]$$

Q_d - průměrný denní přítok odpadní vody (m^3/d)
C_o - koncentrace BSK_5 na přítoku (mg/l)
C - koncentrace BSK_5 na odtoku (mg/l)
K_{BSK} – reakční konstanta (m/d) – 0,1

Odvození šířky kořenového pole

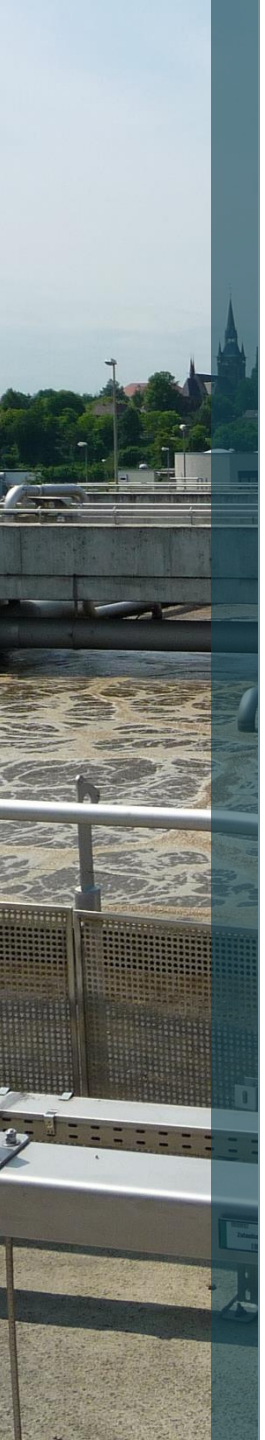
$$Q = k_s \cdot A_p \cdot i$$

Q – průtok odpadní vody (m^3/s)
k_s - hydraulická vodivost substrátu (m/s)
A_p - příčný průřez kořenového lože (m^2)
i - hydraulický sklon (m/m) (sklon dna)

Druh zeminy	Součinitel filtrace ($m.s^{-1}$)
Kamenitá suť	$10^{-1} \div 10^{-5}$
Hrubý štěrk	$10^{-2} \div 10^{-5}$
Střední štěrk	$10^{-3} \div 10^{-2}$
Jemný štěrk	$10^{-2} \div 10^{-4}$
Hrubý písek	$10^{-2} \div 10^{-5}$
Střední písek	$10^{-3} \div 10^{-6}$
Jemný písek	$10^{-3} \div 10^{-6}$
Zahliněný písek	$10^{-4} \div 10^{-7}$
Jílovitý písek	$10^{-5} \div 10^{-8}$
Spraš	$10^{-5} \div 10^{-10}$
Hlína	$10^{-6} \div 10^{-10}$
Jíl	$10^{-8} \div 10^{-12}$

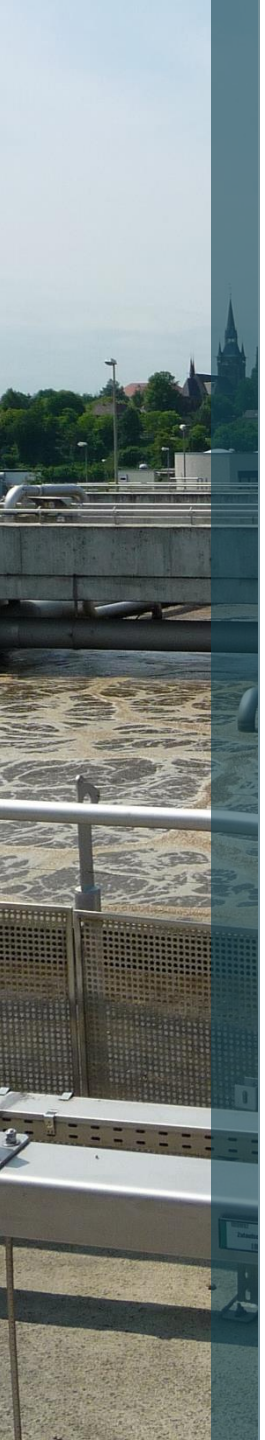
Šířka koř. pole (tj. délka nátokové hrany) určená z rovnice je často vysoká.

Jelikož se nedoporučuje z praktických důvodů (obtížná distribuce vody) používat šířku koř. pole > 25m, je vhodné v tomto případě navrhnout více polí. Poměr délka x šířka nemá vliv na účinnost odstraňování BSK_5 a NL.



Kořenové čistírny odpadních vod

Zdroj: obec Němčovice



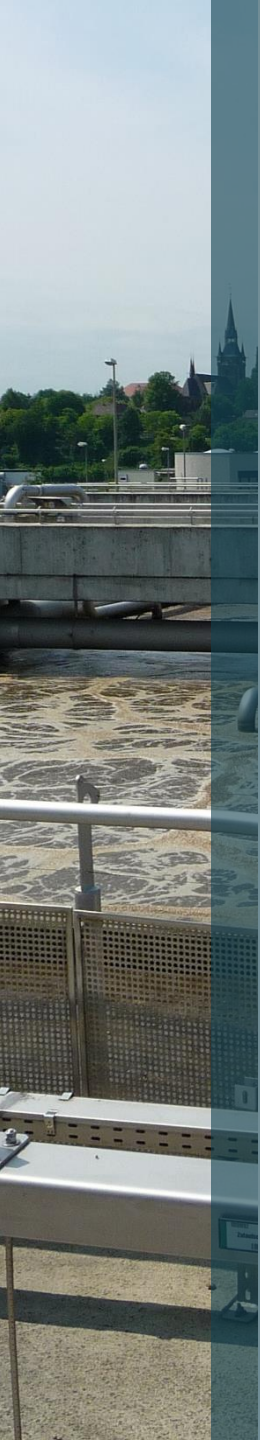
Kořenové čistírny odpadních vod

Výhody

- není citlivá na změny nebo přerušení přítoku OV,
- nižší provozní i investiční náklady,

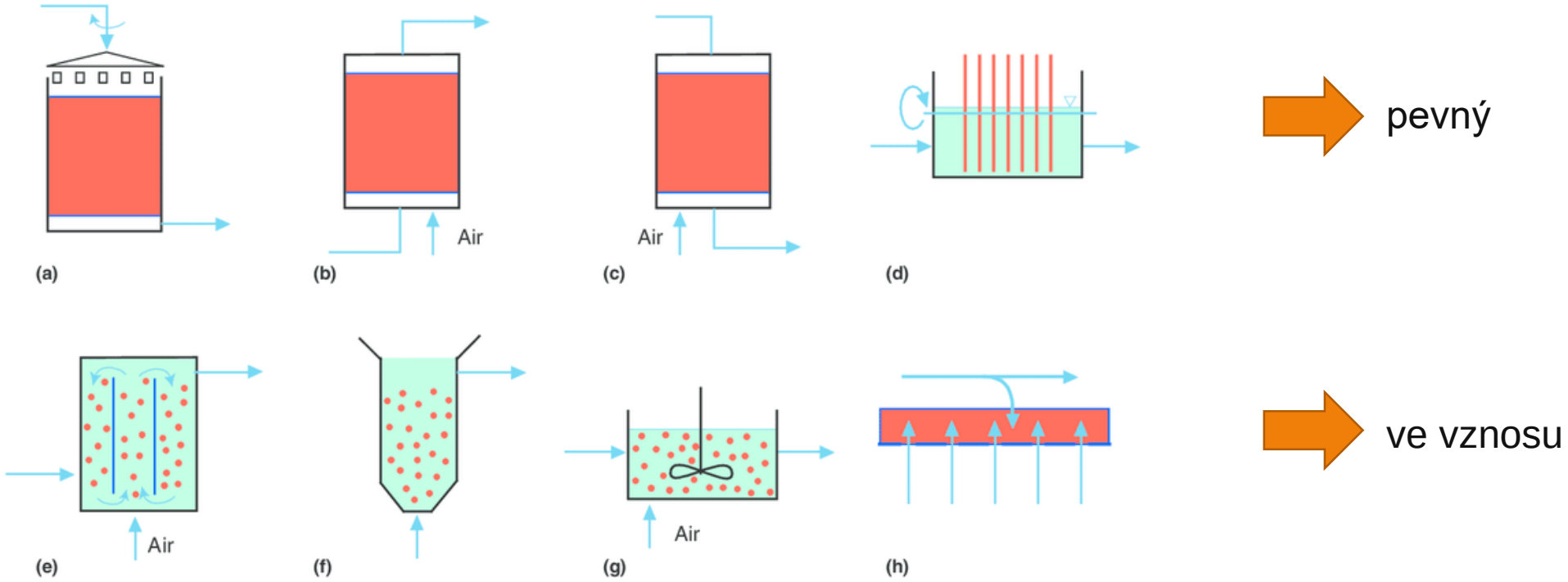
Nevýhody

- náročnost na plochu,
- problematika kolmatace a následné regenerace filtračního materiálu,
- odstraňování $N\text{-}NH_4^+$; fosforu,
- problematika kalového hospodářství,



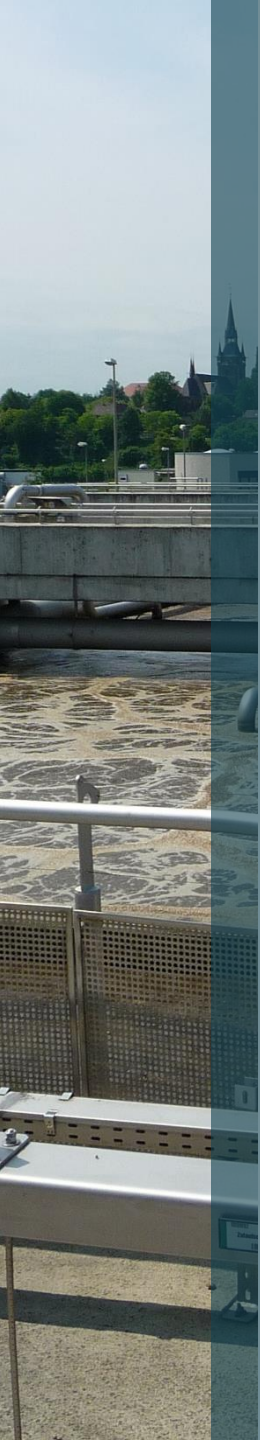
Biofilmové reaktory

Druhy zařízení



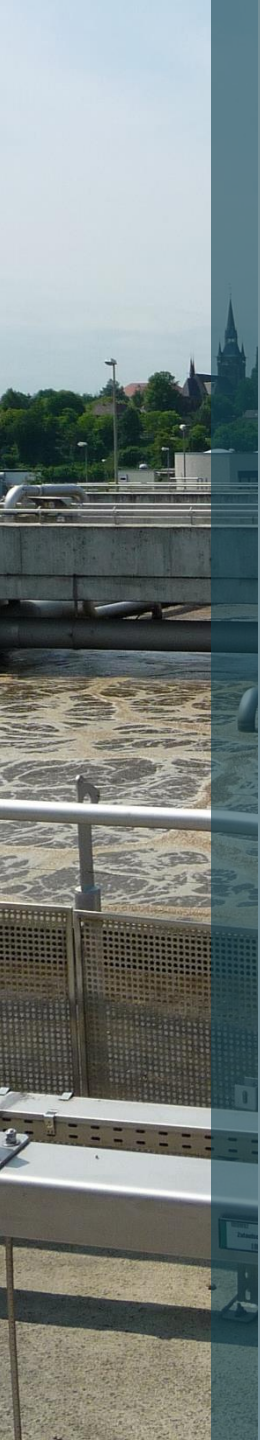
(a) trickling filter; (b) submerged fixed bed biofilm reactor operated as up flow or (c) down flow mode; (d) rotating biological contactor; (e) suspended biofilm reactor including airlift reactor; (f) fluidized bed reactor; (g) moving bed biofilm reactor; and (h) membrane attached biofilm reactors

zdroj: Morgenroth (2008)

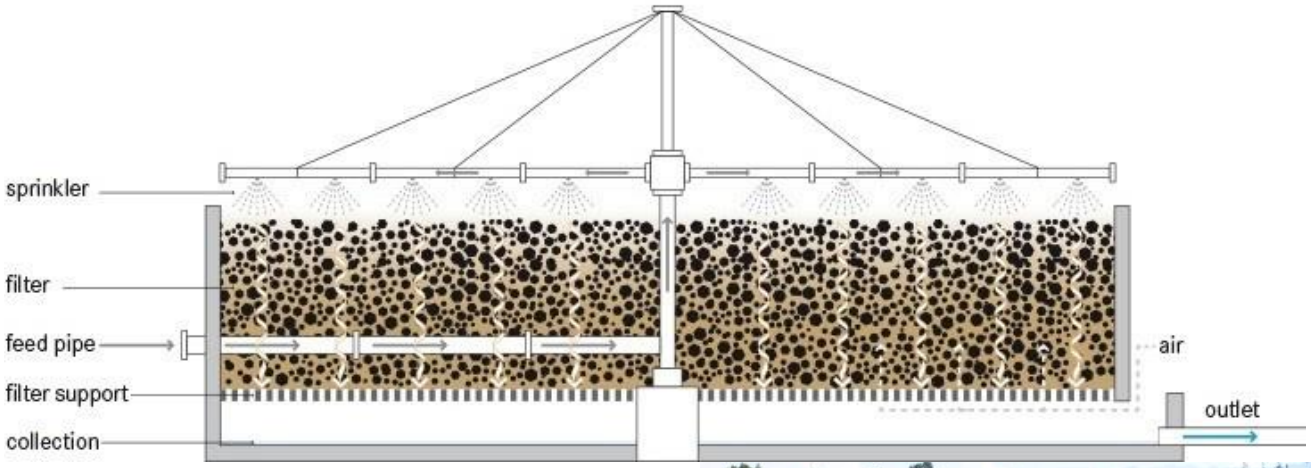


Skrápěný filtr

- průměr až 60 m; výška 0,9 – 2,4 m,
- frakce 2,5 – 10 cm; plocha 149 m^2/m^3
- hydraulické zatížení min 1 – 40 m^3/m^2 za den,
- látkové zatížení (BSK_5) 80 – 1000 g/m^3 za den,
- recirkulace 0,5 –3,
- odstranění BSK_5, 40 – 90 %

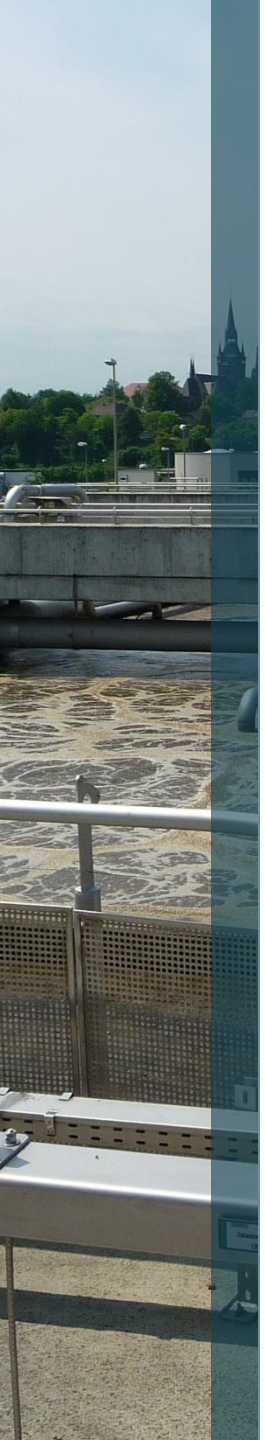


Skrápěný filtr (biofiltr, biologická kolona)



Zdroj: Tilley et al. (2014).

Zdroj: Stewart Oakley (2017).

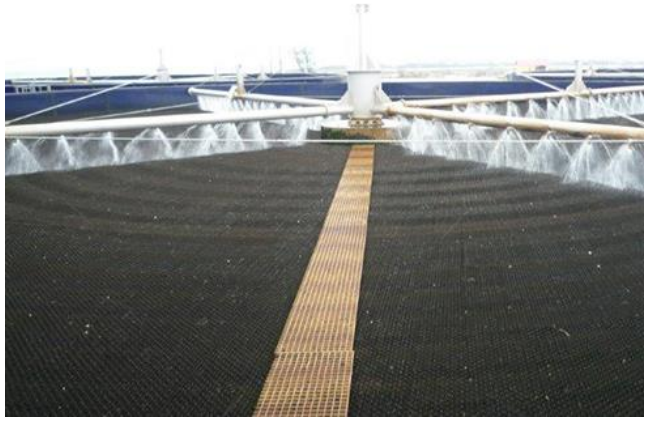


Skrápěný filtr

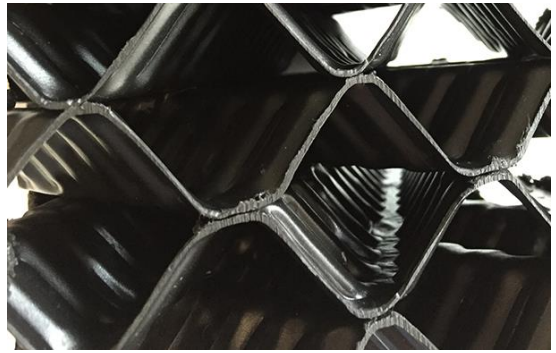
Tradiční náplň

Nízká výměna vzduchu

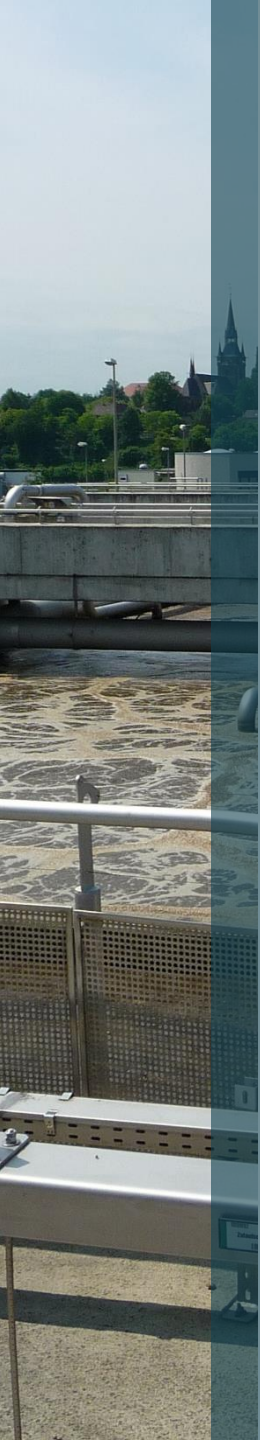
Moderní náplň



Vysoká výměna vzduchu

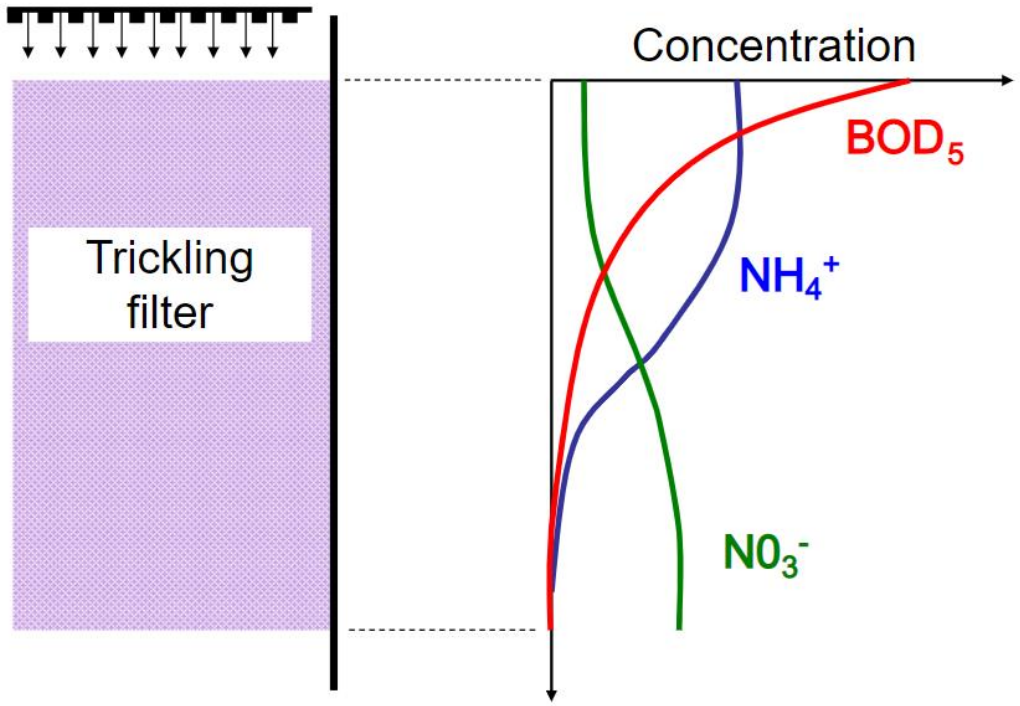


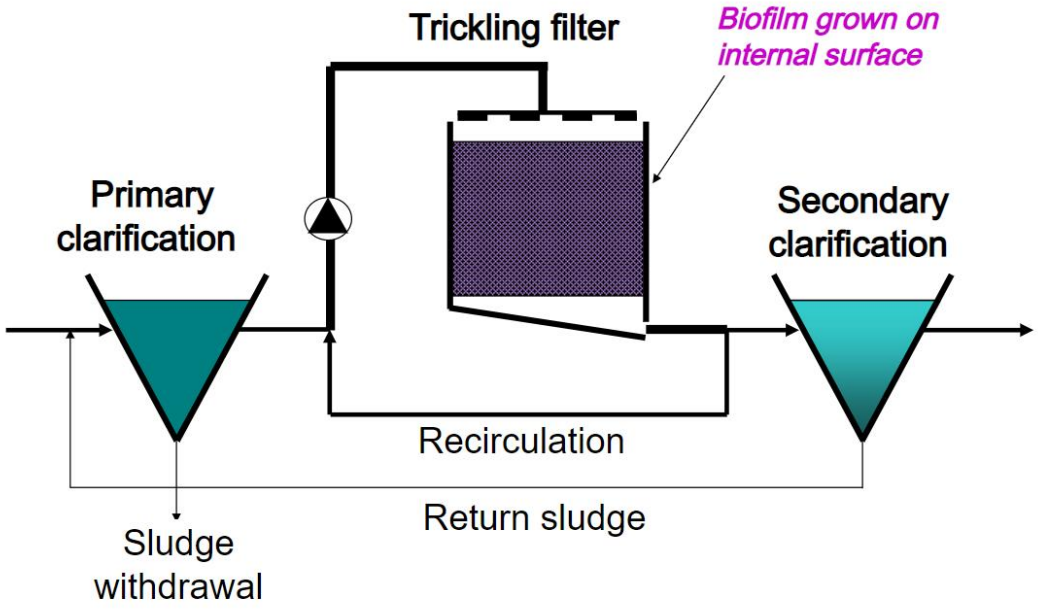
lufa válcovitá
Luffa cylindrica



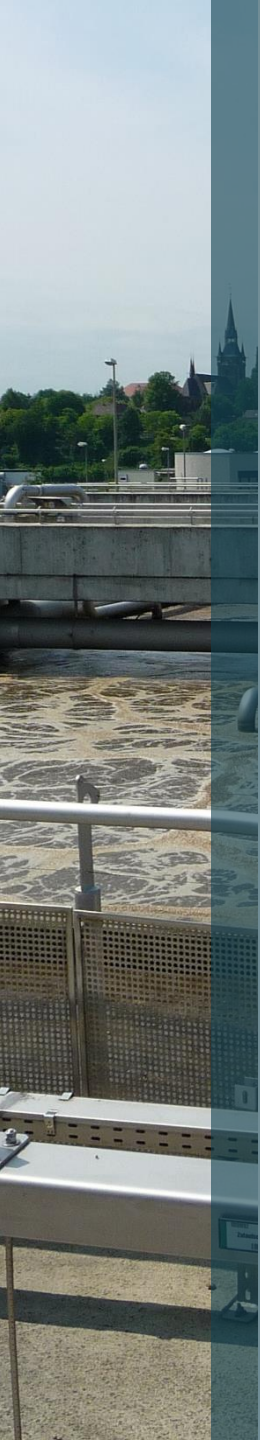
Skrápěný filtr

- kinetika odstraňování substrátu





→ C-degradation and nitrification are separated in space



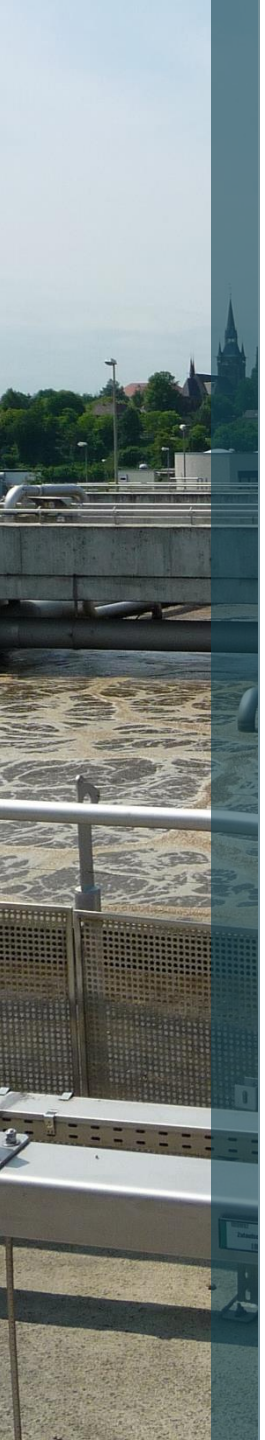
Skrápěný filtr

- návrh

$$B_{PZ} = \frac{Q_d \cdot BSK_5}{a \cdot V_{filtr}} \quad \left[g\ BSK_5/(m^2 \cdot d) \right]$$

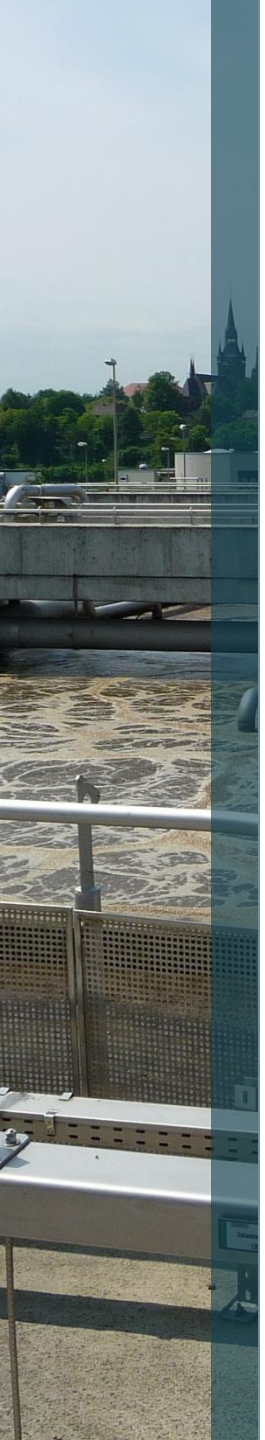
B_{PZ} – zatížení povrchu org. látkami za den, g BSK_5/ m^2
Q_d – denní přítok odpadních vod na filtr, m^3
BSK_5 – koncentrace BSK_5 na vstupu do filtru, kg/m^3
a – specifický povrch biofilmu vztažený k objemu filtru, m^2/m^3 filtru; (100, 140, 180 m^2/m^3 filtru)
V_{filtr} – objem filtru, m^3

Obvyklé hodnoty B_{PZ}
- bez nitrifikace 4 g BSK_5 / (m^2·d)
- s nitrifikací 2 g BSK_5 / (m^2·d)

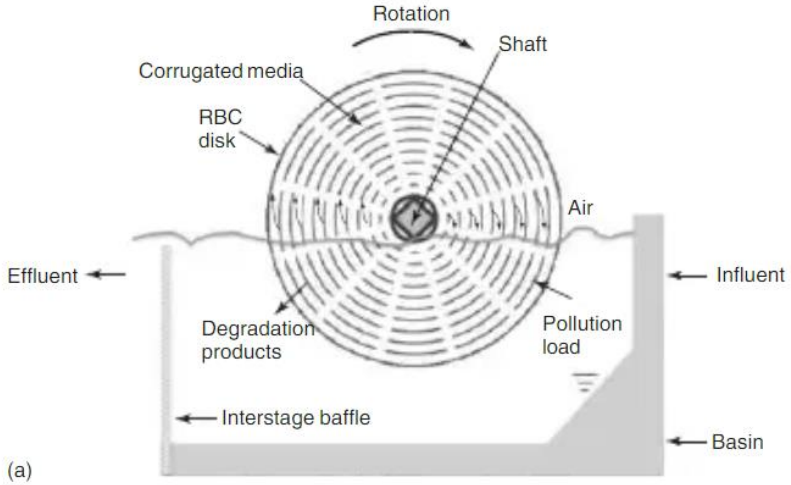


Rotační biologický kontaktor

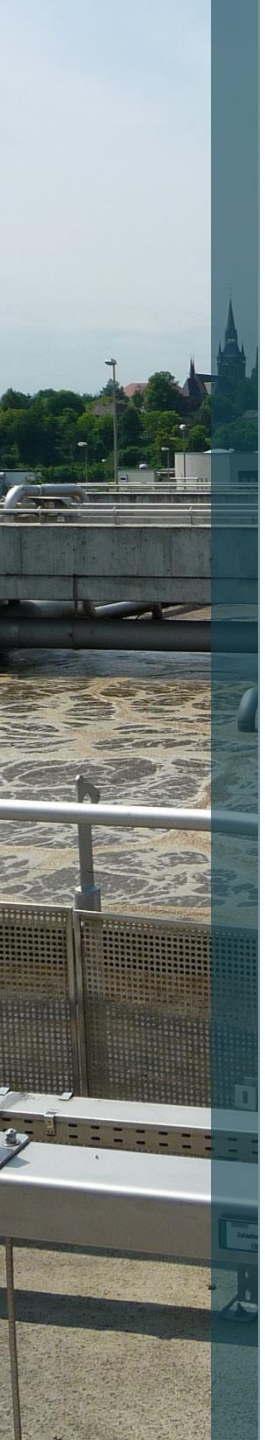
- průměr disků 1 – 4 m; délka hřídele 5 – 10m,
- otáčky 1 – 10 za minutu,
- hydraulické zatížení 0,01 – 0,8 m^3/m^2 za den,
- látkové zatížení (BSK_5) 12 – 20 g/m^2 za den,
- odstranění BSK_5, 65 – 95 %



Rotační biologický kontaktor

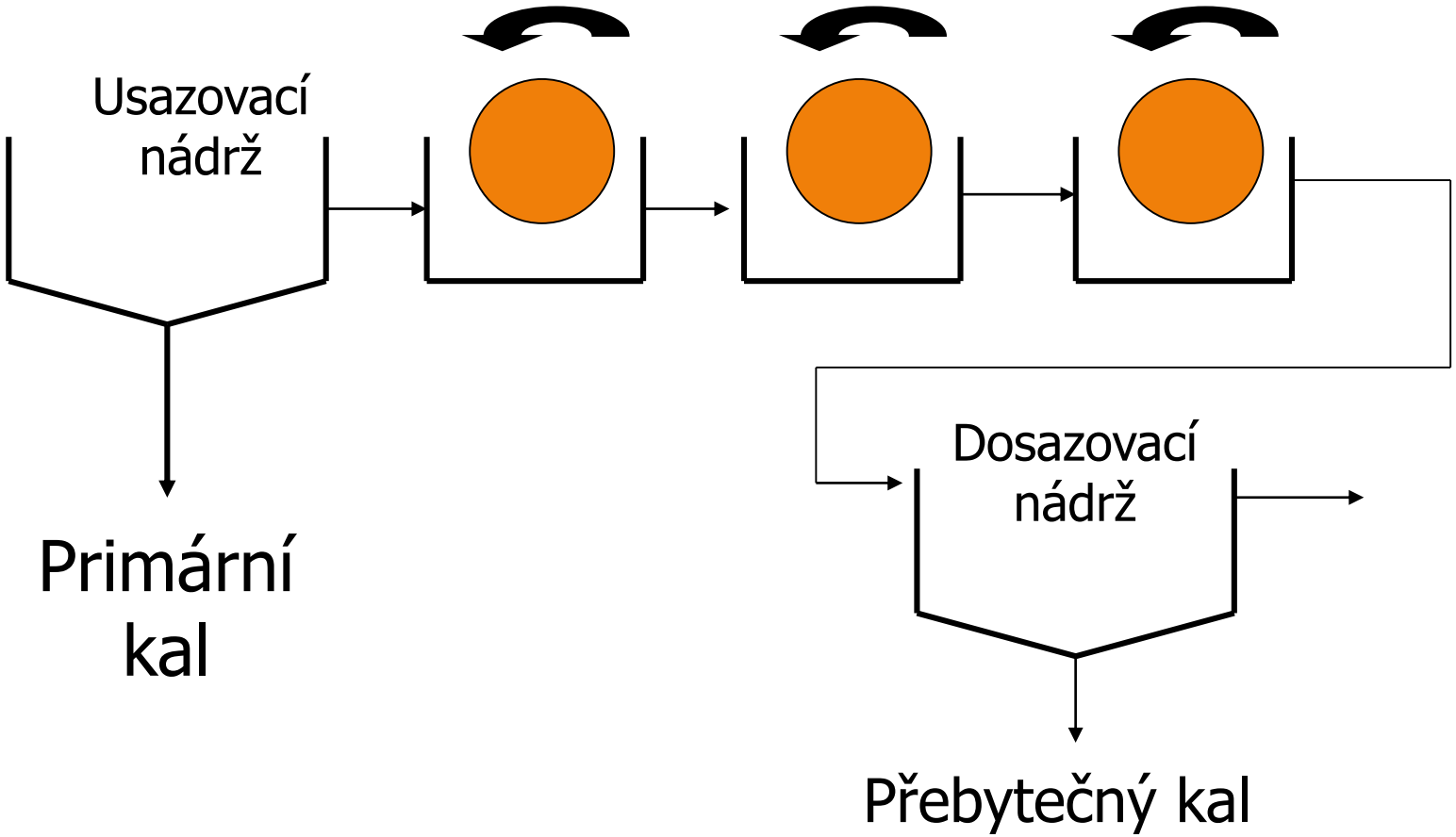


zdroj: Cortez et al. (2013)

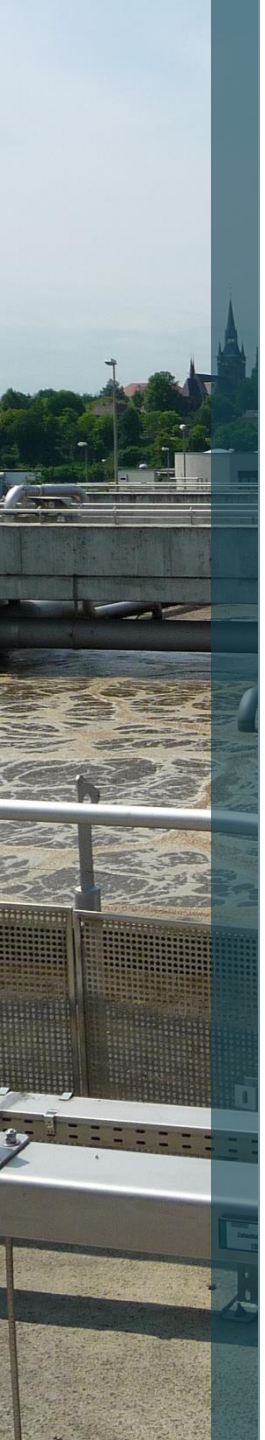


Rotační biologický kontaktor

- možné uspořádání



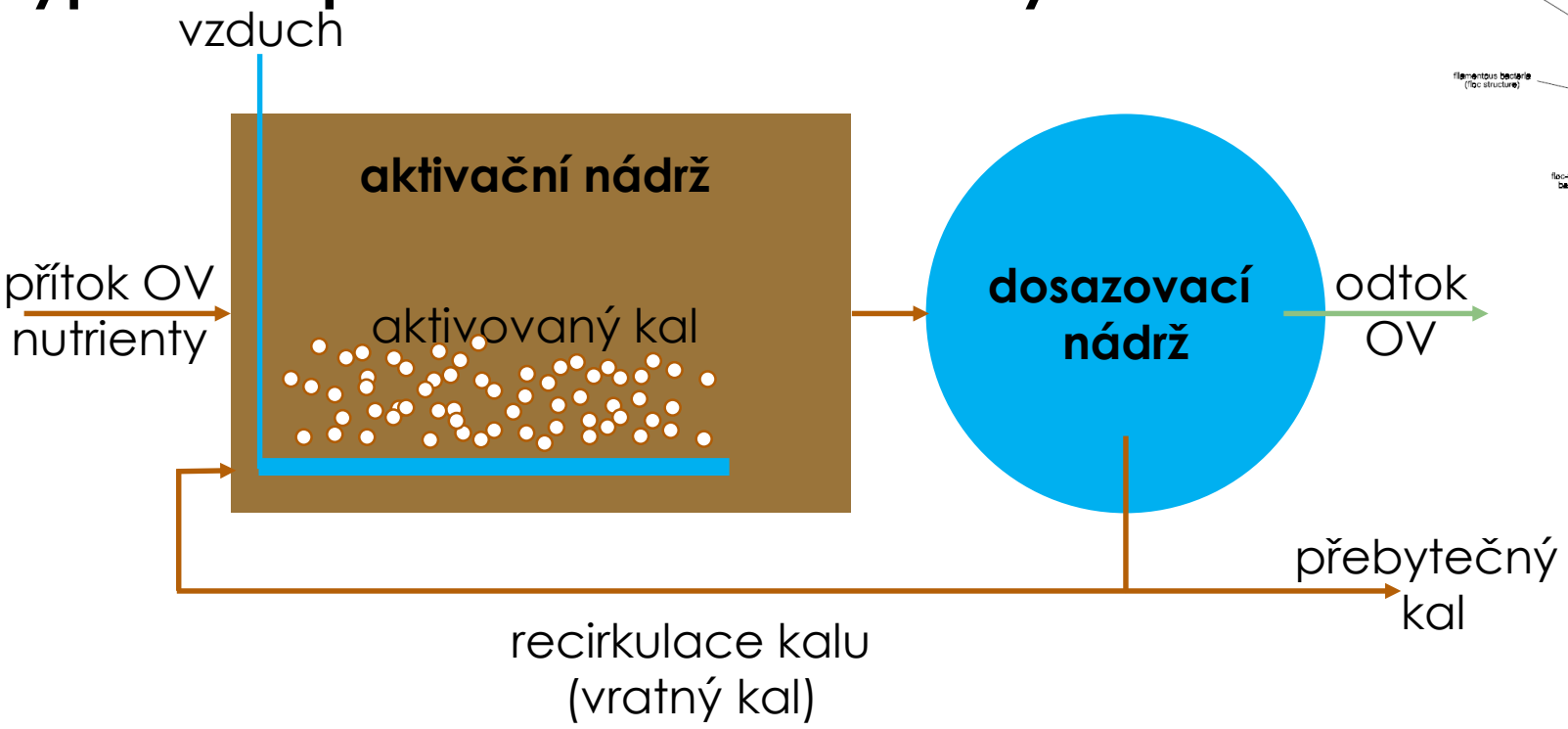
Rotační biologický kontaktor

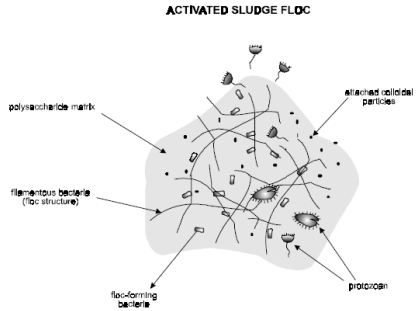


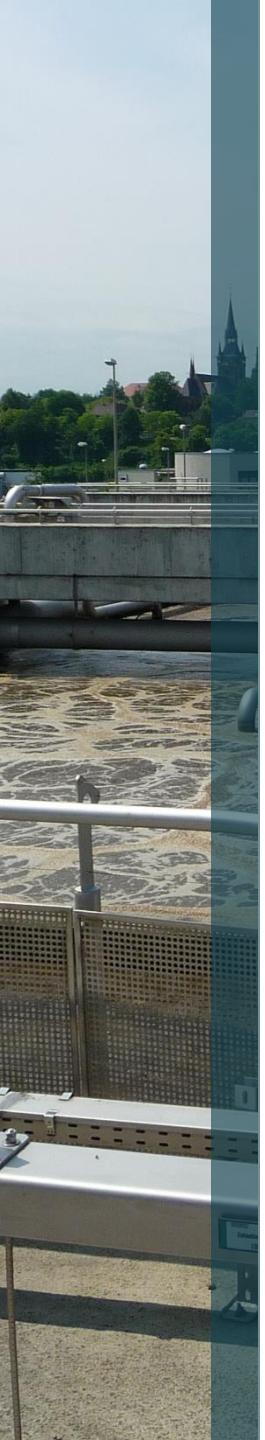
Biologické čištění – aktivační proces

- vyvinut pře více než 100 lety (Arden and Lockett, 1914)

Typické uspořádání aktivační linky

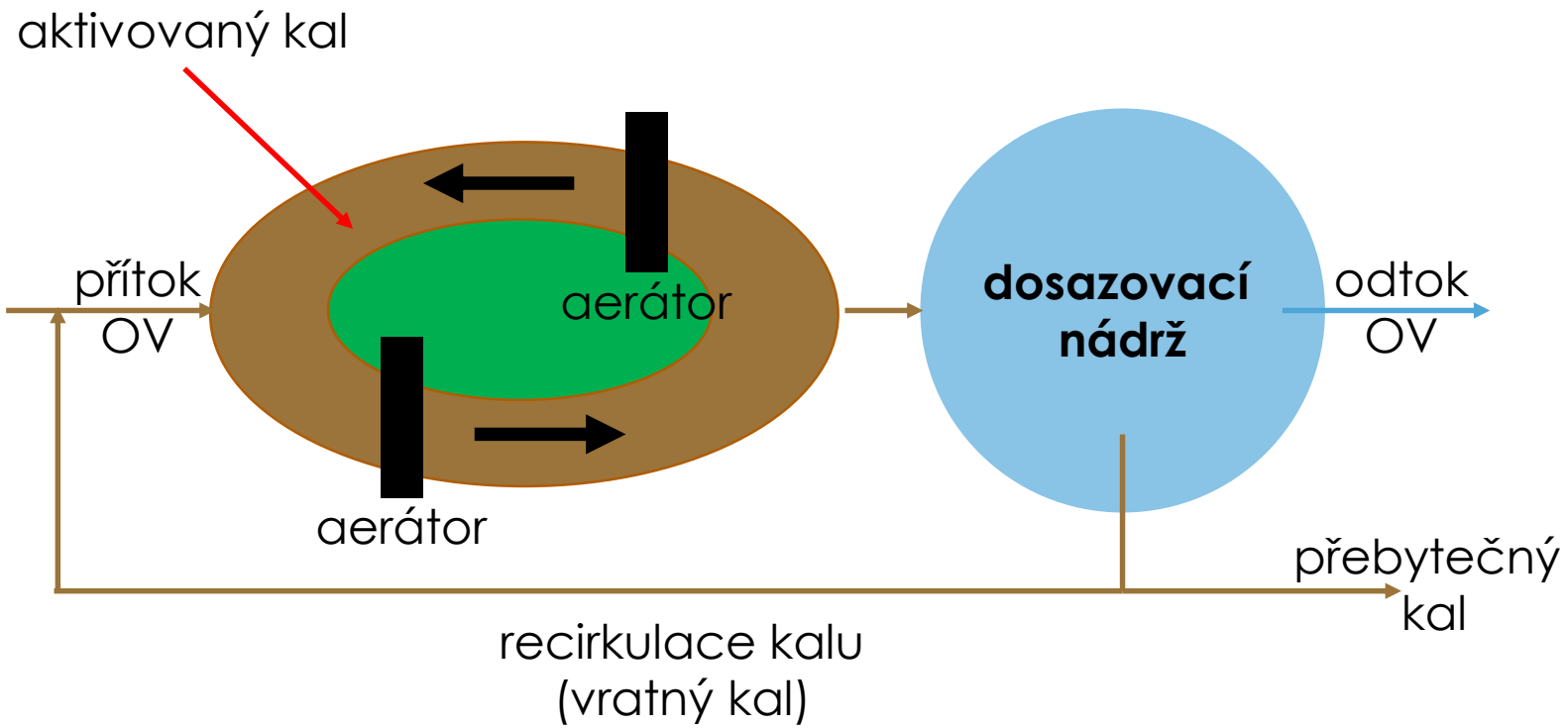


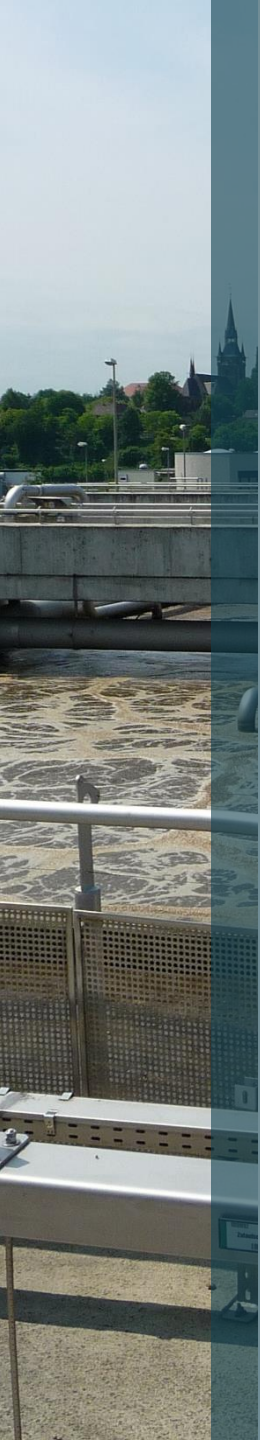




Biologické čištění – aktivační proces

Oxidační příkop

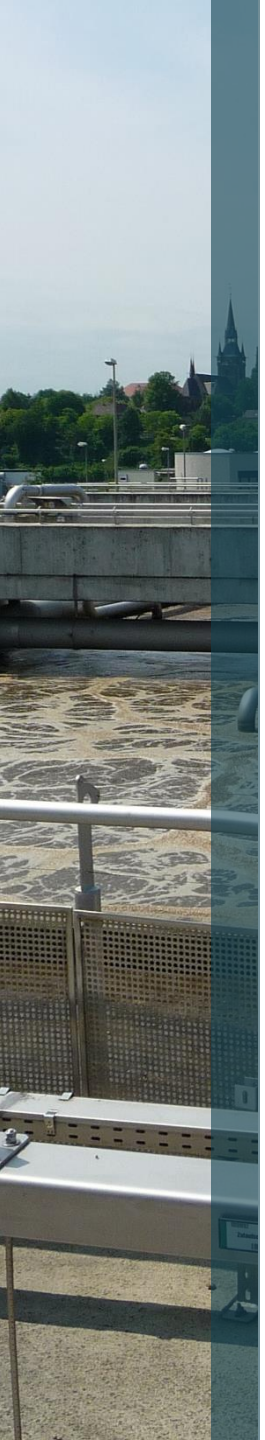




Biologické čištění – aktivační proces

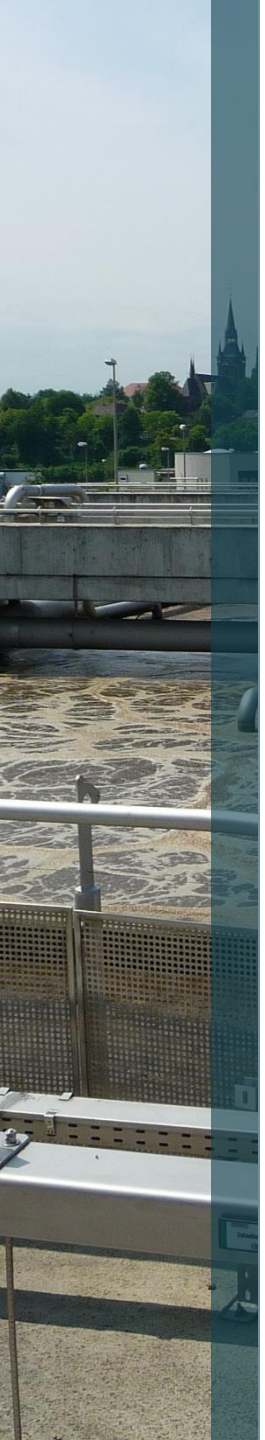
Oxidační příkop

foto: Vítěz



Biologické čištění – aktivační proces

foto: mapy.cz



Aktivační proces technologické parametry

Základní pojmy

aktivovaný kal - shluk mikroorganizmů spojených bioflokulací do vloček,

substrát - organické látky obsažené v odpadní vodě,

hydraulická doba zdržení – doba zdržení odpadní vody v biologické lince, hodiny,

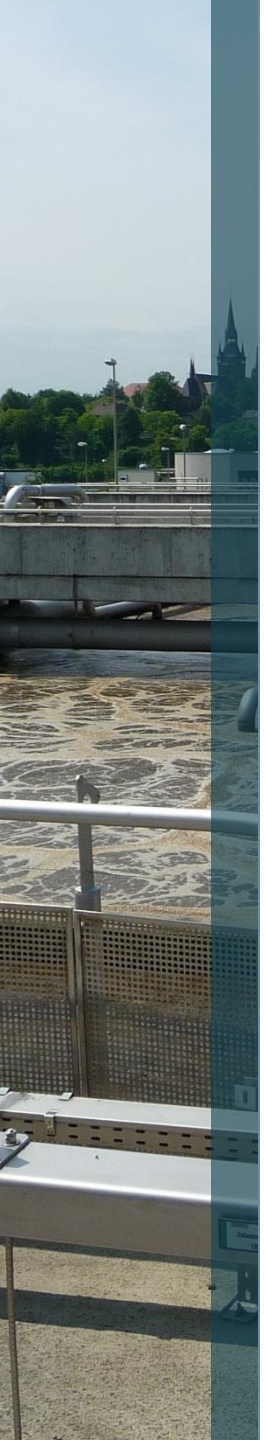
objemové zatížení kalu - množství organických látek přivedené do 1 m^3 aktivační nádrže za den, $kg/m^3.d$,

recirkulační poměr – množství vratného kalu k přítoku odpadní vody, obvykle 50-150 %,

koncentrace kalu - koncentrace sušiny aktivovaného kalu, g/l,

stáří kalu - doba zdržení vločky aktivovaného kalu v systému, dny,

látkové zatížení - poměr množství substrátu k sušině aktivovaného kalu [kg/kg·d]



Aktivační proces technologické parametry

Hydraulická doba zdržení odpadní vody

Poměr V objemu nádrže k přítoku odpadní vody.

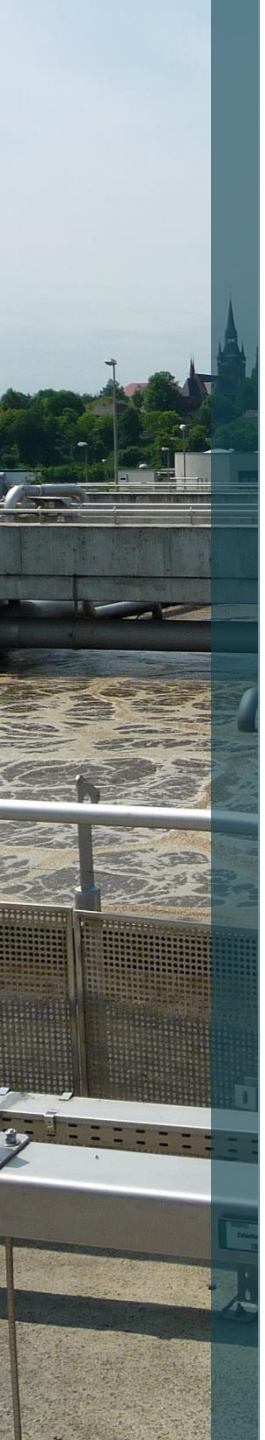
$$\Theta = \frac{V}{Q_d} \text{ [h]}$$

Objemové zatížení kalu

Hmotnostní množství organických látek přivedené do 1 m^3 aktivační nádrže za čas.

$$B_v = \frac{Q_d \cdot S_i}{V} = \frac{S_i}{\Theta} \text{ [kg/m}^3\text{] za den}$$

V - objem aktivační nádrže [m^3]
Q_d - maximální hodinový bezdeštný přítok [m^3/h]
S_i - organické znečištění, vyjádřeno jako BSK_5 [g/dm^3] za den



Aktivační proces technologické parametry

Látkové zatížení kalu

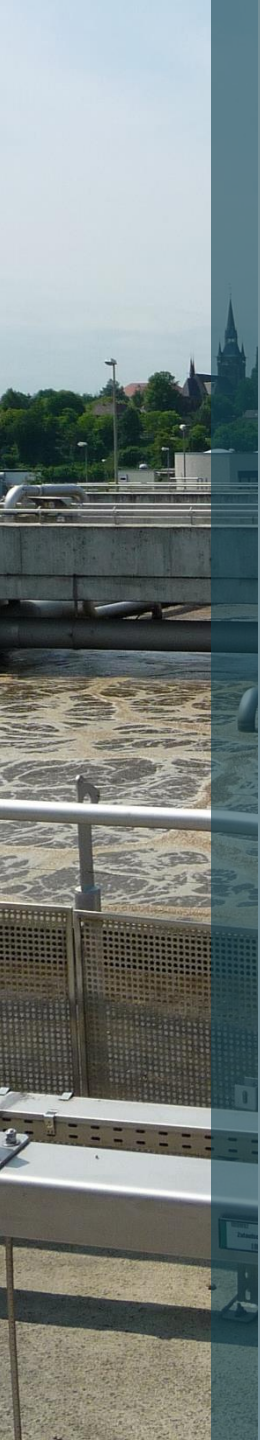
Hmotnostní množství organických látek přivedené na 1 kg celkové sušiny kalu za den.

$$B_x = \frac{Q_d \cdot S_i}{V \cdot X} = \frac{24 \cdot S_i}{\Theta \cdot X} = \frac{B_v}{X} \text{ [kg/kg] za den}$$

V - objem aktivační nádrže [m^3]
Q_d - maximální hodinový bezdeštný přítok [m^3/h]
X - koncentrace aktivovaného kalu [kg/m^3]; obvyklé hodnoty 3 - 5 kg/m^3
S_1 - organické znečištění, vyjádřeno jako BSK_5 [g/dm^3] za den; pro městské OV 0,4 g/dm^3

Hodnota B_x je po stáří kalu druhou základní návrhovou hodnotou.

Obvyklá hodnota B_v = 0,04 - 0,08 kg/kg za den

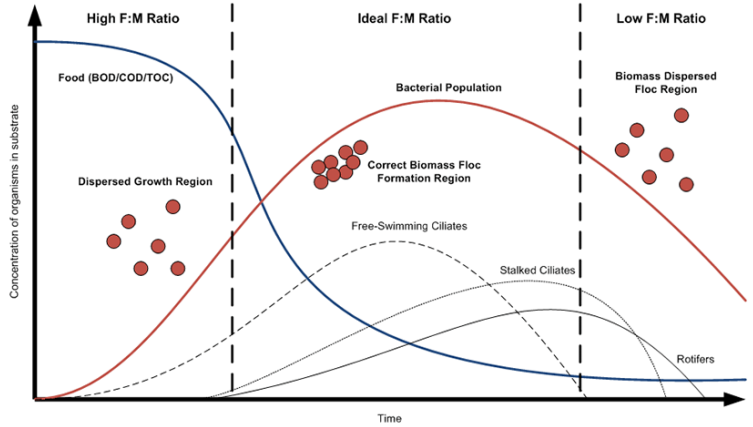


Aktivační proces technologické parametry

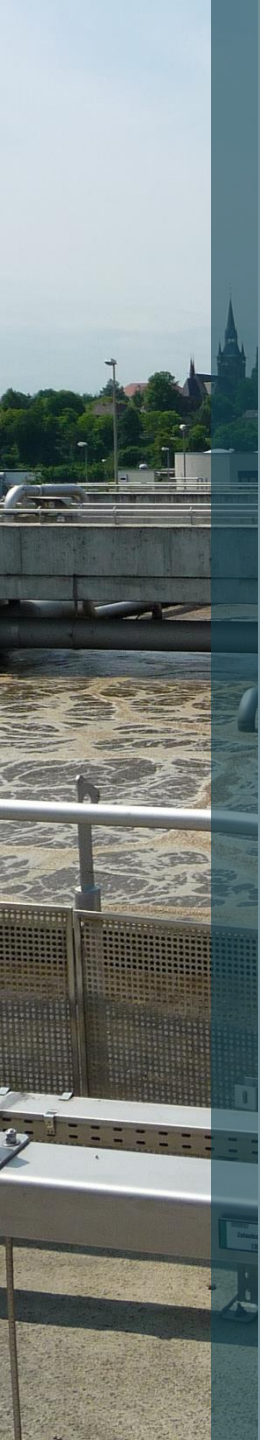
Látkové zatížení kalu

Hmotnostní množství organických látek přivedené na 1 kg celkové sušiny kalu za den.

$$F/M = \frac{Q_d \cdot BOD_{5,in}}{V \cdot X} \; [kg_{BOD}/kg_{TSS}] \text{ za den}$$



F/M - food/microorganisms
Q_d - maximální hodinový bezdeštný přítok [m^3/h]
$BOD_{5,in}$ - koncentrace organického znečištění vyjádřeného v BSK_5, [mg/l]:
V - objem aktivační nádrže [m^3]
X - koncentrace aktivovaného kalu [kg/m^3]; obvyklé hodnoty 3 - 5 kg/m^3



Aktivační proces technologické parametry

Stáří kalu

Střední doba zdržení mikroorganismů v systému.

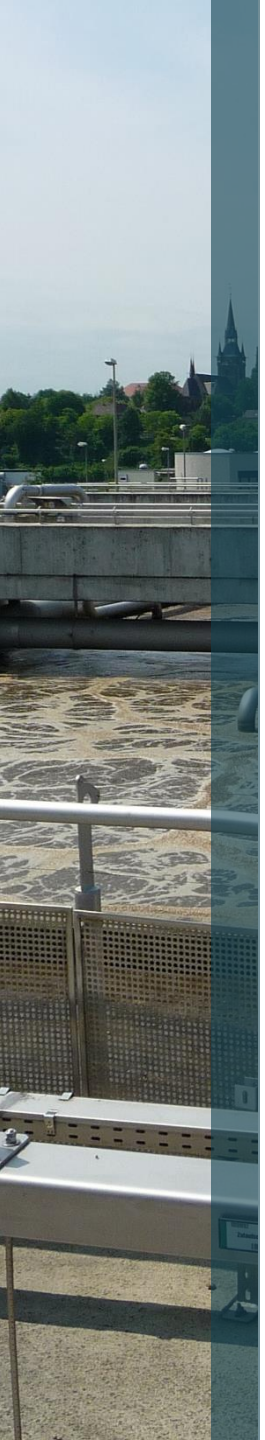
$$\Theta_x = \frac{X \cdot V}{24 \cdot \left[X_w \cdot Q_w + X_2 \cdot (Q_1 - Q_w)\right]} \quad [\mathrm{d}]$$

V - objem aktivační nádrže [m^3]
X - koncentrace aktivovaného kalu [kg/m^3]; obvyklé hodnoty 3 - 5 kg/m^3
Q_d - průměrný denní bezdeštný přítok [m^3/h]
S_i – organické znečištění, vyjádřeno jako BSK_5 [g/dm^3] za den; pro městské OV 0,4 g/dm^3
X_w - koncentrace nerozpuštěných látek v přebytečném kalu [kg/m^3]
Q_w - objem přebytečného kalu [m^3] za den
X_2 - koncentrace nerozpuštěných látek ve vyčištěné vodě [kg/m^3]

Tabulka 5 - Hodnoty stáří kalu pro jednotlivé způsoby aktivačního procesu

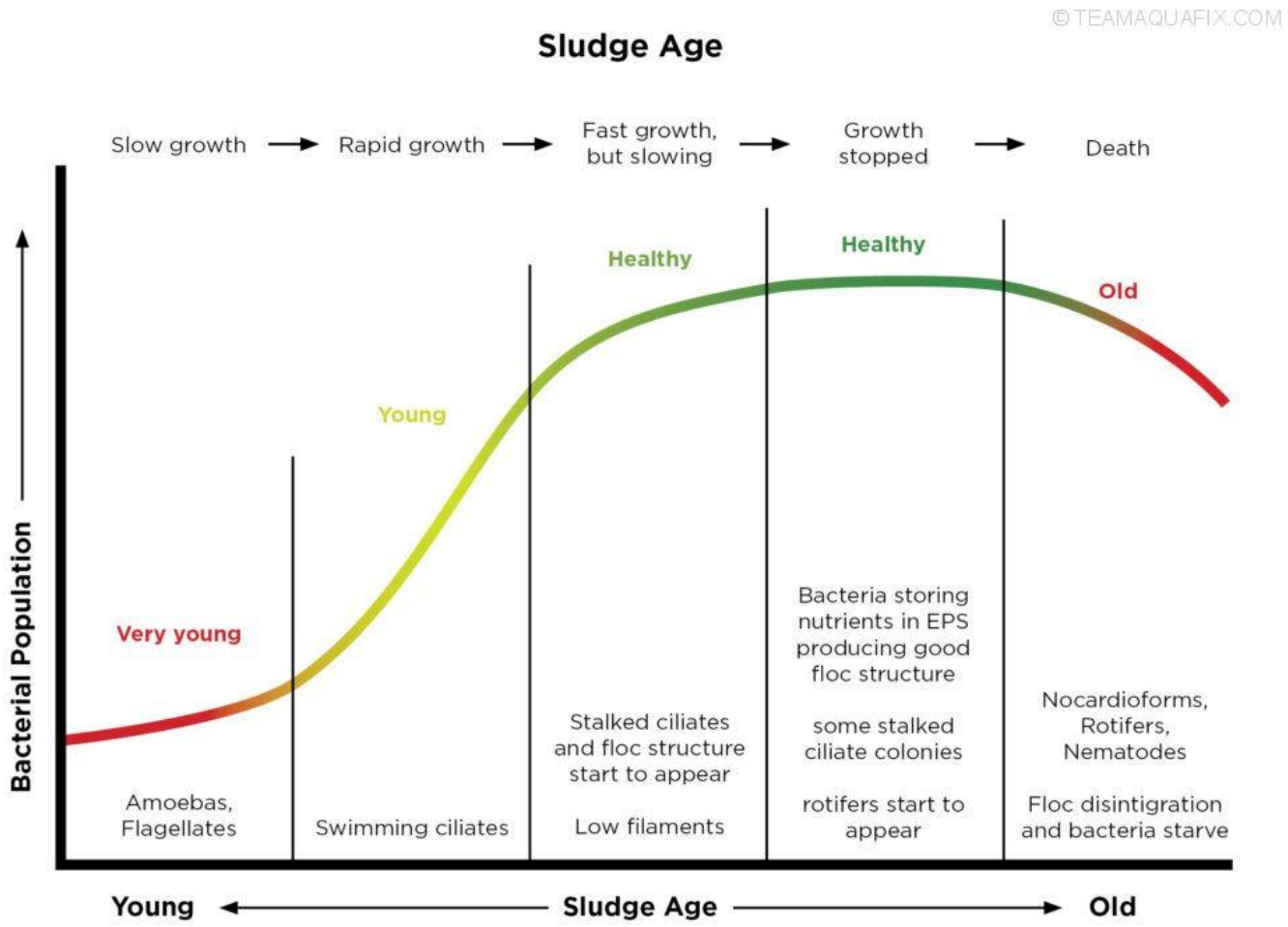
Způsoby aktivačního procesu	Stáří kalu Θ_x ve dnech pro velikost čistírny (podle celkového znečištění vyjádřeného v BSK_5)	
	do 1 500 kg/d	přes 6 000 kg/d
- částečná aktivace	od 2 do 4	od 1,5 do 3
- úplná aktivace bez nitrifikace	5	4
- aktivace s nitrifikací a s částečnou stabilizací kalu	$6{,}4 \cdot k_T$ [1)]	$4{,}8 \cdot k_T$ [1)]
- aktivace s nitrifikací a denitrifikací (kde f_D=0,1 až 0,5)	$(6{,}4 \cdot k_T) / f_N$ [1)]	$4{,}8 \cdot k_T) / f_N$ [1)]
- aktivace s nitrifikací a simultánní denitrifikací	20	-
- aktivace se stabilizací kalu oddělenou nebo simultánní	25	-

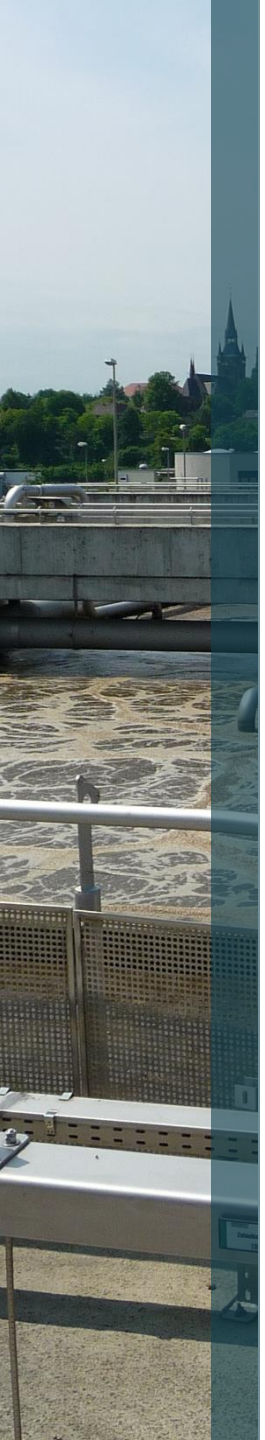
[1)] $k_T = 1{,}103^{(15-T_{min})}$; $f_N = 1 - f_D$.



Aktivační proces technologické parametry

Stáří kalu





Aktivační proces technologické parametry

Účinnost aktivačního systému

Podíl množství sušiny kalu v aktivační nádrži a hmotnosti sušiny kalu odebírané za den jako přebytečný kal včetně nerozpuštěných látek unikajících odtokem.

$$\eta_{AS} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\ [\%]$$

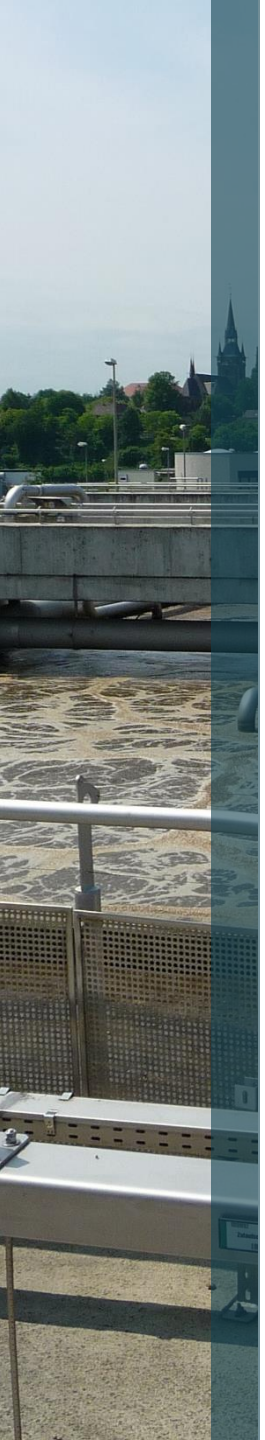
C_1 - koncentrade znečišfující látky na vstupu do AS [mg/1]

C_2 - koncentrace znečišfující látky na výstupu z AS [mg/l]

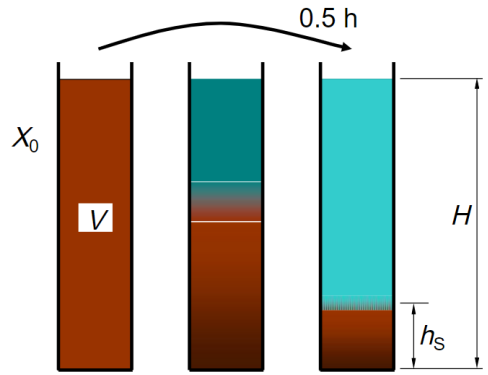
Tabulka 1b: Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku)[1),2)] v procentech

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	$CHSK_{Cr}$	BSK_5	$N\text{-}NH_4^{+}$ *	N_{celk} [3)] *	P_{celk} *
<500	70	80	-	-	-
500 - 2000	70	80	50	-	-
2001-10000	75	85	60	-	70
10001 - 100000	75	85	-	70	80
> 100000	75	85	-	70	80

BAT – v nařízení vlády, přísnější limity



Aktivační proces technologické parametry



Kalový index

- indikátor objemu vloček kalu a jejich schopnosti sedimentovat
- objem, který zaujímá kal po 30 minutové sedimentaci v Imhofově kuželi,

$$\text{Objem kalu } V_{kal} = V \cdot \frac{h_s}{H} \text{ [ml/dm}^3\text{]}$$

$$\text{Kalový index } KI = \frac{V_{kal}}{X_0} \text{ [ml/g]}$$

V_{kal} - objem kalu po sedimentaci (30 minut) [ml/dm^3]
X_0 - koncentrace aktivovaného kalu [g/dm^3]; obvyklé hodnoty 3 - 5 g/dm^3

KI < 100 ml/g lehký

KI 100 - 200 ml/g normální

KI > 200 ml/g zbytnělý

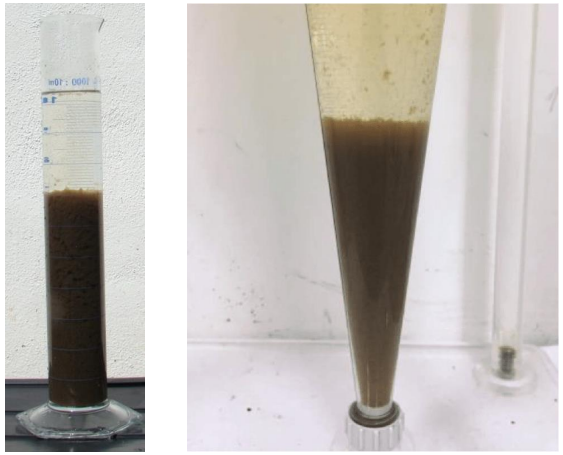
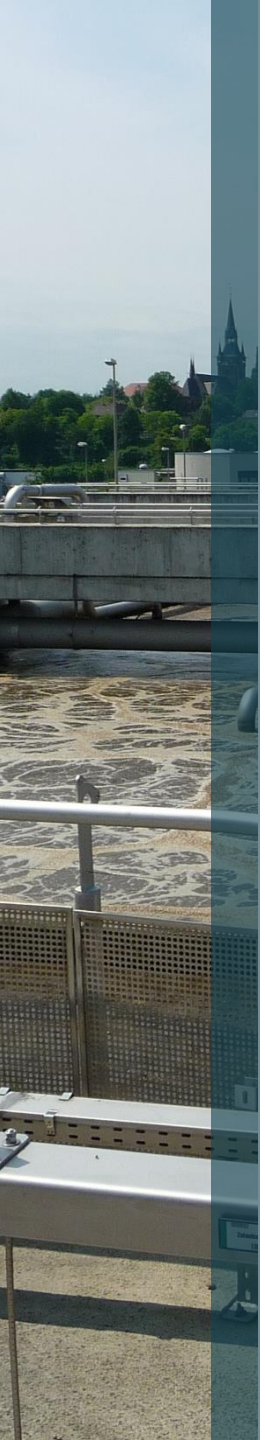


foto: Vítěz; Huang, 2019



Aktivační proces technologické parametry

Kalový index

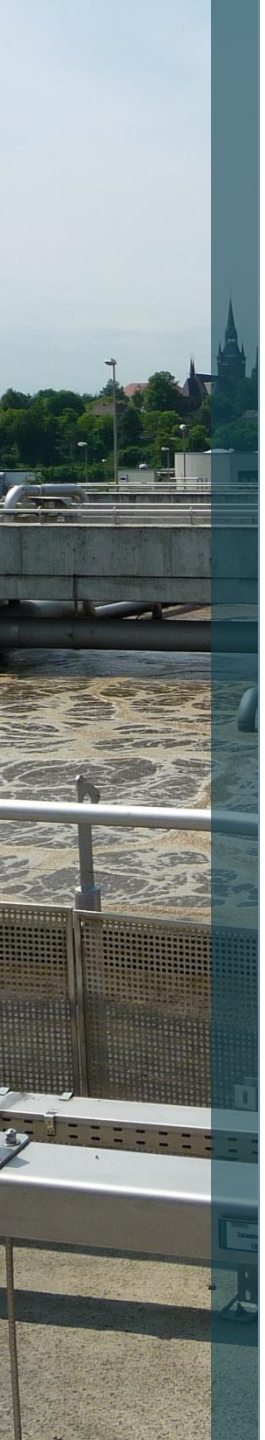
- vztah mezi kalovým indexem a rychlostí sedimentace kalu,
- sedimantace kalu = rychlost poklesu rozhraní mezi kalovou suspenzí a čirou vodou nad ní

KI = 100 ml/g → v = 5,0 m/h

KI = 200 ml/g → v = 2,0 m/h

KI = 300 ml/g → v = 1,0 m/h

KI = 400 ml/g → v = 0,6 m/h



Aktivační proces technologické parametry

Kalový index – experiment 2021, kal nitrifikace, X = 4 g/dm^3

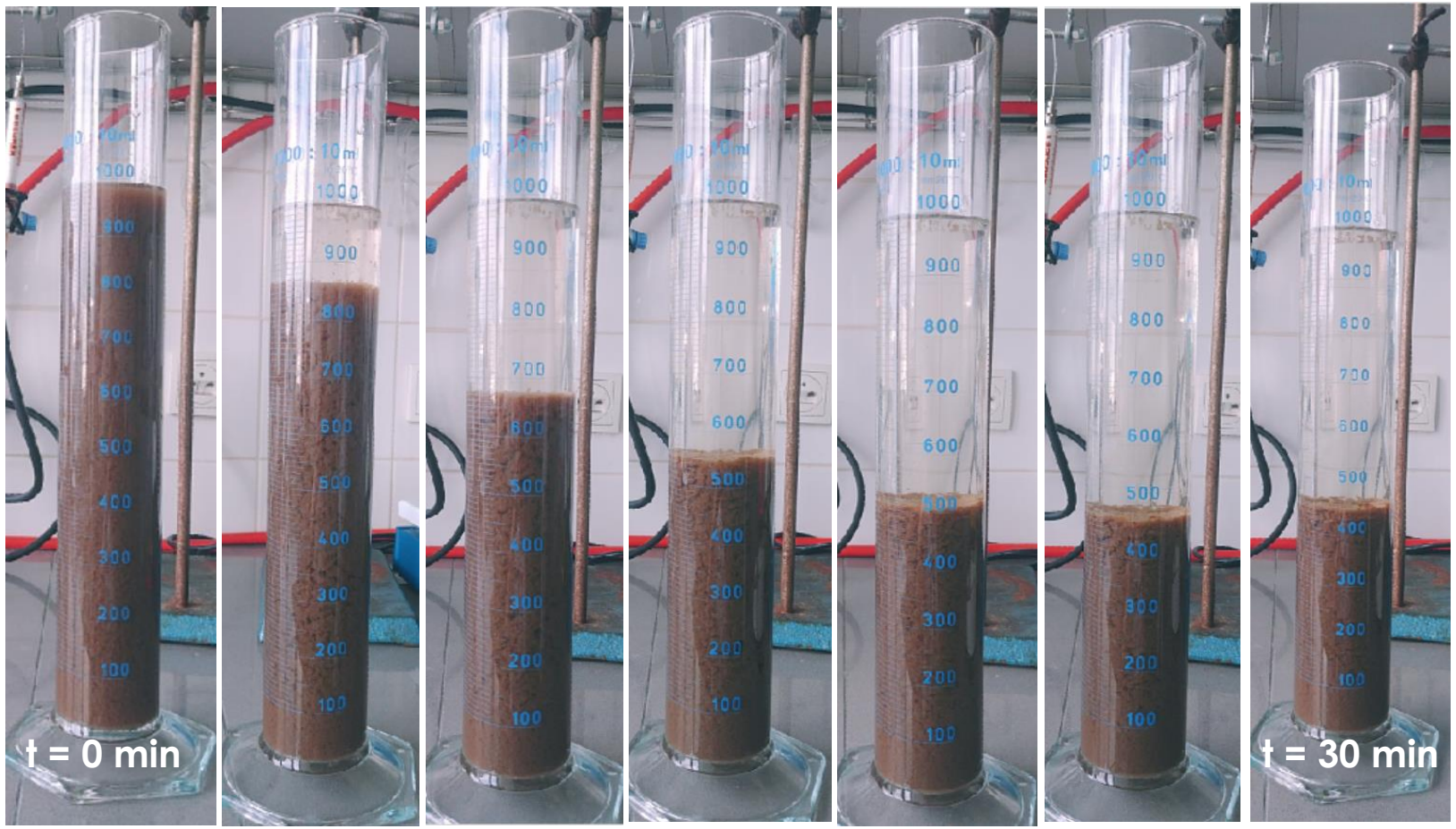
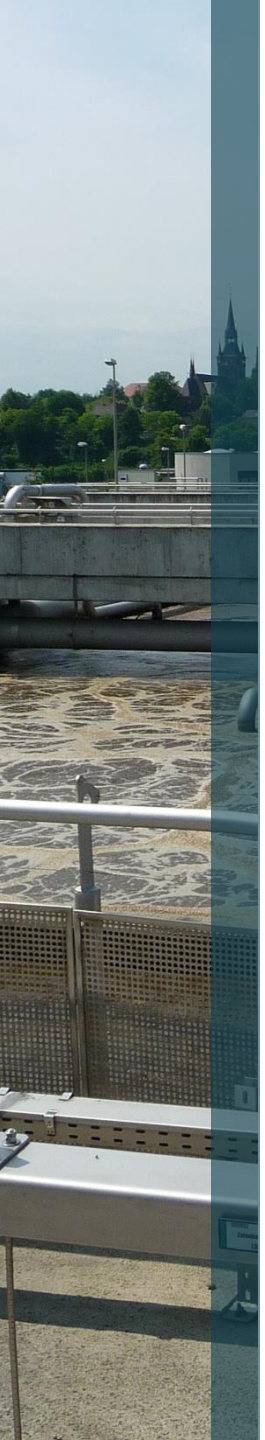
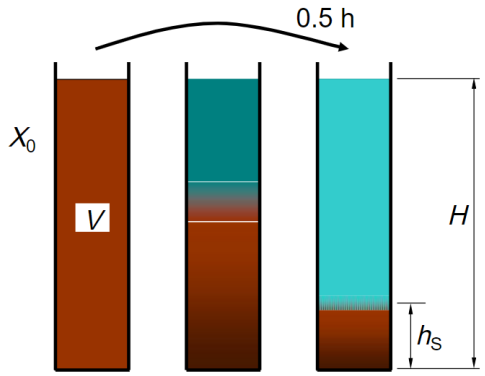


foto: Vítěz, 2021



Aktivační proces technologické parametry



Kalový index

Objem kalu $V_{kal} = V \cdot \frac{h_s}{H} = 1000 \cdot \frac{450}{1000} = 450$ [ml/dm³]

Kalový index $KI = \frac{V_{kal}}{X_0} = \frac{450}{4} = 112{,}5$ [ml/g]

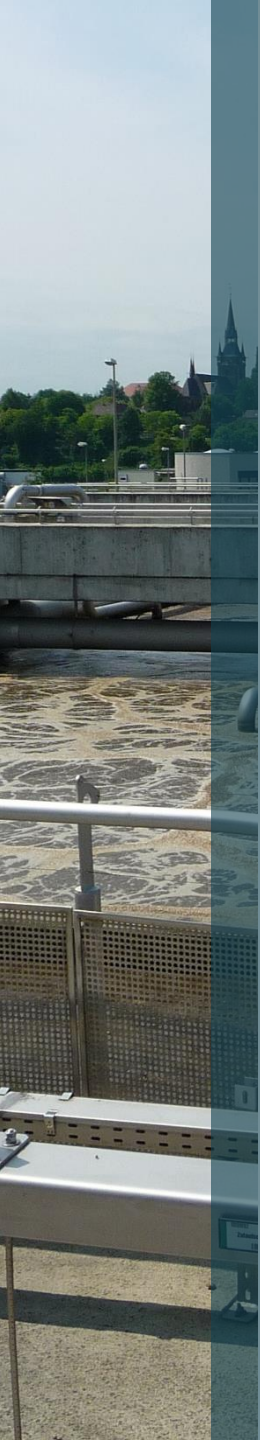
V_{kal} - objem kalu po sedimentaci (30 minut) [ml/dm³]
X_0 - koncentrace aktivovaného kalu [g/dm³]; obvyklé hodnoty 3 - 5 g/dm³

KI < 100 ml/g lehký

KI 100 - 200 ml/g normální

KI > 200 ml/g zbytnělý

foto: Vítěz; 2021



Aktivační proces technologické parametry

Kalový index – experiment 2021, kal nitrifikace, X = 4 g/dm^3

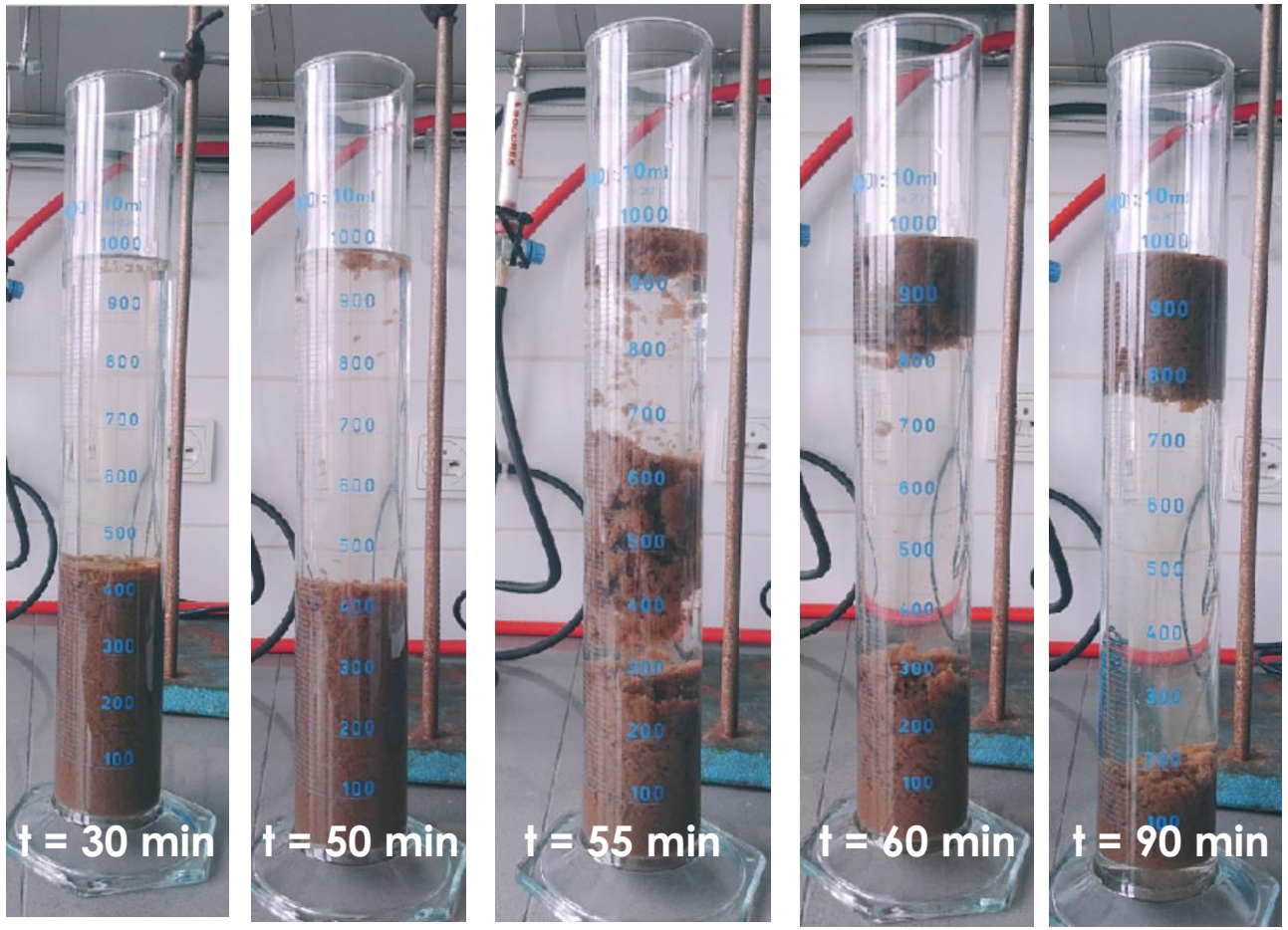
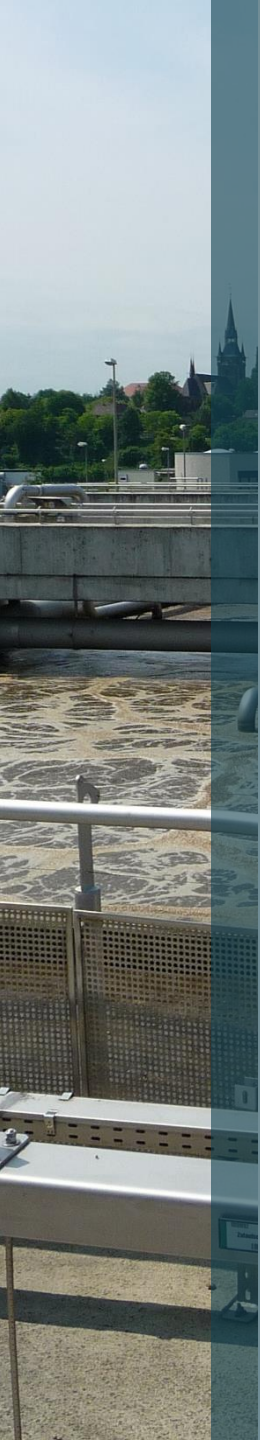
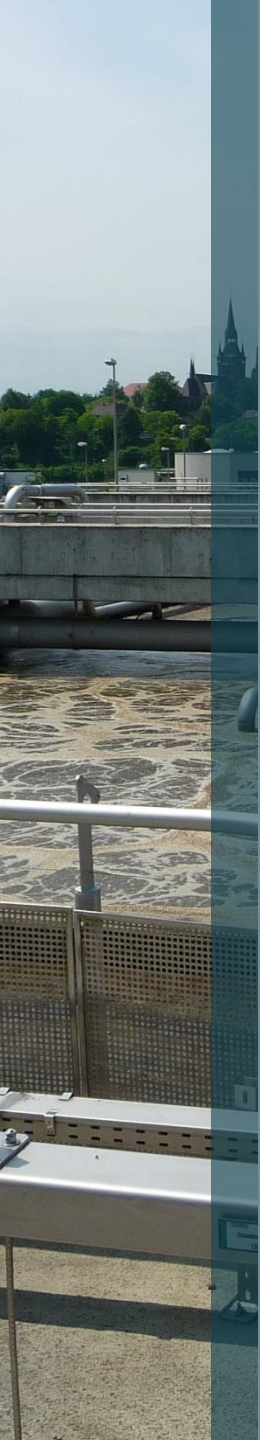


foto: Vítěz, 2021



Biologická linka
aktivační procesy podle zatížení

Proces	Doba zdržení biomasy Θ_x	Hydraulická doba zdržení Θ	Objemové látkové zatížení B_v	Látkové zatížení biomasy B_x	Účinnost čištění E
	dny	hodin	[kg ·m^{-3} ·s^{-1}]	[kg ·kg^{-1} ·s^{-1}]	[%]
nízkozatížený	20-100	24-72	do 0,3	0,05-0,1	75-90
středněžatízený	3-20	4-10	0,5-1,5	0,2-0,6	90-95
vysokozatížený	pod 3	1-3	nad 1,5	nad 0,5	50-80

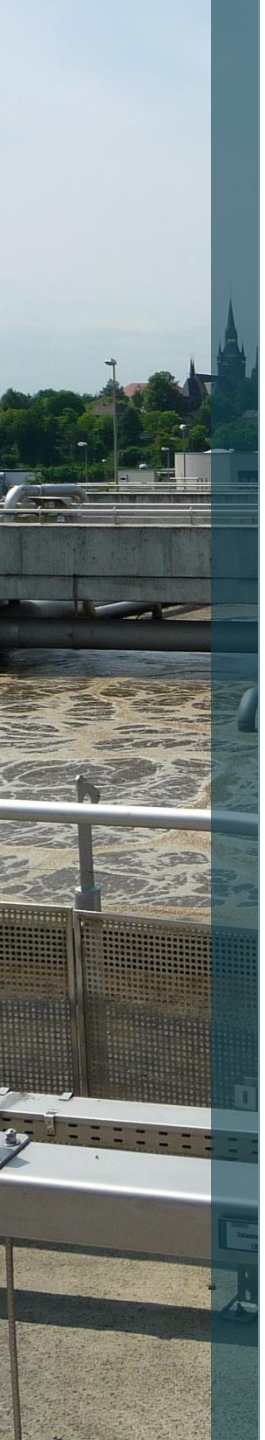


Biologická linka – aktivační systémy pro odstraňování nutrientů

org. znečištění → nitrifikace → denitrifikace

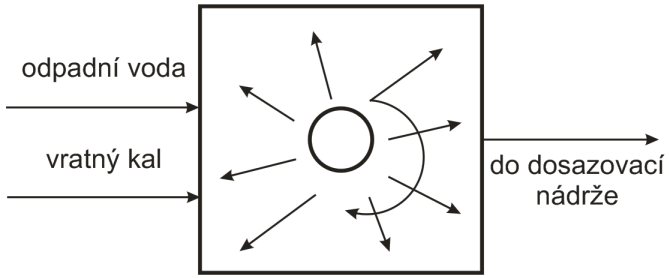
org. znečištění
nitrifikace → denitrifikace

org. znečištění
nitrifikace
denitrifikace

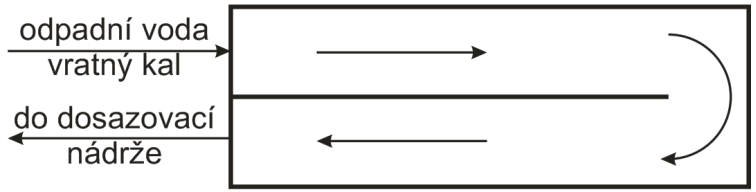


Biologická linka – aktivační procesy

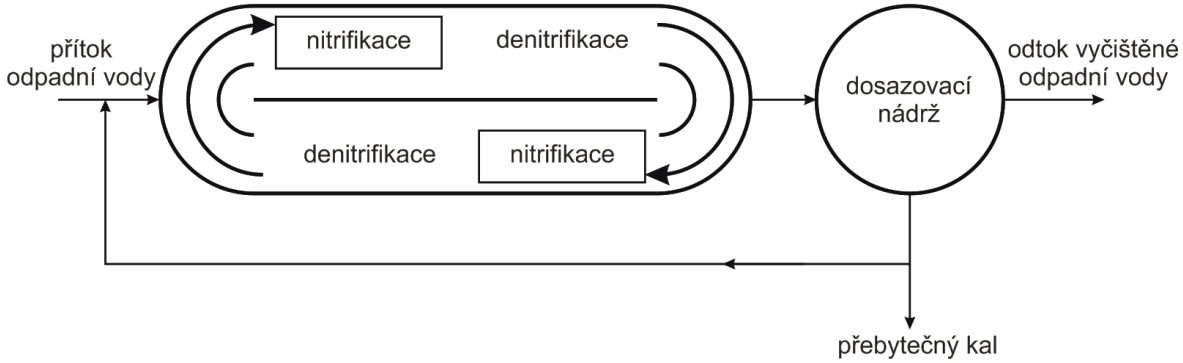
směšovací systém

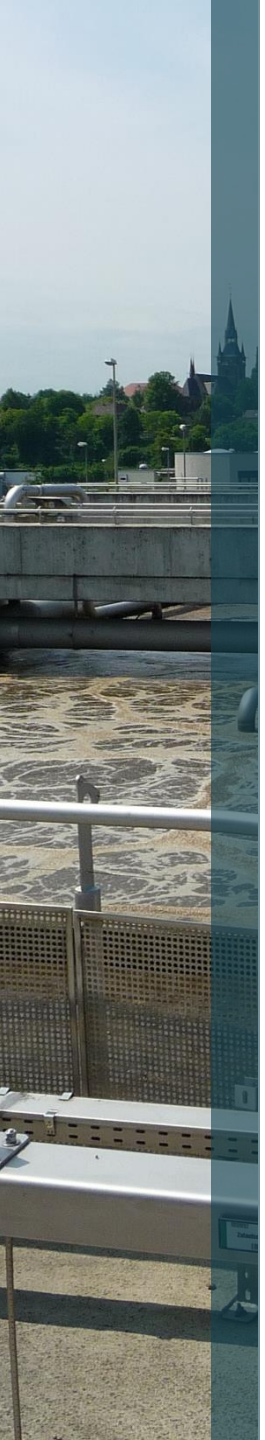


postupný tok



kontinuální tok





Biologická linka – modifikace

- jednokalový systém pro odstraňování dusíku,

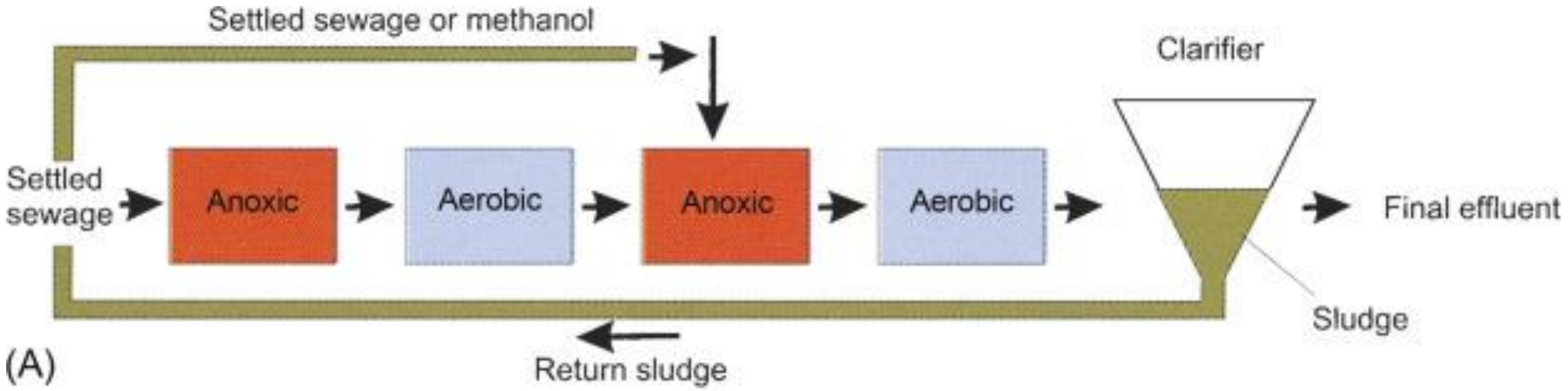
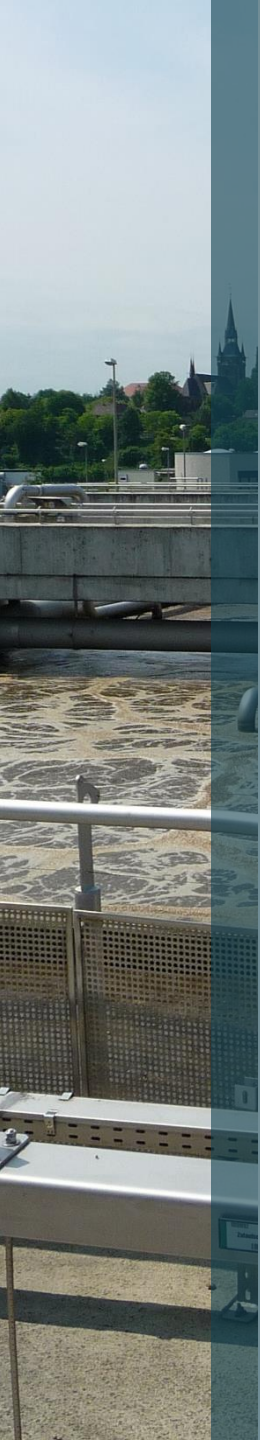


schéma: Gerba, 2019;Environemntal and Pollution Science



Biologická linka – modifikace

- vícekalový systém pro odstraňování dusíku,

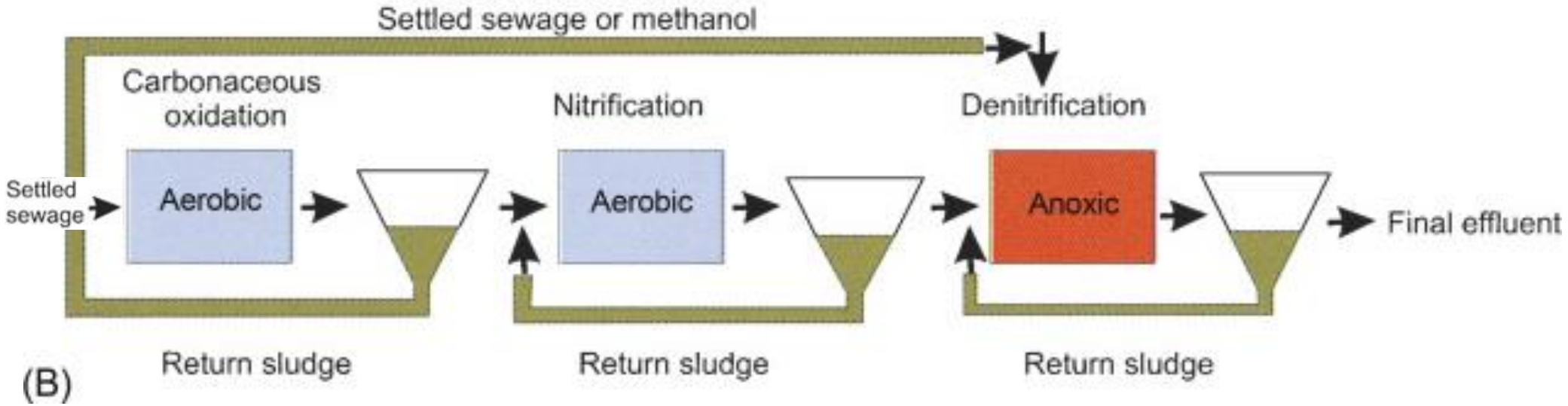
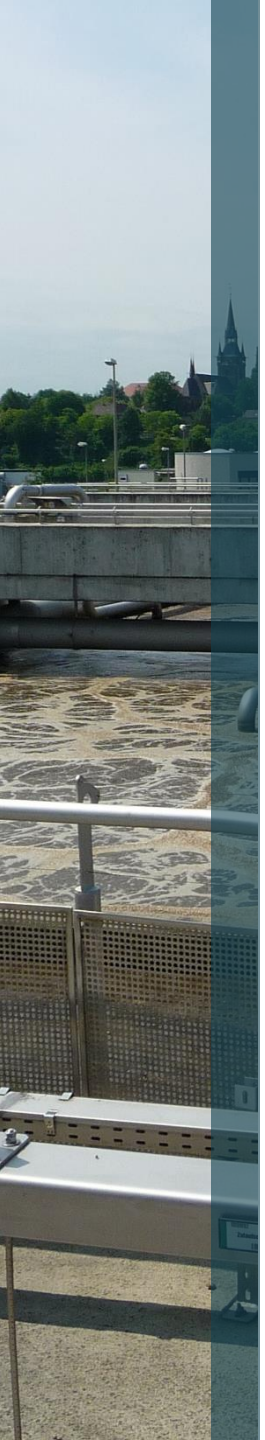


schéma: Gerba, 2019;Environemntal and Pollution Science



Biologická linka – modifikace

Sharon-Anammox proces

Sharon $0{,}5NH_4^+ + HCO_3^- + 0{,}75O_2 \rightarrow 0{,}5NO_2^- + CO_2 + 1{,}5H_2O$

Anammox $NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2H_2O$

$2NH_4^+ + 2HCO_3^- + 1{,}5O_2 \rightarrow N_2 + 2CO_2 + 5H_2O$

CANON proces

$NH_4^+ + 1{,}5O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$

$NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2H_2O$

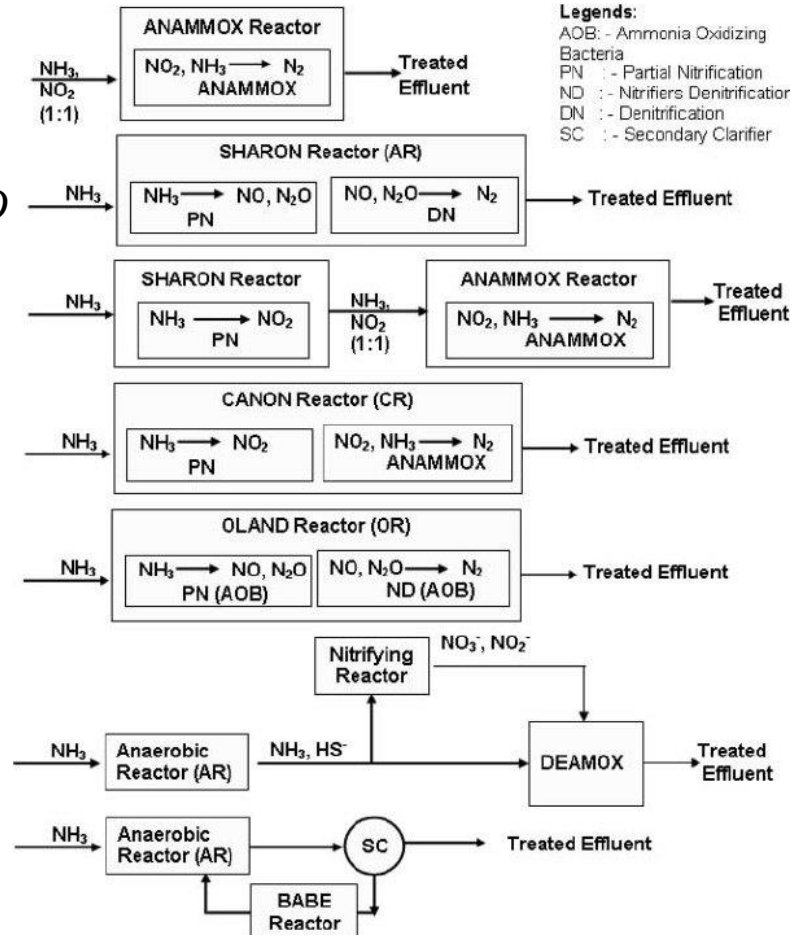
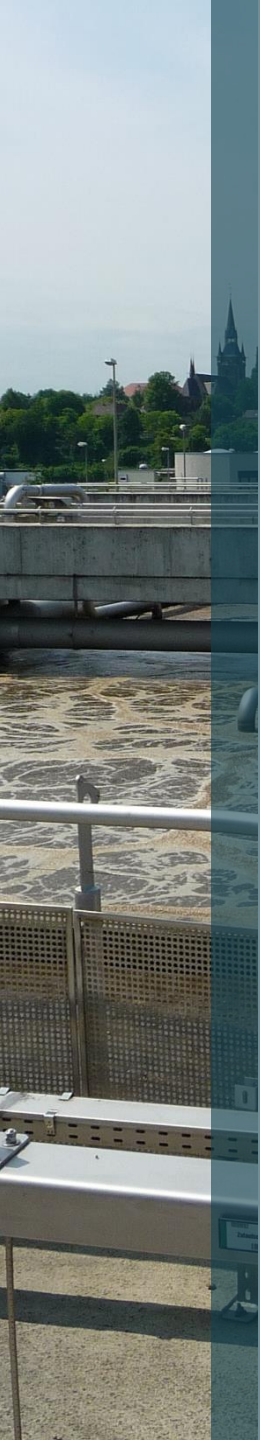


schéma: Kalyuzhnyi and Gladchenko, 2009



Biologická linka – modifikace

UCT (University of Capetown) proces

- odstranění N a P

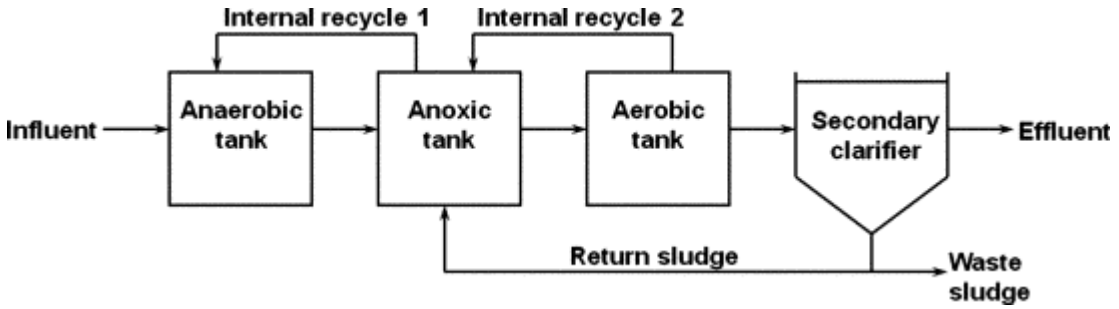
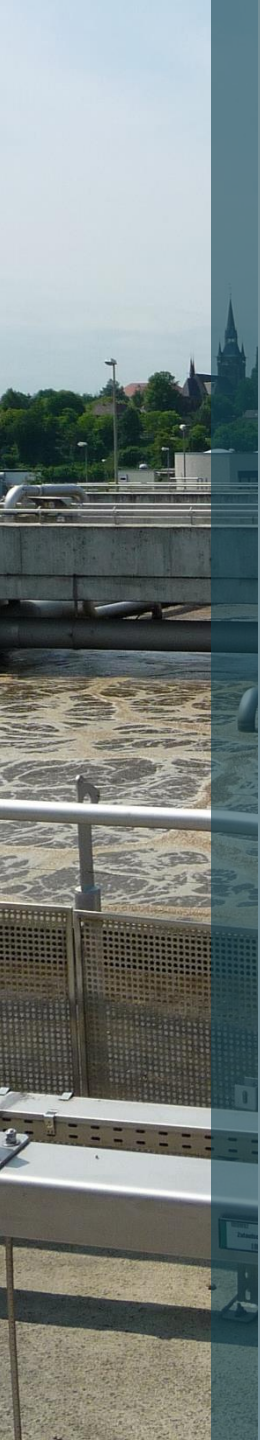


schéma: Meganc and Faup, 1988



Biologická linka – modifikace

Sidestream proces

- odstranění N a P

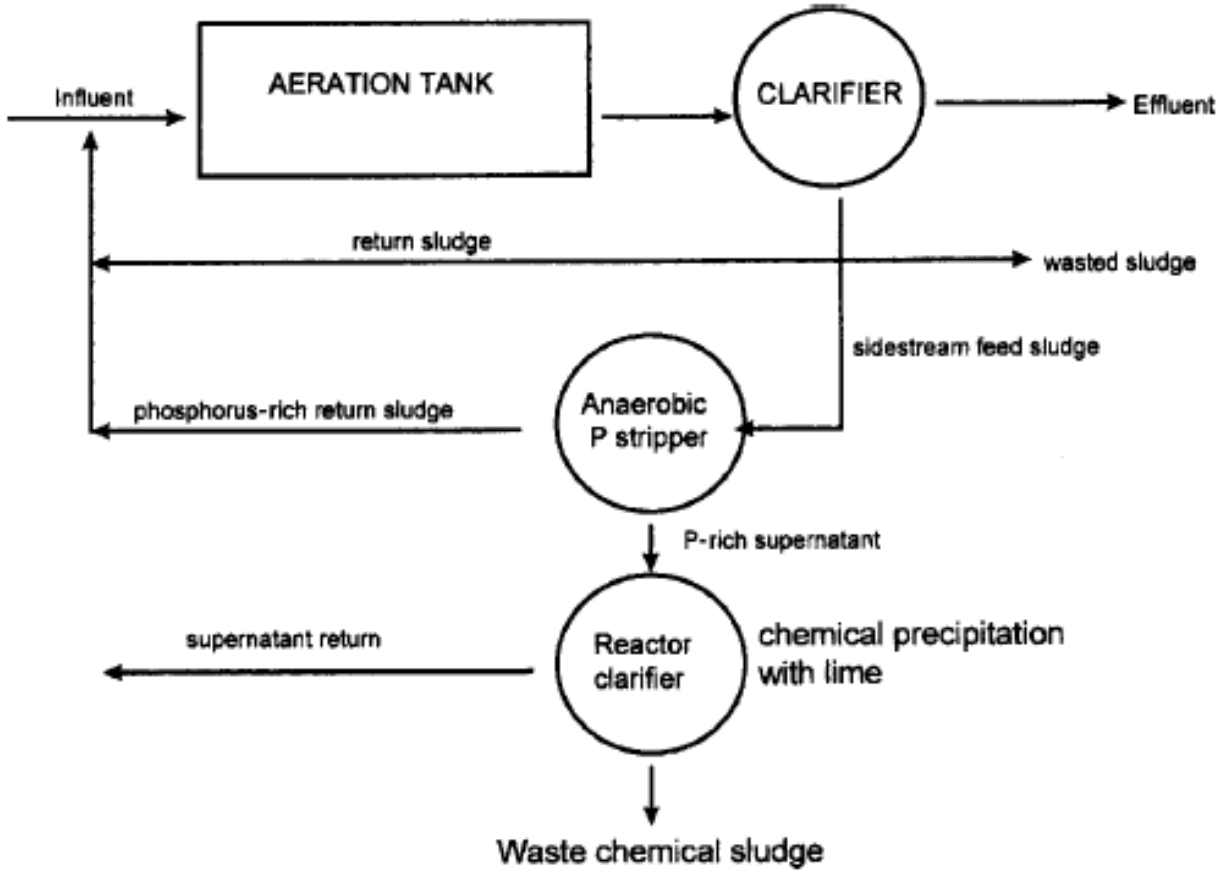
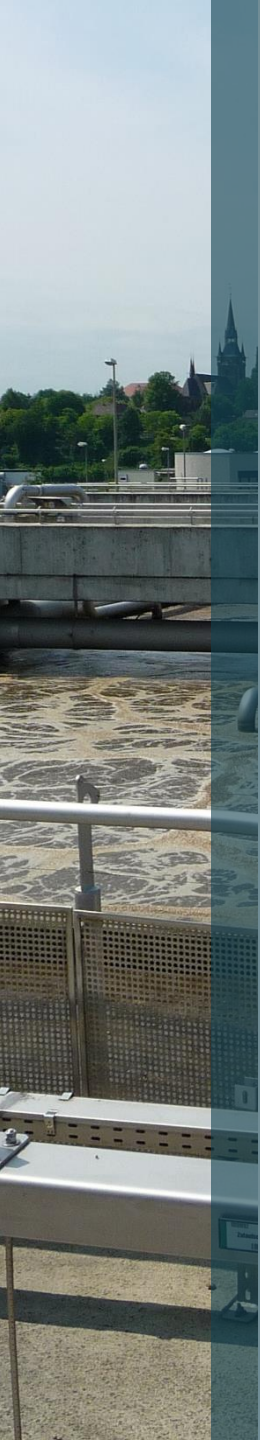


schéma: Tetreault et al 1986



Biologická linka – modifikace

Bardenpho proces

- vícestupňový proces k odstranění N, P,

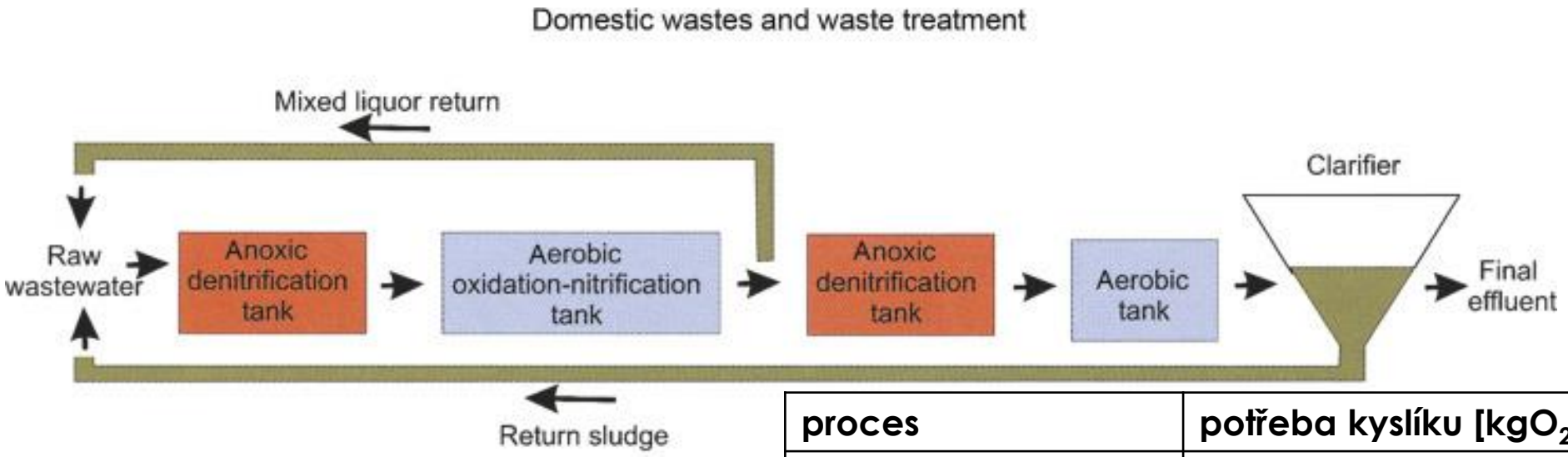
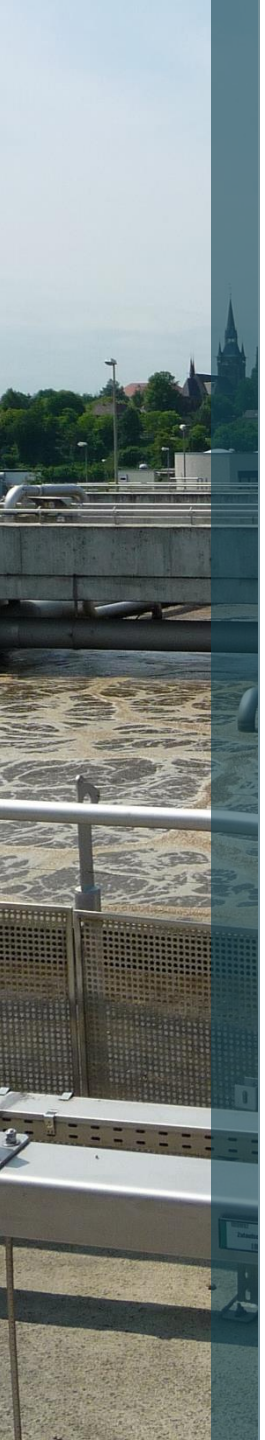


schéma: Gerba, 2019;Environemntal and Pollution Science

proces	**potřeba kyslíku [kgO_2/kg_N]**
nitrifikace	4,6
částečná nitrifikace	3,5
SHARON-ANAMMOX	1,9
CANON	0,21-0,36



Biologická linka – potřeba kyslíku

Reakce spotřebovávající kyslík v aktivační nádrži:

- oxidace organických látek

$C_aH_bO_c + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

- syntéza buněčného materiálu

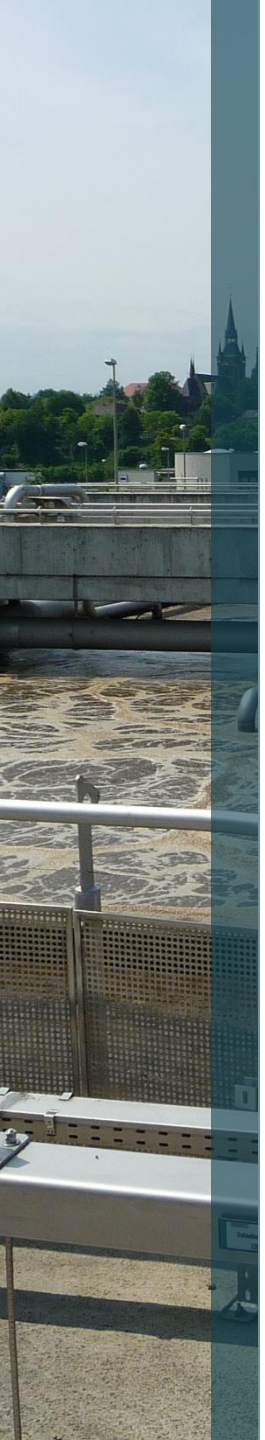
$C_aH_bO_c + NH_3 + O_2 \rightarrow C_5H_7NO_2 + CO_2 + H_2O$

- endogenní respirace

$C_5H_7NO_2 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + NH_3$

- nitrifikace

$NH_3 + O_2 \rightarrow NO_2 + H^+ + H_2O$



Biologická linka – potřeba kyslíku

Spotřeba kyslíku

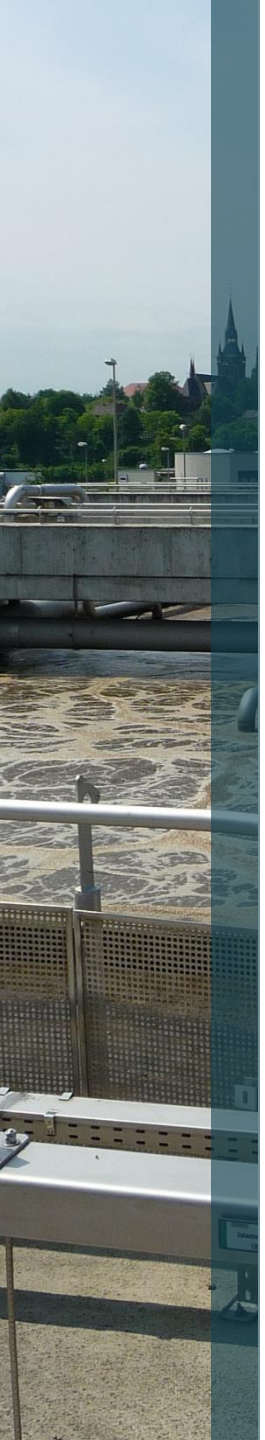
- množství kyslíku, spotřebované při aerobních biologických pochodech v aktivační nádrži za jednotku času,

Oxygenační kapacita

- hmotnost kyslíku, který aerační zařízení dodá za 1 hodinu čisté vodě objemu 1 m^3 o nulové koncentraci rozpuštěného kyslíku za standardních podmínek (20°C, 101,3 kPa),

Oxygenační kapacita aeračního zařízení

- množství kyslíku, které je **aerační zařízení** schopno dodat za jednotku času do jednotkového objemu nádrže, při počáteční nulové koncentraci kyslíku v nádrži.



Biologická linka – aerace

mechanická

s horizontální osou rotace (aerační válce)

s vertikální osou rotace (aerační turbíny)

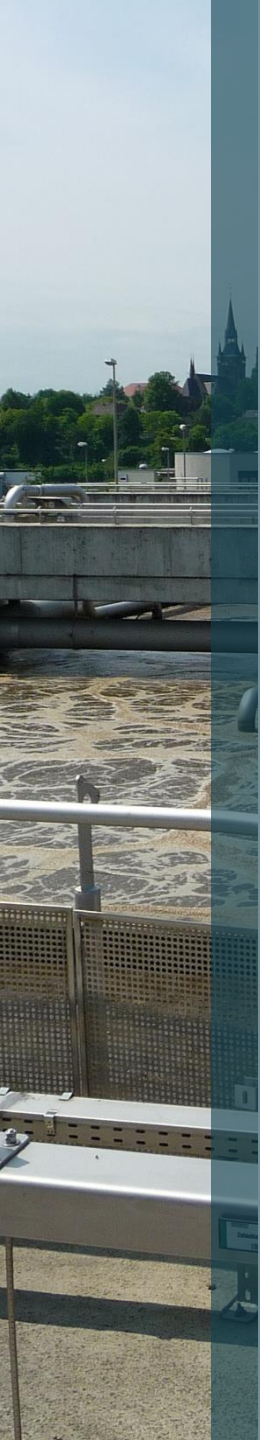
foto: Vítěz

Faktory ovlivňující účinnost aerace

- hloubka ponoru,
- počet otáček,
- obsah organických látek ve vodě,

Orientační hodnoty OC

-aerační válec 2,8 – 6 [kg/m^3] za den
-turbína 2,6 – 9,6 [kg/m^3] za den
-ejektor 0,72 – 1,14 [kg/m^3] za den



Biologická linka – aerace

pneumatická aerace

zdrojem tlakového vzduchu – kompresor, dmychadlo,

vzduch je do nádrže dávkován aeračními elementy,

- hrubobublinnými (d > 10 mm)
- středobublinná (d = 4 – 10 mm)
- jemnobublinná (d = 1 – 4 mm)

foto: Vítěz, Envirex

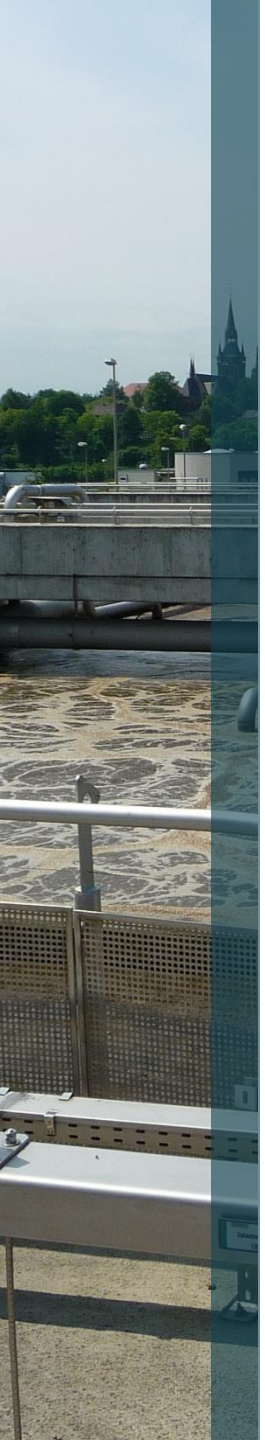
Faktory ovlivňující účinnost aerace

- velikost bublin, výška vodního sloupce
- intenzita aerace
- obsah organických látek ve vodě

Orientační hodnoty OC

-jemnobublinná 2,6 – 6,9 [kg/m^3] za den

-středobublinná 0,24 – 3,12 [kg/m^3] za den

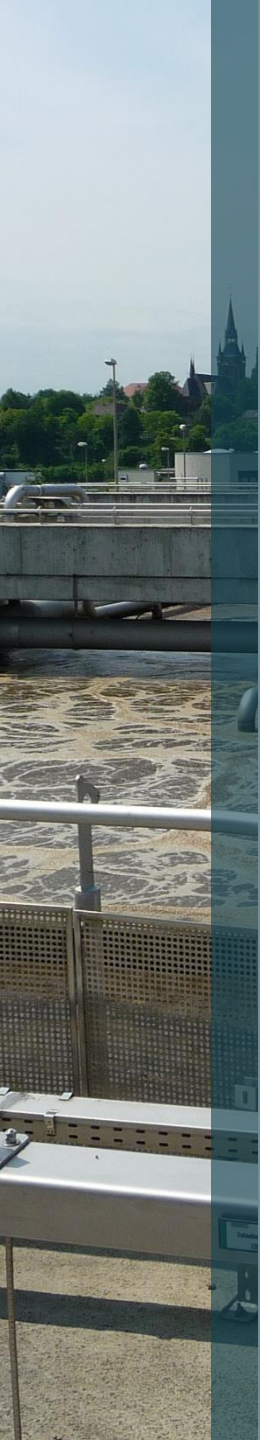


Biologická linka – oxygeační kapacita

Kyslík přestupuje do vody při styku vzduchových bublin s vodou.

Rozpustnost kyslíku v čisté vodě závisí na :

- teplotě,
- na celkovém tlaku plynné fáze
- na parciálním tlaku kyslíku ve vzduchu.

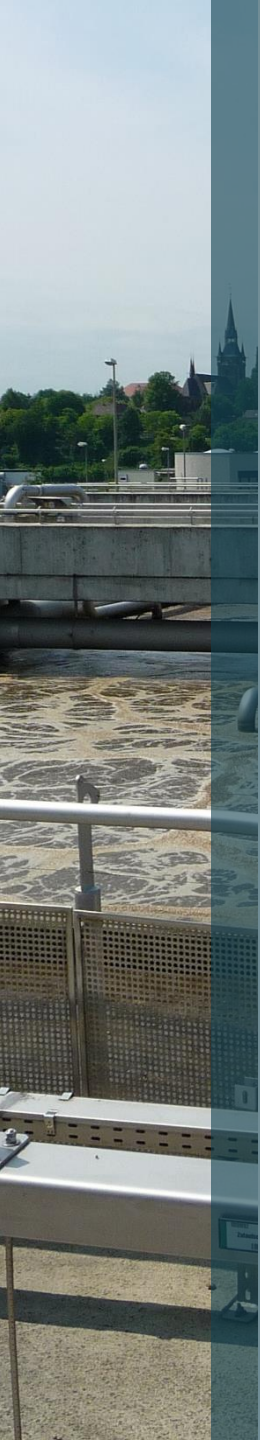


Biologická linka – oxygeační kapacita

Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

Celkový objemový součinitel přestupu kyslíku K_{La}, závisí na :

- teplotě; s rostoucí teplotu roste K_{La} a klesá rozpustnost kyslíku,
- koncentraci rozpuštěných organických a anorganických látek,
- způsobu aerace,
- hloubce a tvaru aktivační nádrže.



Biologická linka – oxygeační kapacita

Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

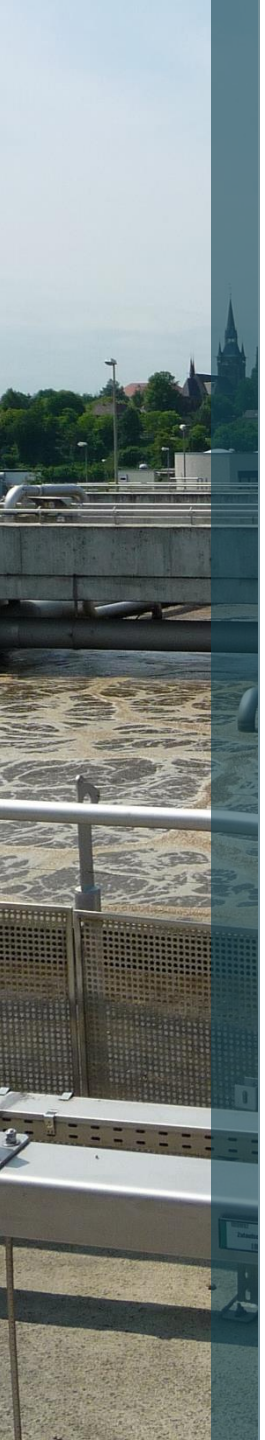
Součinitel α :

- vyjadřuje poměr mezi přestupem kyslíku v čisté a odpadní vodě,

$$\alpha = \frac{(K_{La})_{OV}}{K_{La}}$$

$(K_{La})_{OV}$ - celkový objemový součinitel přestupu kyslíku pro odpadní vodu; den

K_{La} - celkový objemový součinitel přestupu kyslíku pro čistou vodu v den



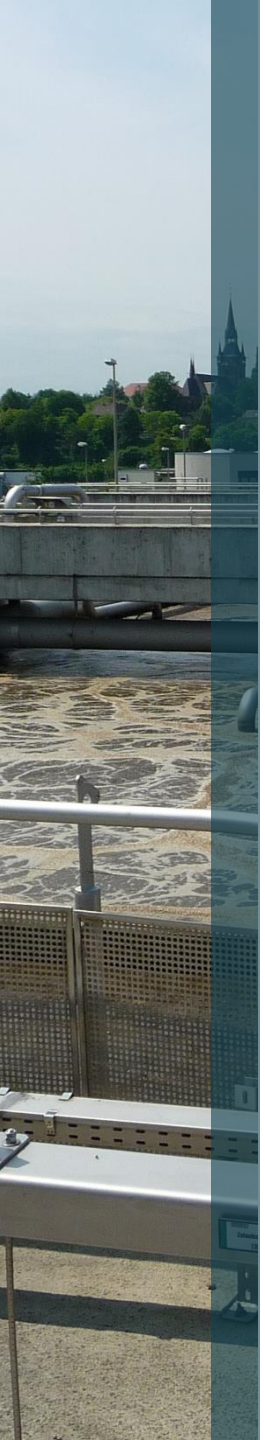
Biologická linka – oxygeační kapacita

Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

Hodnota součinitele a závisí na :

- koncentraci povrchově aktivních látek v odpadní vodě,
- intenzitě míchání (turbulenci),
- geometrii aktivační nádrže,
- typu aeračního zařízení,
- provozní koncentraci aktivovaného kalu.

Pro městské odpadní vody : **0,6 až 0,8**.



Biologická linka – oxygeační kapacita

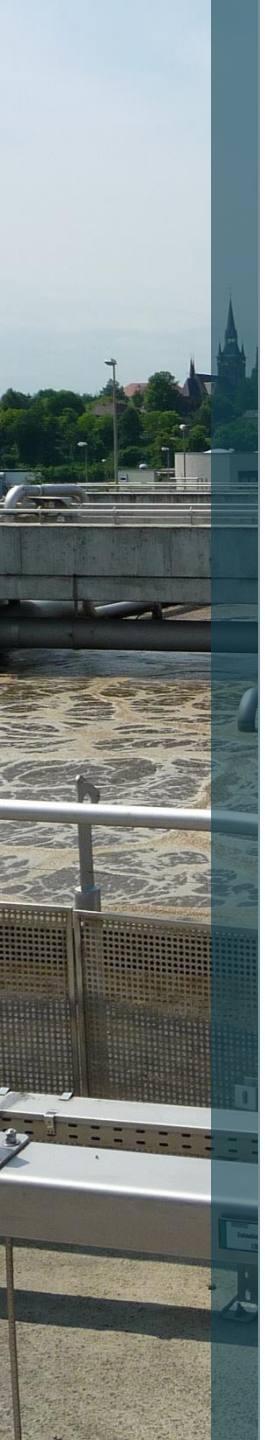
Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

Součinitel β :

$$\beta = \frac{(c_{m,s})_{OV}}{c_{m,s}}$$

$(c_{m,s})_{ov}$ - rozpustnost kyslíku v odpadní vodě; mg/l

$c_{m,s}$ - rozpustnost kyslíku v čisté vodě; mg/l



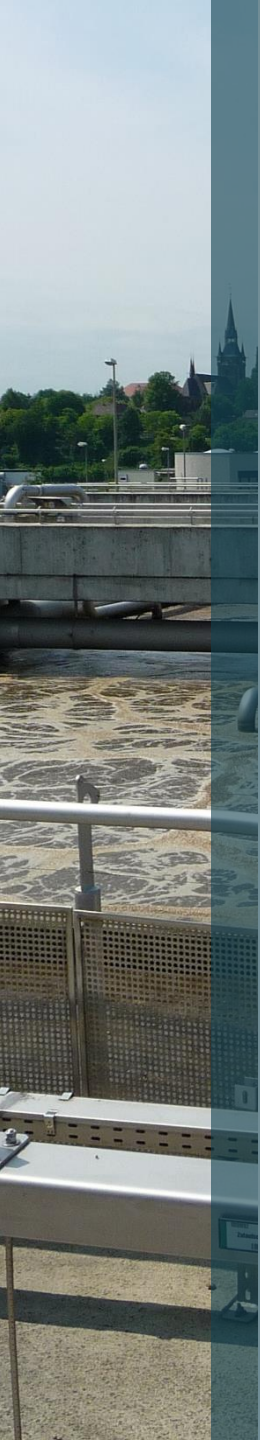
Biologická linka – oxygeační kapacita

Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

Hodnota součinitele β závisí na :

- koncentraci nerozpuštěných látek,
- rozpustných organických sloučenin,
- rozpuštěných solí.

Pro městské odpadní : **0,95**



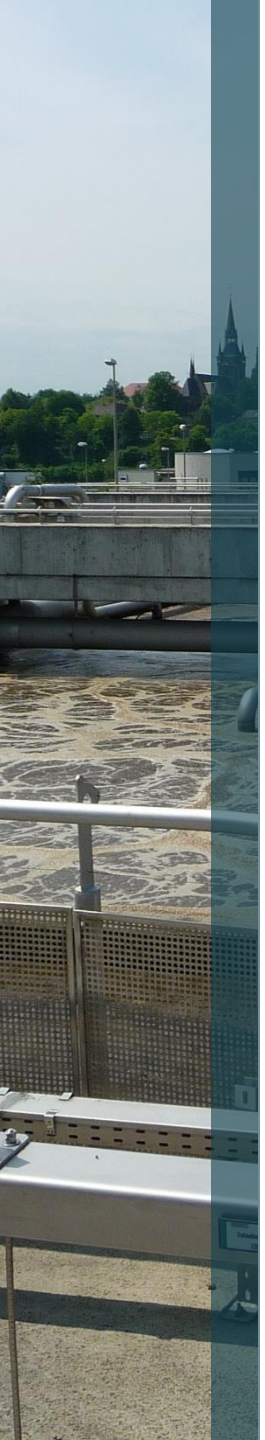
Biologická linka – oxygeační kapacita

Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

Hloubka ponoření aeračních elementů

- rostoucí hloubkou ponoření aeračních elementů se zvětšuje množství využitého kyslíku ze vzduchu,
- delší doba kontaktu vzduchových bublin s vodou
- vyšší rozpustností kyslíku při větší hloubce ponoření aeračních elementů.

Obvyklá hloubka ponoření : **3 – 6 m**



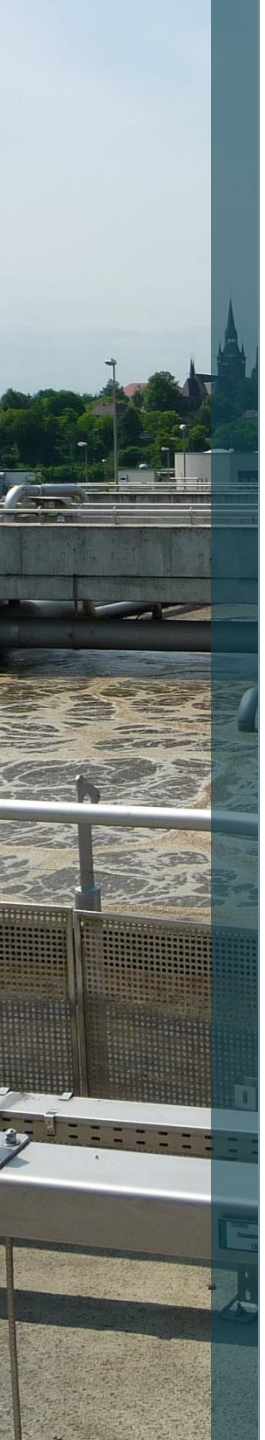
Biologická linka – oxygeační kapacita

Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

Hloubka ponoření aeračních elementů

- rostoucí hloubkou ponoření aeračních elementů se zvětšuje množství využitého kyslíku ze vzduchu,
- delší doba kontaktu vzduchových bublin s vodou
- vyšší rozpustností kyslíku při větší hloubce ponoření aeračních elementů.

Obvyklá hloubka ponoření : **3 – 6 m**



Biologická linka – oxygeační kapacita

Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

Hloubka ponoření aeračních elementů

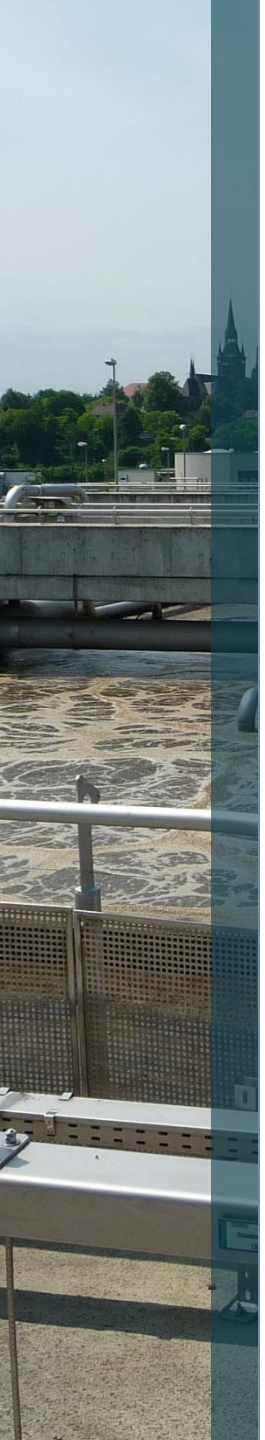
$$\mathrm{E}_a = \left(\frac{H_a}{H_2}\right)^n \cdot E_2 \ \ [\mathrm{m}]$$

H_a - hloubka ponoření aeračních elementů, m

H_2 - hloubka, při níž byla prováděna standartní oxygenační zkouška aeračních elementů, m (obvykle 4 m)

E_2 - množství využitého kyslíku ze vzduchu v % odečtené z charakteristiky při standartní hloubce

n - exponent (obvykle 0,8 až 0,9)



Biologická linka – aerace

Příklad ČOV 42 000 EO

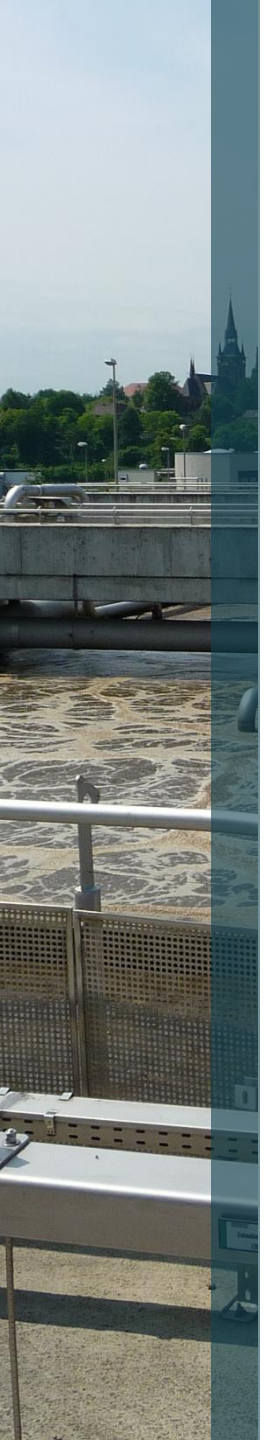
- OC_{st} = 8 400 kg/d
- Q_{vz} = 4 480 m^3/h

2. Návrh aeračního systému

Návrh aeračního systému předpokládá tyto provozní údaje :

3.	charakter odpadních vod	městské, splaškové	
4.	stáří aktivovaného kalu	23	dní
5.	maximální teplota vody v nádrži	20	°C
6.	provozní koncentrace kyslíku v aktivaci	2	mg/l
7.	nadmořská výška	500	m n.m.

nádrže	oběhová aktivace	
provozní OC	4550	kg/d
standardní OC	8400	kg/d
využití kyslíku ze vzduchu	29,6	%
potřebné množství vzduchu*	4480	m^3/h
typ aeračního elementu	AME-D	
potřebný počet elementů	528	ks
délka provzdušňovaného úseku	cca 25	m
zatížení elementů	8,5	$m^3/h.ks$
intenzita aerace (v provzdušňovaném úseku)	2,0	$m^3/m^3.h$

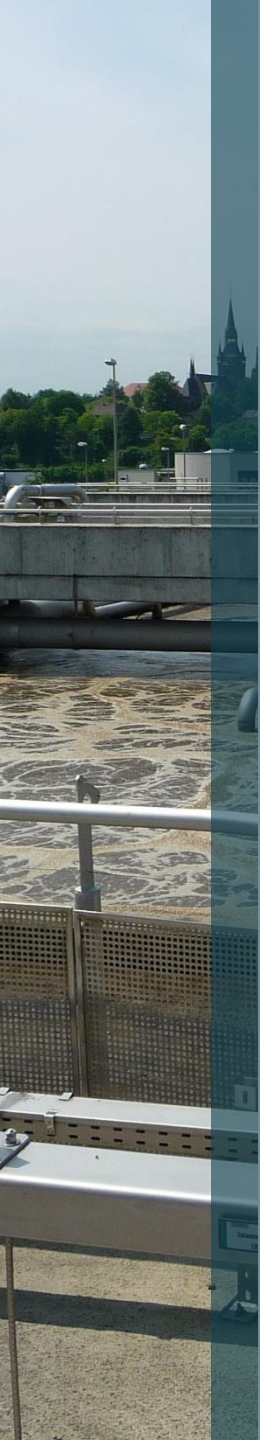


Biologická linka – míchání

- zabránění sedimentace vloček kalu,
- pohyb suspenze v nádrži,
- pomaloběžná míchadla,

foto: Vítěz

Dosazovací nádrže



Biologická linka

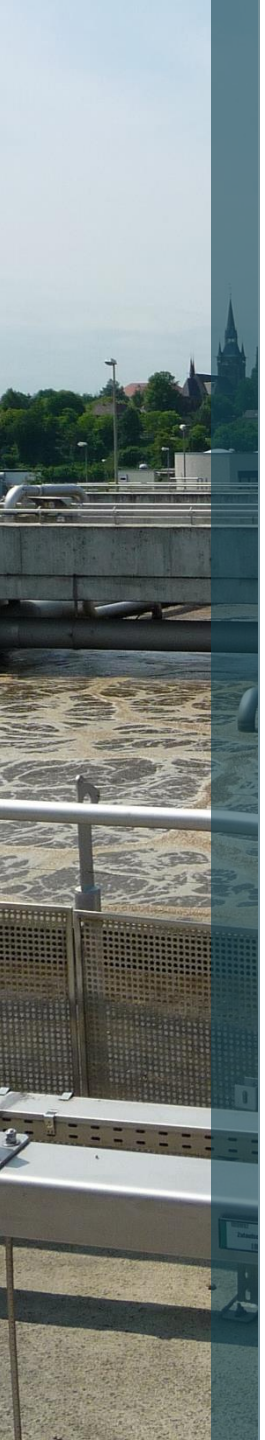
Dosazovací nádrže

- gravitační separace vloček aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody,
- účinnost ovlivněna
  - kalovým indexem (KI),
  - množství vratného kalu,
  - hydraulickým a látkovým zatížením,

Základní rozdělení

- s vertikálním nebo horizontálním průtokem,
- pravoúhlé, kruhové.

Sekundární stupeň
90+ % rozpuštěných látek
90+ % BSK + CHSK
60+ % N
60+ % P



Biologická linka

Dosazovací nádrž – návrhové parametry

Doba zdržení

$$\Theta = \frac{V}{Q} \cdot \mathrm{E}\,[h]$$

Povrchové hydraulické zatížení

- množství suspenze m^3 přivedené na 1 m^2 plochy DN za hodinu.

$$v = \frac{Q}{A_D}\ \left[\mathrm{m}^3 / m^2 \cdot h\right]$$

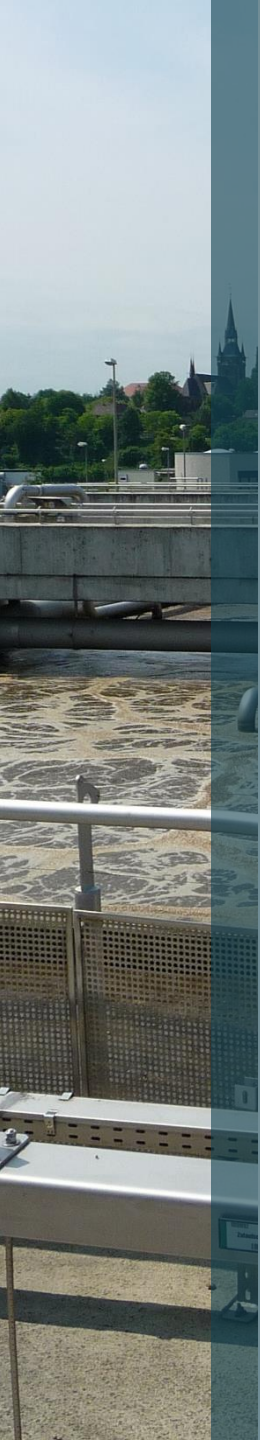
kde:

V objem dosazovací nádrže [m^3]

Q průtok suspenze [$m^3 \cdot h^{-1}$]

E hydraulická účinnost, kruhové nádrže E=0,4-0,5; pravoúhlé E= 0,7-0,8,

A_D plocha nádrže [m^2]



Biologická linka

Dosazovací nádrž – návrhové parametry

Zatížení nerozpuštěnými látkami

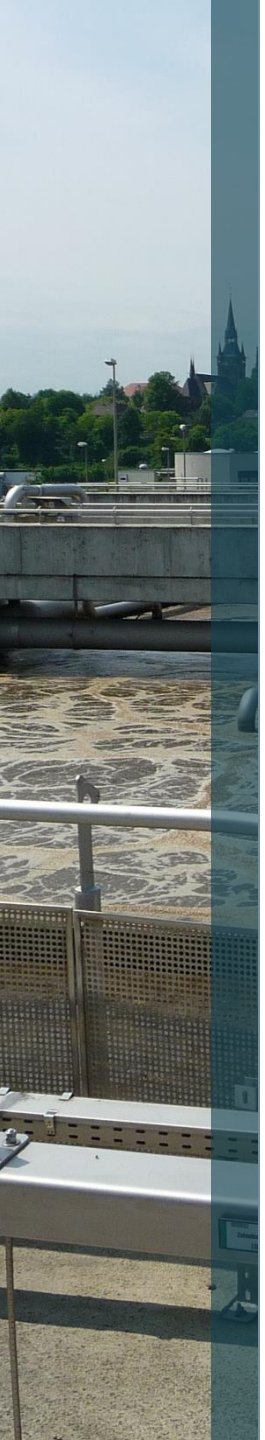
- množství sušiny aktivovaného kalu v kg přiváděné na 1 m^2 plochy DN, obvyklé hodnoty 5-6 $kg/m^2 \cdot h$

$$N_A = \frac{X}{A_D} \left[\mathrm{kg}/m^2 \cdot h \right]$$

kde:

A_D plocha dosazovací nádrže [m^2]

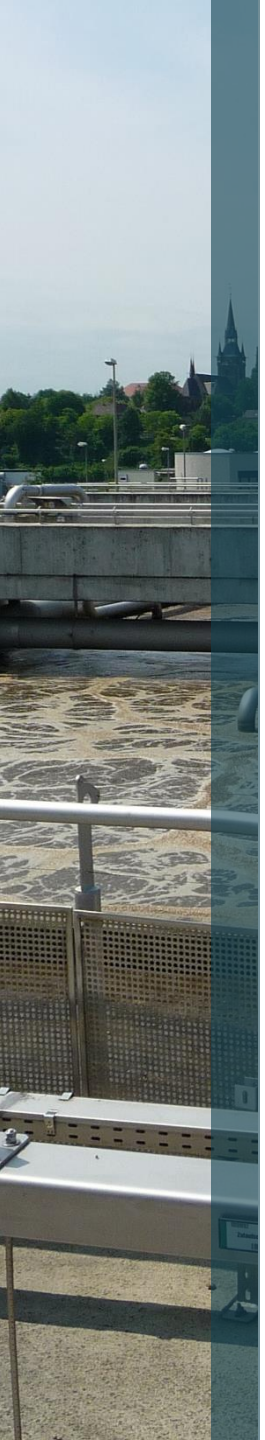
X koncentrace sušiny kalu [kg/h]



Biologická linka

Dosazovací nádrž – návrhové parametry

Umístění usazovacích nádrží	Střední doba zdržení v hodinách	Hydraulické zatížení plochy [$m^3/m^2 \cdot h$]
ČOV 500 – 5000 EO		
Horizontální průtok, za biofiltry	1,5	2,0
Horizontální průtok, za aktivací	2,0	1,5
Vertikální průtok, za biofiltry	1,2	2,0
Vertikální průtok, za aktivací	1,3	1,5
ČOV < 5000 EO		
Horizontální průtok, za biofiltry	1,6	2
Horizontální průtok, za aktivací	1,8	1,6
Vertikální průtok, za biofiltry	1,2	2,5
Vertikální průtok, za aktivací	1,6	2,0



Biologická linka

Kruhová dosazovací nádrž

- hloubka 3 – 4 m, průměr 10 – 60 m,
- rychlost proudění 10 – 15 mm/s
- doba zdržení 1 – 2 h
- hydraulické zatížení plochy 1,5 – 2,5 $m^3/m^2 \cdot h$

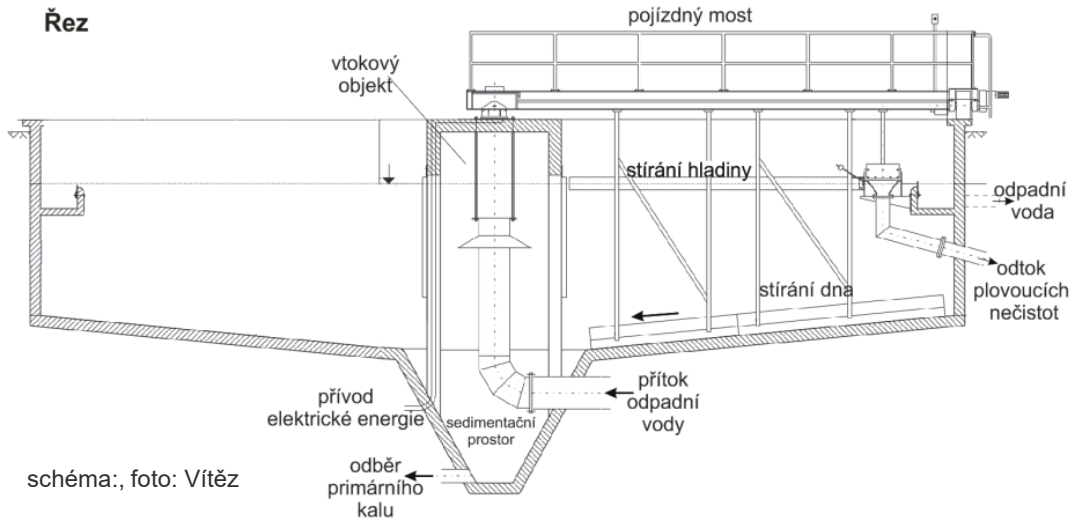
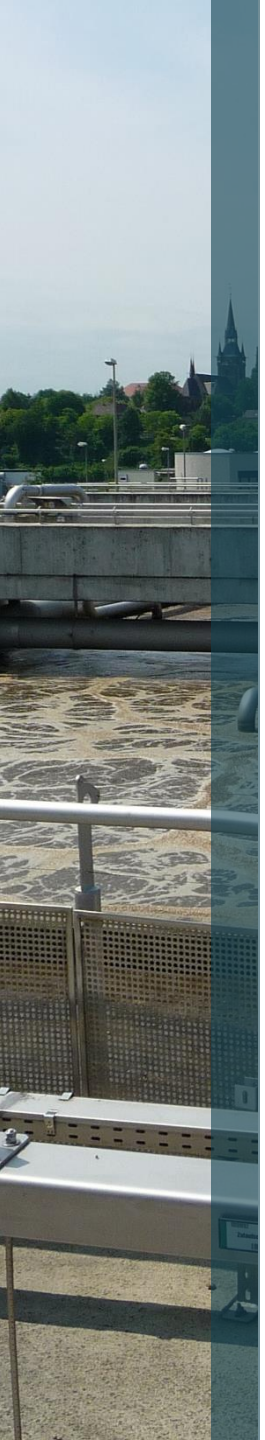
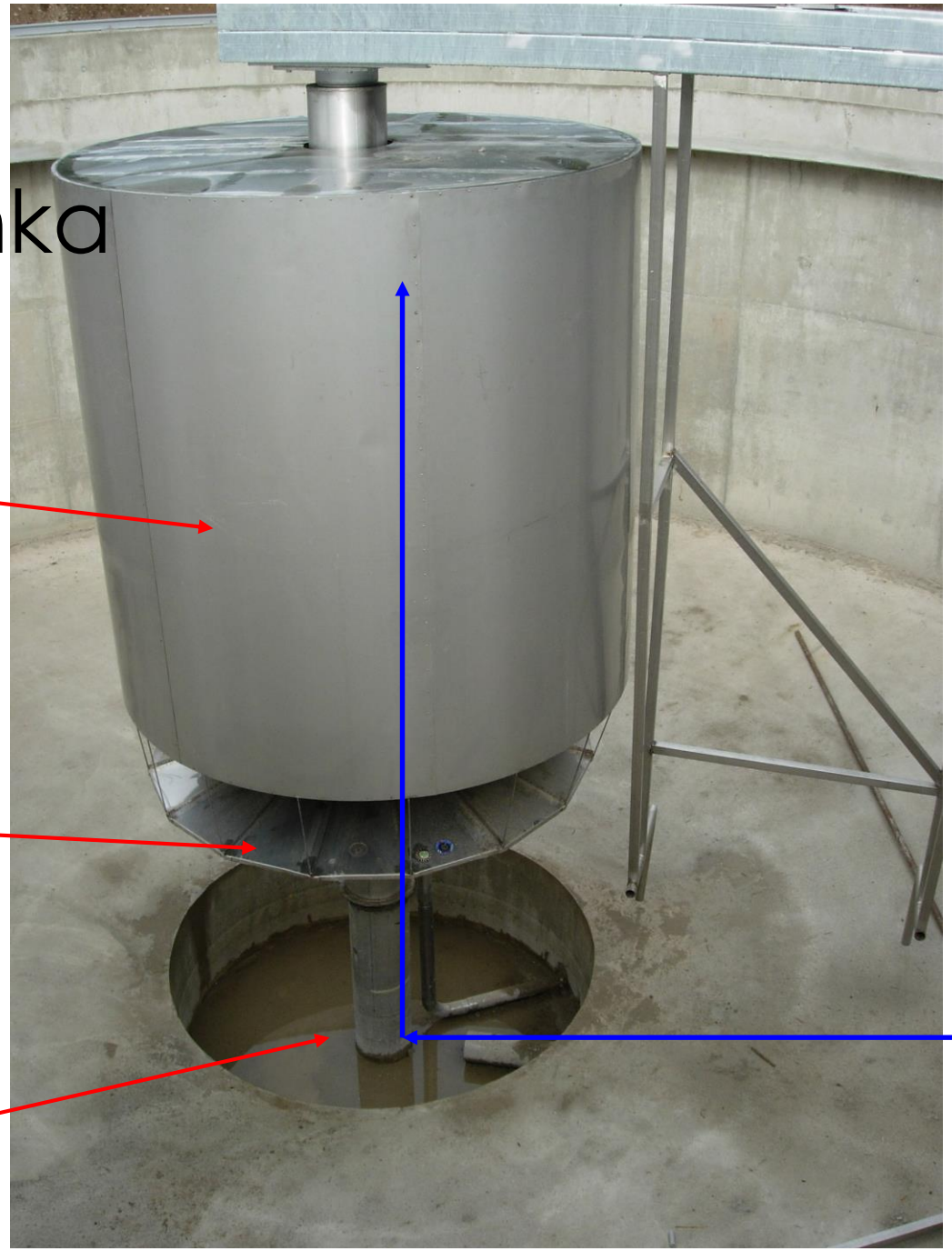


schéma:, foto: Vítěz



Biologická linka



Vstupní uklidňovací válec

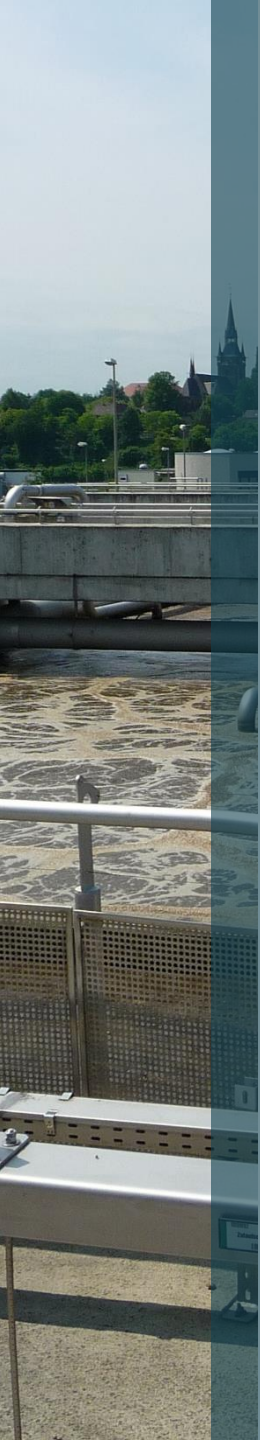
Deflektor

(zabránění zkratovým proudům)

Jímka na kal

Přítok z aktivace

(pod nádrží)



Pojezdový most

Lišta pro shrabování plovoucích nečistot

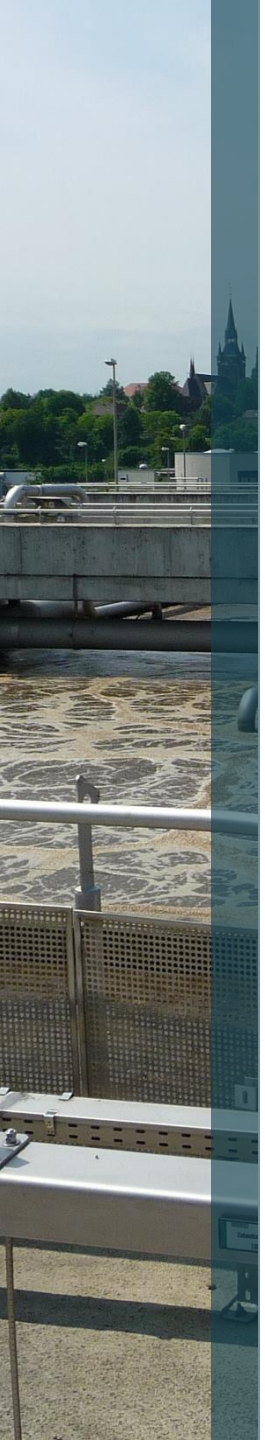
Deflektor

(zabraňuje vířivým proudům u přepad. žlabu)

Jímka plovoucích nečistot

Odtokový žlab

Norná stěna



Biologická linka

Pravoúhlá dosazovací nádrž

- hloubka 3 – 4 m, šířka 3 – 6 m,
- rychlost proudění 10 – 15 mm/s
- doba zdržení 0,5 – 4 h
- hydraulické zatížení plochy 1,5 – 2,5 $m^3/m^2 \cdot h$

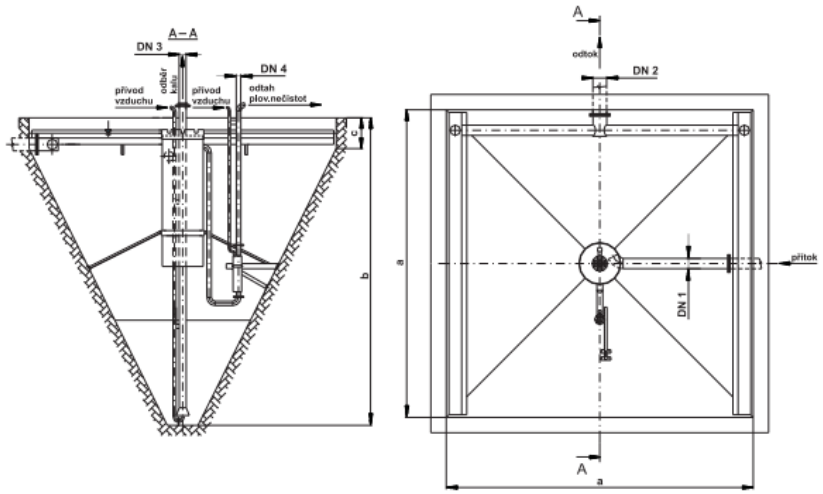
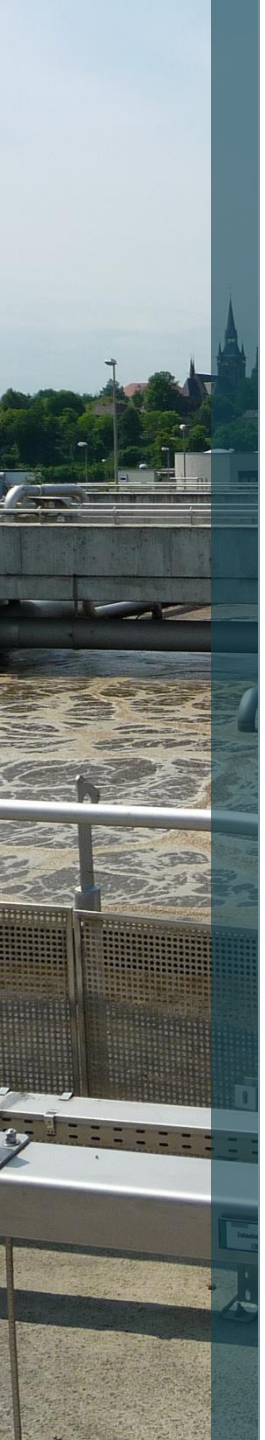


Schéma: KUNST, spol. s r. o., foto: Vítěz



Biologická linka

Pravoúhlá dosazovací nádrž

- hloubka 2 – 3 m, délka 12 – 60 m,
- rychlost proudění 10 – 15 mm/s
- doba zdržení 0,5 – 4 h
- hydraulické zatížení plochy 0,7 – 5,0 $m^3/m^2 \cdot h$

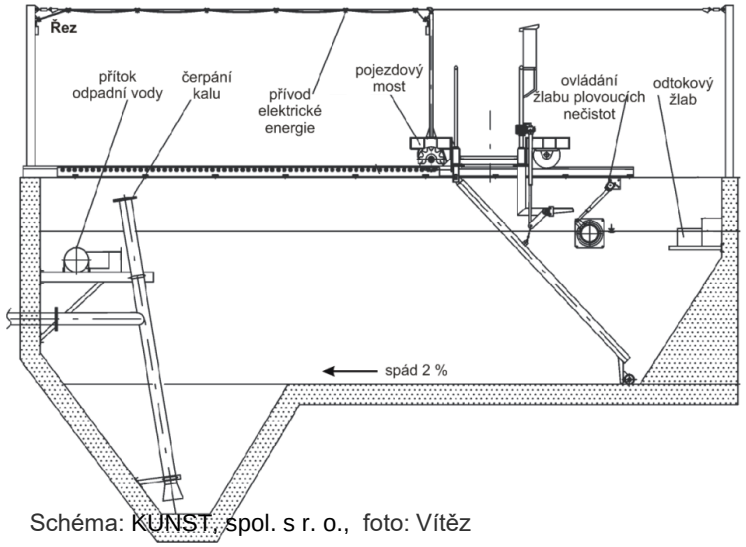
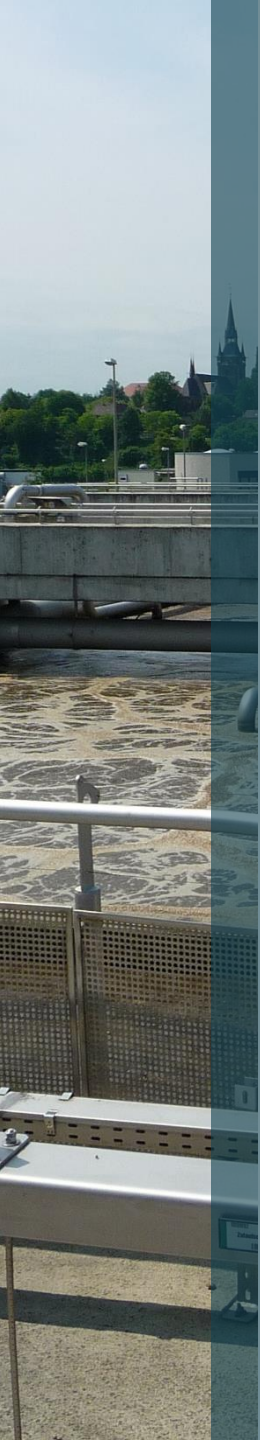
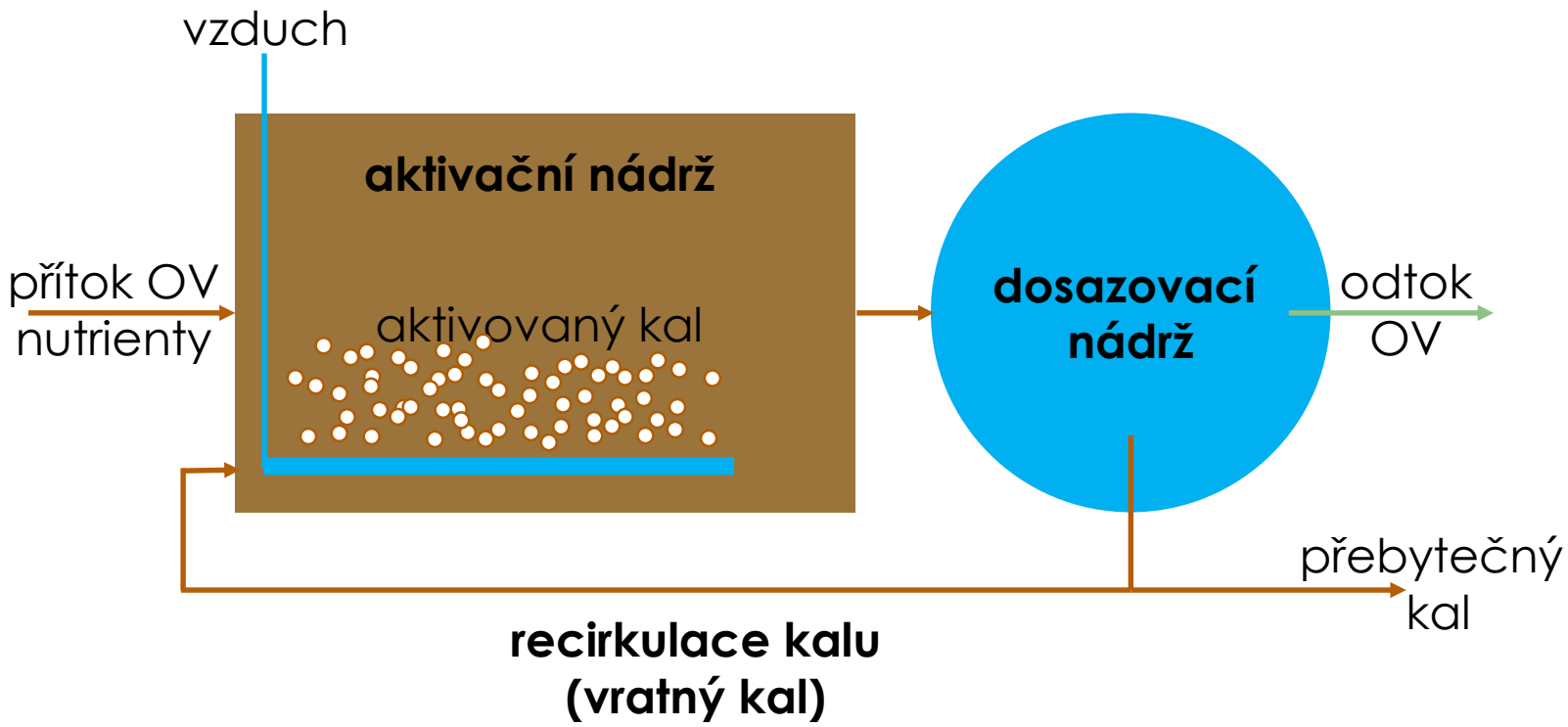


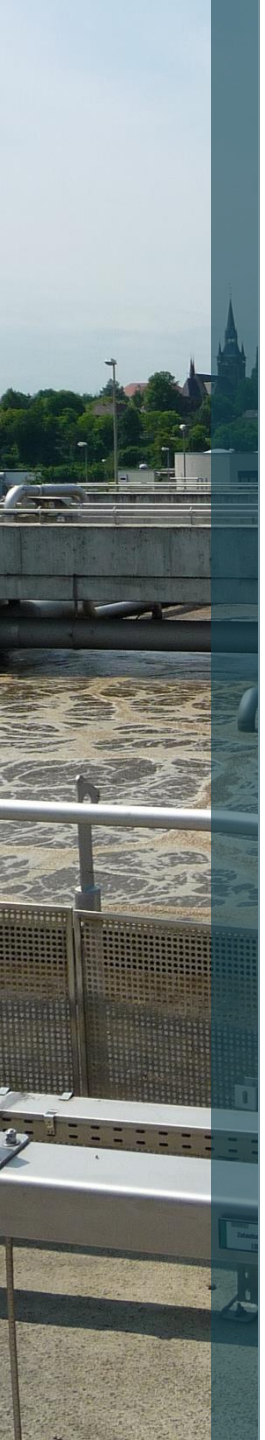
Schéma: KUNST, spol. s r. o., foto: Vítěz



Biologická linka

Vratný kal



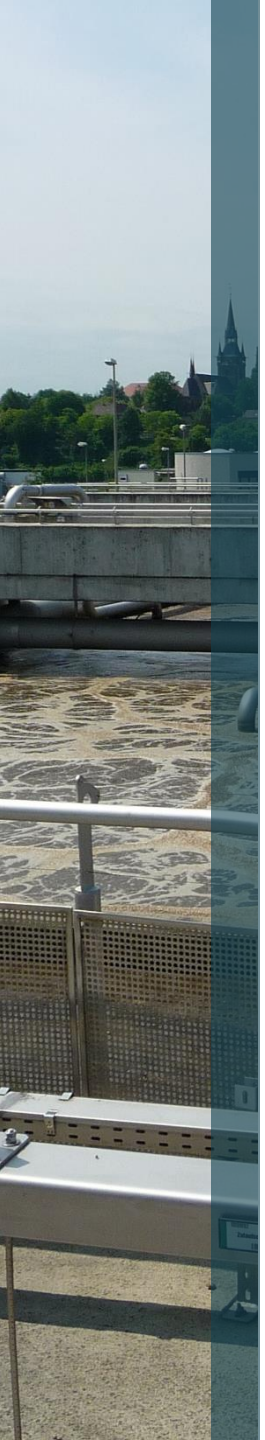


Biologická linka

Vratný kal

- udržování koncentrace aktivovaného kalu v systému,
- množství vratného kalu,
  - 50 – 150 % přítoku odpadní vody do aktivační nádrže,

- jako indikátor může být použit KI,
- fotoelektrické snímače, ultrazvukové snímače,
  - snímají fázové rozhraní v dosazovací nádrži,



Biologická linka

Vratný kal – recirkulační poměr

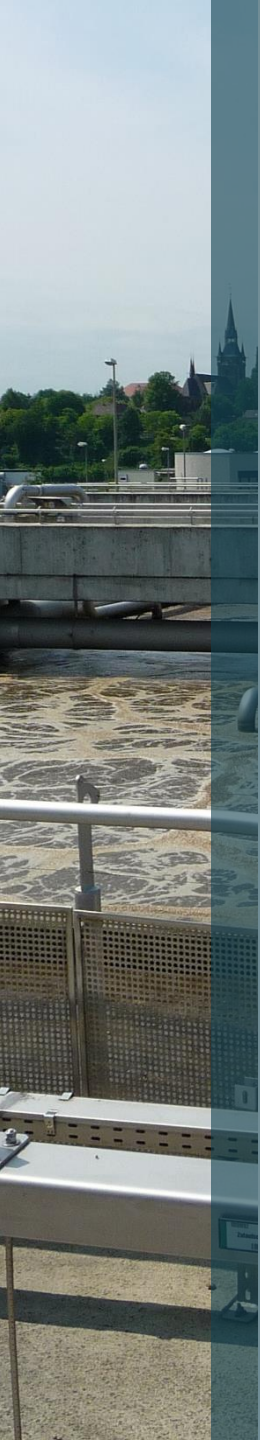
Určení množství vratného kalu, KI = 112,5 ml/g; X = 3 g/dm^3;

$$R = \frac{\mathrm{Q_r}}{\mathrm{Q}} = \frac{X}{X_\mathrm{r} - \mathrm{X}} = \frac{3}{8{,}8 - 3} = 0{,}56\ [-]$$

R – recirkulační poměr, poměr průtokového množství vratného kalu a odpadní vody ($R=Q_r/Q$)

X - koncentrace aktivovaného kalu [g/dm^3]; obvyklé hodnoty 3 - 5 g/dm^3

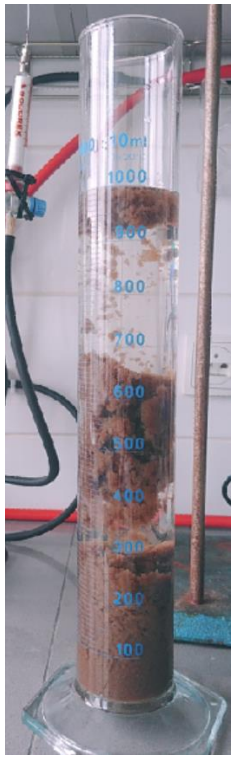
X_r – koncentrace kalu v DN; lze určit jako10^6/KI; ne více než 10 g/dm^3



Biologická linka

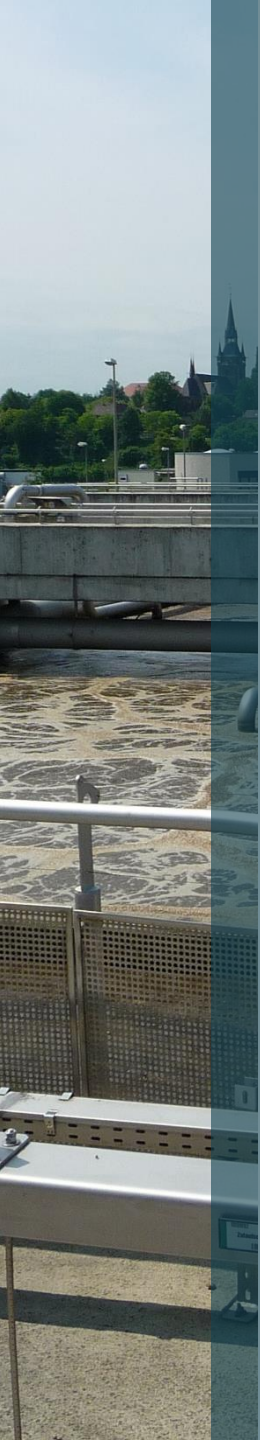
Potíže při provozu – flotace kalu

- příčina tohoto fenoménu je denitrifikace → produkce plynů,
- plyny N_2 jsou zachyceny v kalu = vztlak,



Předcházení problémům

- zvýšení recirkulace kalu,
- zvýšení rychlosti odvádění kalu z DN,
- snížení střední doby zdržení = zvýšení odvodu kalu,



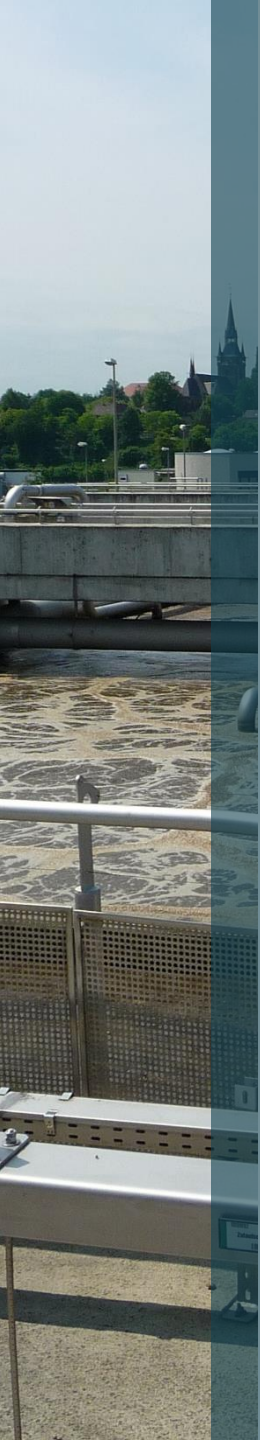
Biologická linka

Potíže při provozu – bytnění kalu

- biologická příčina - růst vláknitých mikroorganismů,
- fyzikální příčina – změna hustoty kalu,

Faktory ovlivňující bytnění kalu

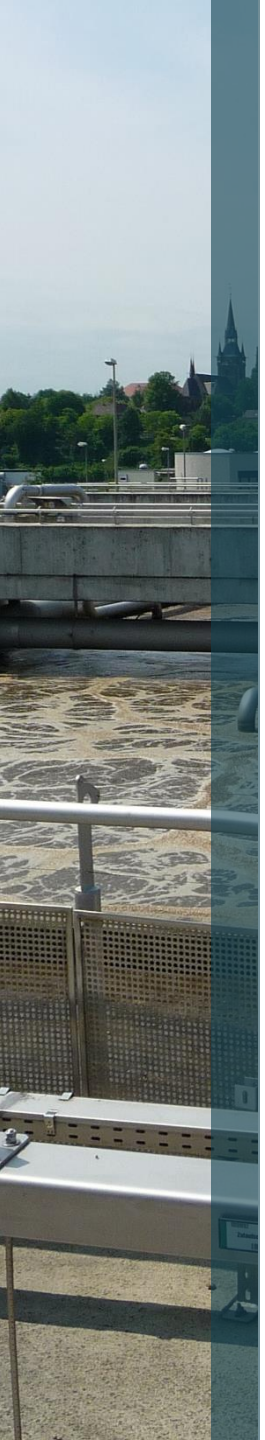
- složení odpadních vod, (pH, teplota, nutrienty - FOG)
- dosažení limitních (návrhových) hodnot ČOV (aerace, DN, recirkulace kalu, špatné míchání)
- provozní problémy (nízká koncentrace kyslíku, nedostatek nutrientů, nízké látkové zatížení, septické podmínky-kyseliny, sulfidy),



Biologická linka

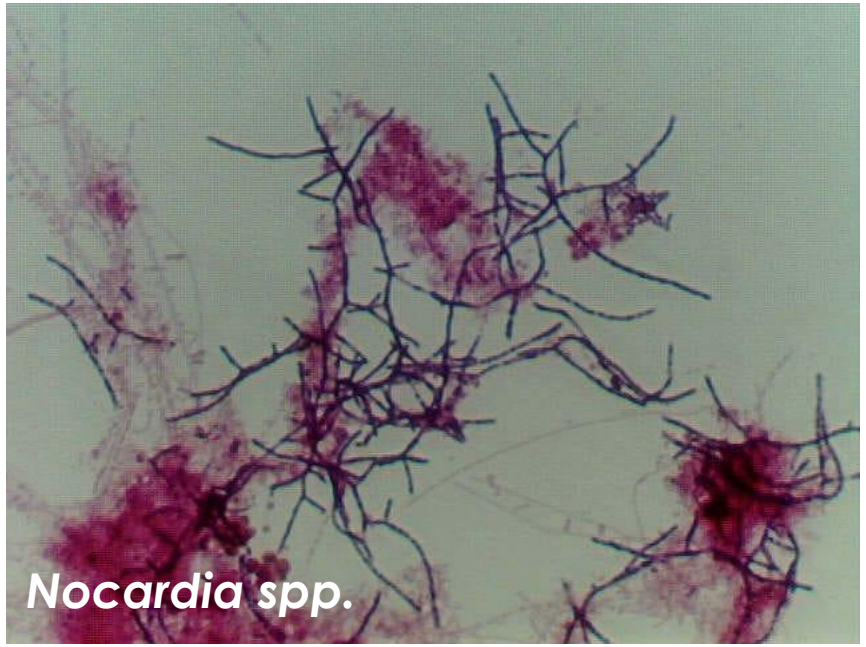
Potíže při provozu – bytnění kalu

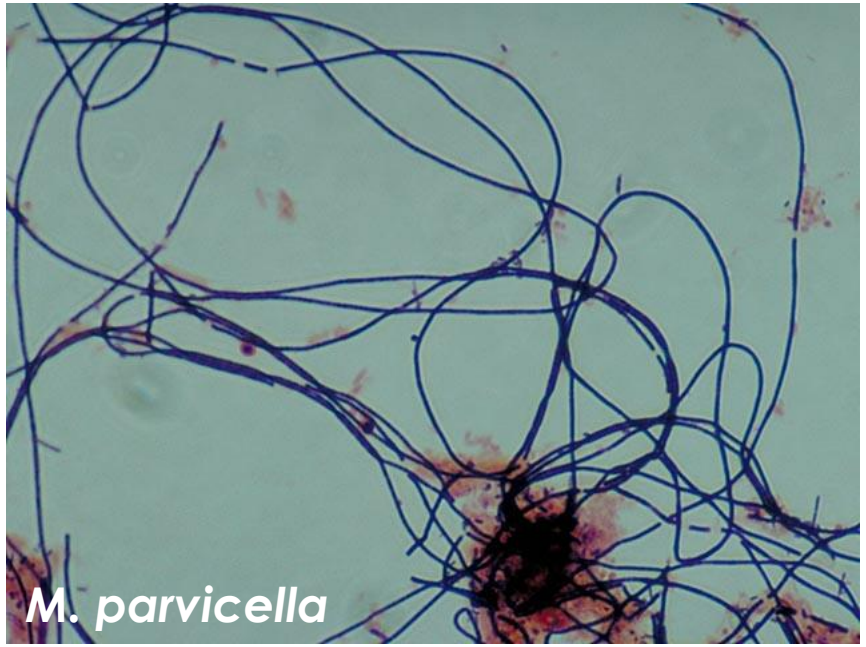
Příčina	Mikroorganismus
Low Dissolved Oxygen (for the applied organic loading)	*Sphaerotilus natans*, type 1701 *Haliscomenobacter hydrossis*
Low Organic Loading Rate low F/M)	*M. parvicella*, *Nocardia* spp., and morphotypes 0041, 0675, 1851 and 0803.
Septic Wastes / Sulfides (high organic acids)	*Thiothrix sp.* and *Beggiatoa* spp., *Nostocoida limicola* and morphotypes 021N, 0092, 0914, 0581, 0961 and 0411.
Nutrient Deficiency - N and/or P (industrial wastes only) nitrogen - phosphorus -	*Thiothrix* and type 021N. *Nostocoida limicola*
Low pH (<pH 6.0)	fungi
High Fat/Oil/Grease	*Nocardia* spp. *M. parvicella* and morphotype 1863

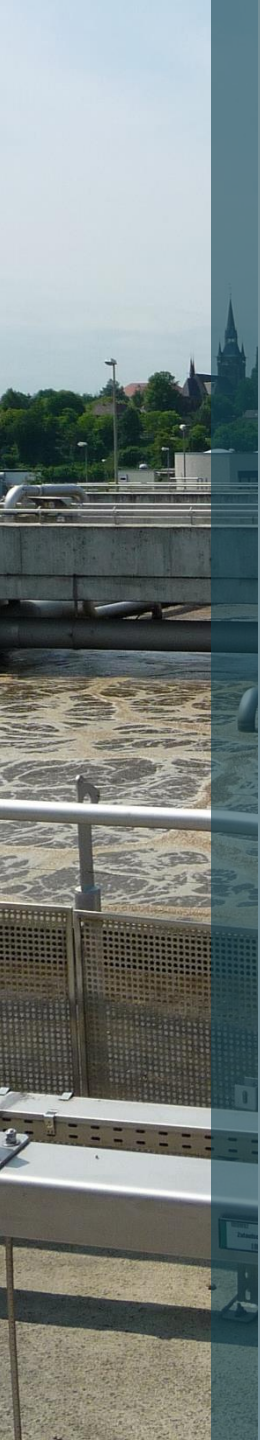


Biologická linka

Potíže při provozu – bytnění kalu





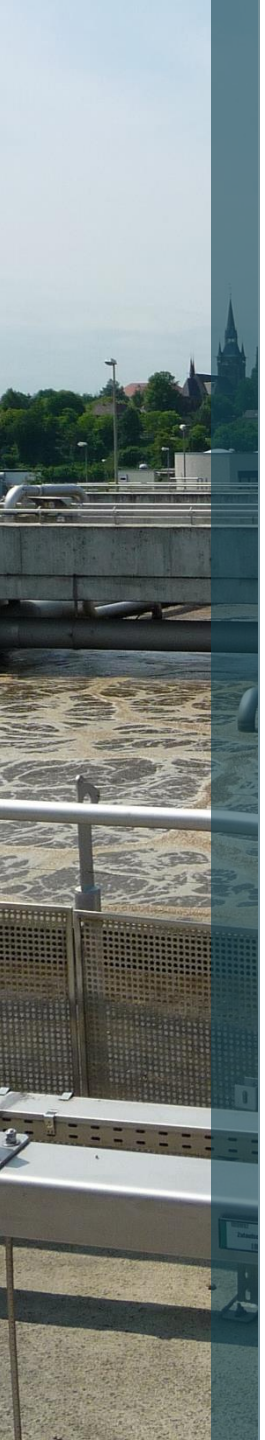


Biologická linka

Potíže při provozu – bytnění kalu

Řešení

- rozdělení provzdušňování v aktivačních nádržích,
- fed-batch provoz,
- přerušované dávkování nutrientů (odpadní vody),
- použití selektoru,
- použití chemie (chlor, peroxid vodíku)

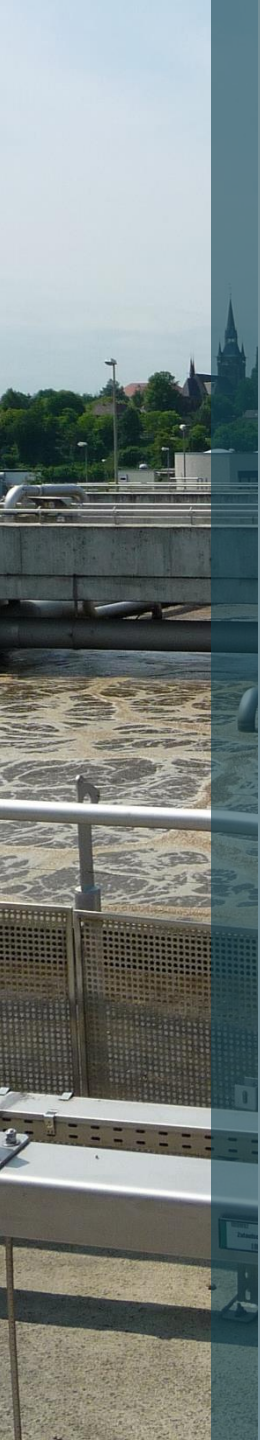


Biologická linka

Potíže při provozu – bytnění kalu

Selektor

- nádrž, kde se promísí vratný kal a přitékající OV,
  - doba zdražení 15-30 min,
  - aerobní, anoxická, anaerobní
  - odstranění 70 – 80 % rozpuštěného BSK,
- krátkodobě vysoce látkově zatížená nádrž
  - stimulace vločky produkujících mikroorganismů

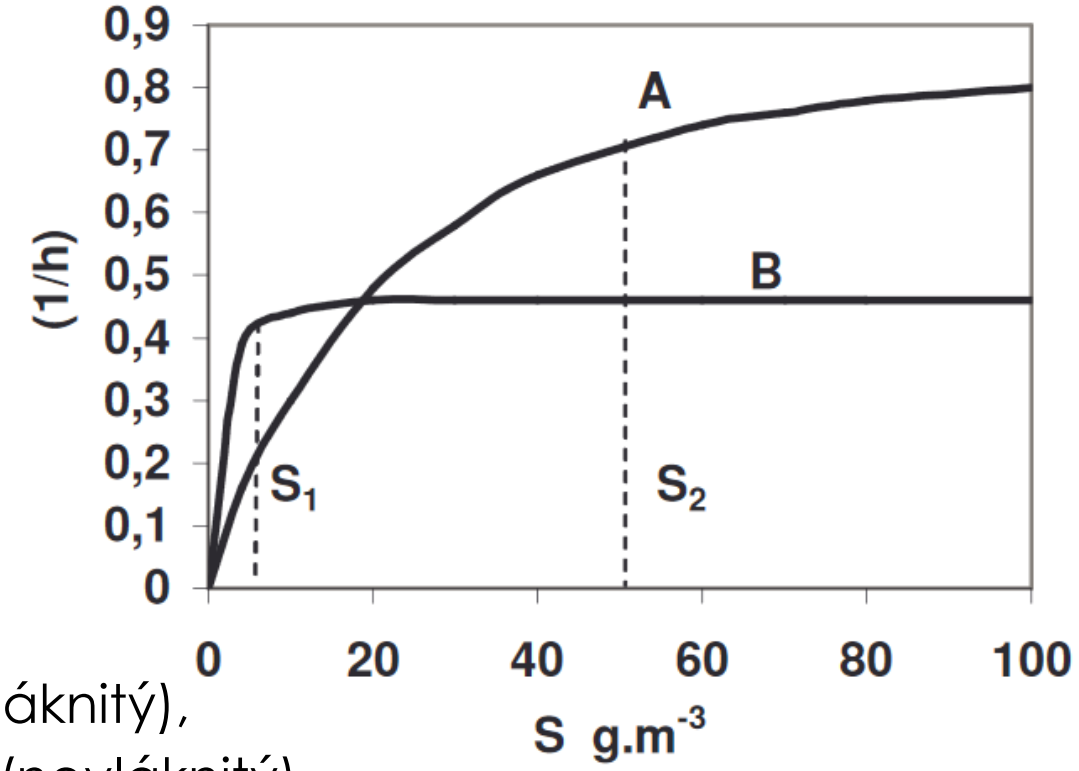


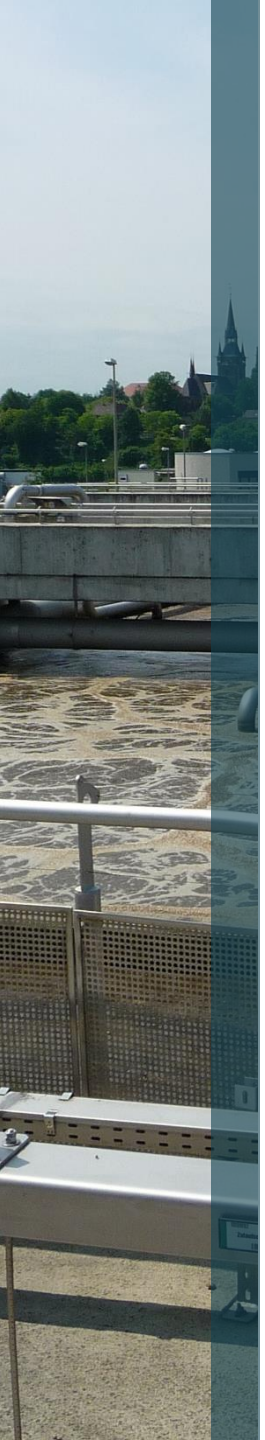
Biologická linka

Potíže při provozu – bytnění kalu

Selektor

- koncentrace substrátu
  - nízká preferován organizmus B (vláknitý),
  - vysoká preferován organismus A (nevláknitý),



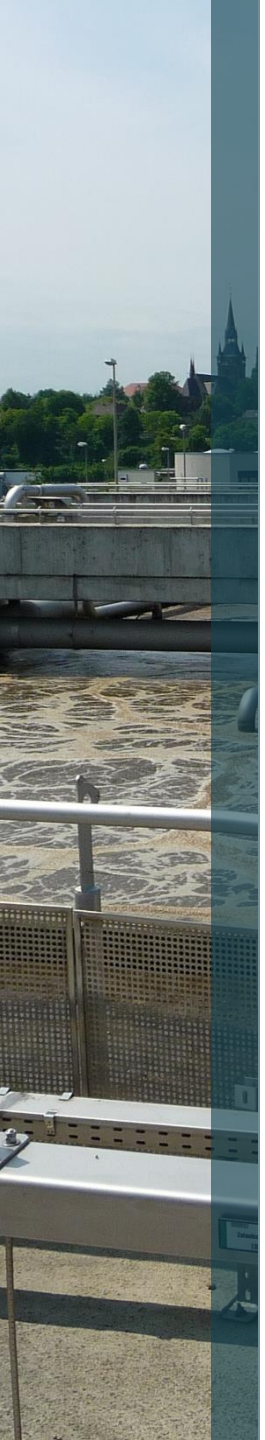


Biologická linka

Potíže při provozu – bytnění kalu

Chemie (chlor, peroxid vodíku)

- inhibice vláknitých mikroorganismů,
- *Nocardia* sp. – uvnitř vloček, neúčinné,
- *Microthrix parvicella* - pěna, sprejování roztokem chloru (plynný chlor s vodou nebo chlornan) 50 mg/L
  - obvykle dávkován k vratnému kalu



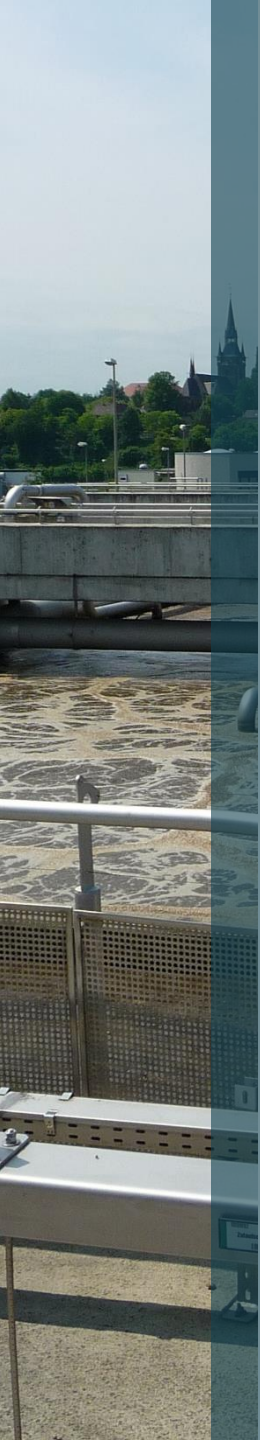
Terciální čištění

Důvod

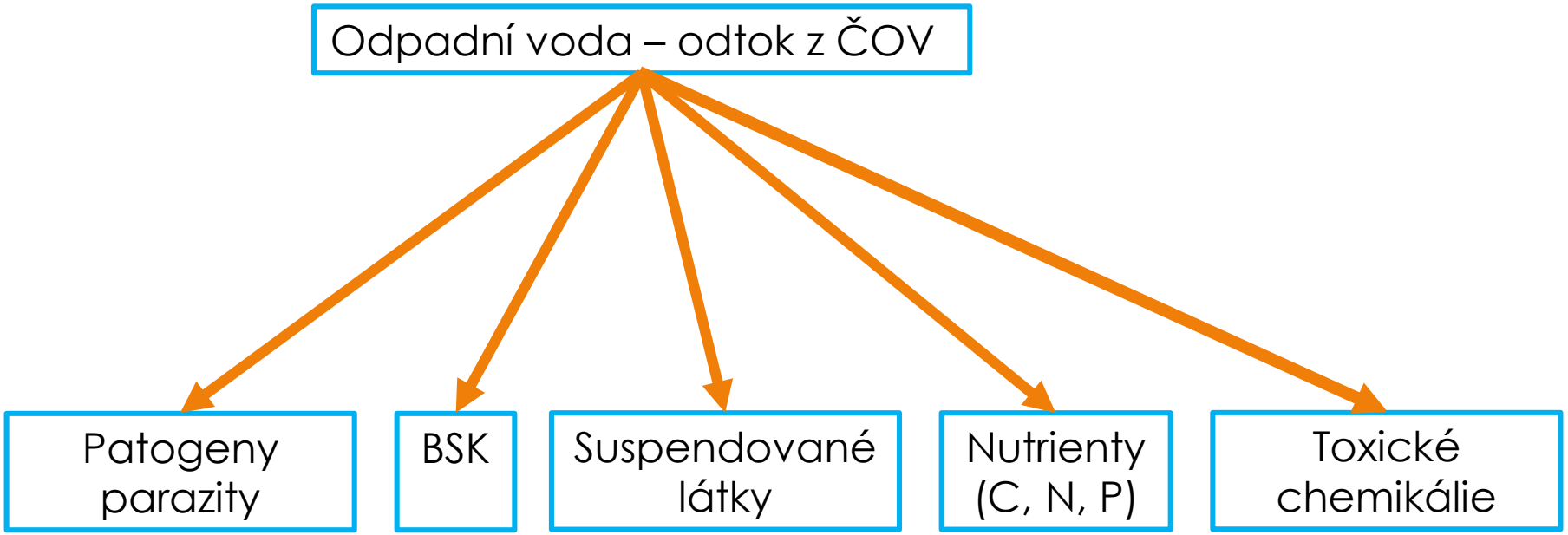
- snížení zákalu, zbytkové koncentrace N, P, kovy, patogeny,

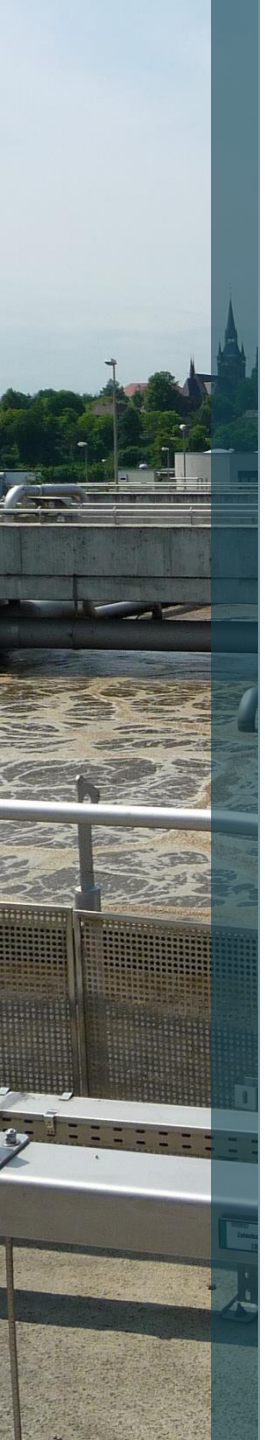
Principy

- koagulace, filtrace
- adsorpce na aktivní uhlí
- reversní osmóza,
- desinfekce.



Kvalita vody na odtoku





Biologické čištění - účinnost technologií

Technologie čištění	Účinnost čištění v %				
	BSK_5	CHSK	NL	$N\text{-}NH_4^+$	P_{celk}
Septik	15 až 30	0 až 20	50 až 60	-	-
Anaerobní separátor	50 až 75	40 až 80	70 až 90	5 až 25	10 až 45
Sedimentace	20 až 30	10 až 30	30 až 60	0 až 5	0 až 8
Rotační biofilmové reaktory (biodisky apod.)	80 až 90	60 až 85	65 až 90	5 až 70	5 až 20
Aktivační proces s biofilmovým reaktorem	80 až 95	70 až 90	80 až 90	65 až 95	15 až 25
Aktivační proces s $B_x < 0{,}3$ kg/(kg · d)	80 až 90	60 až 85	85 až 90	5 až 30	15 až 25
Aktivační proces s $B_x \approx 0{,}05$ kg/(kg · d)	85 až 95	70 až 90	85 až 90	5 až 30[2)] 65 až 95[1)]	15 až 25
Biologické dočišťovací nádrže	65 až 70 80 až 90[1)]	60 až 85	85 až 90	20 až 90	5 až 20
Zemní filtry	85 až 95	70 až 90	85 až 95	10 až 15	5 až 25
Vertikální filtr s dávkovacím systémem	60 až 90	40 až 70	40 až 70	70 až 90	5 až 25
Vegetační čistírna s horizontálním průtokem	40 až 95	50 až 90	65 až 95	5 až 60	5 až 25
Vertikální filtr s vegetací	75 až 98	70 až 97	85 až 99	50[2)] až 99[1)]	5 až 20

[1)] v letním období (tj. pro T > 12 °C)

[2)] v zimním období (tj. pro T < 6 °C)