

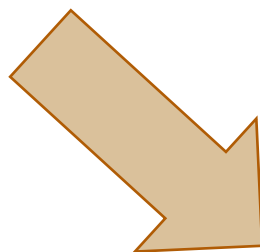
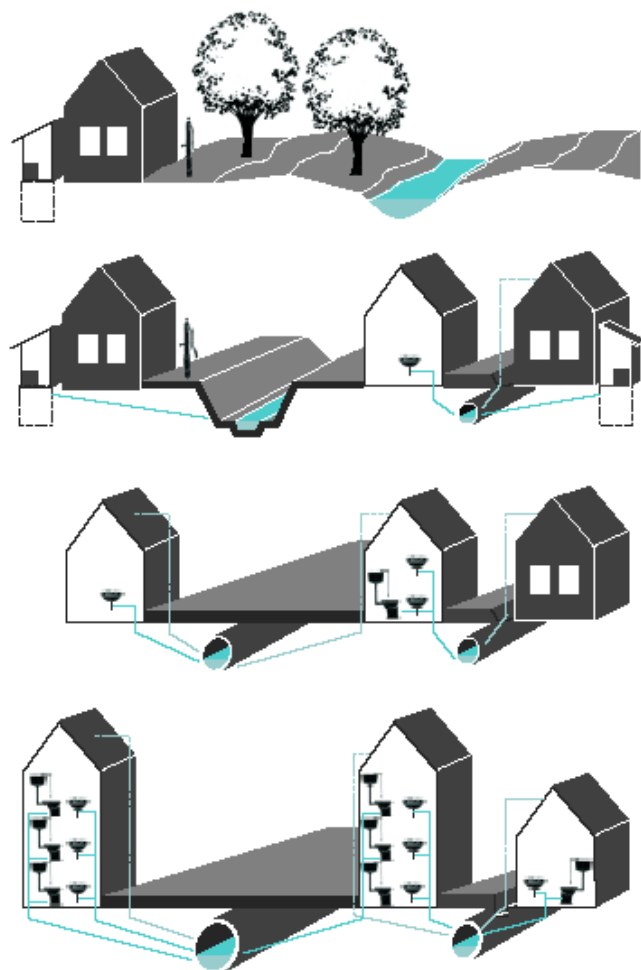


MUNI  
PŘÍRODOVĚDECKÁ  
FAKULTA

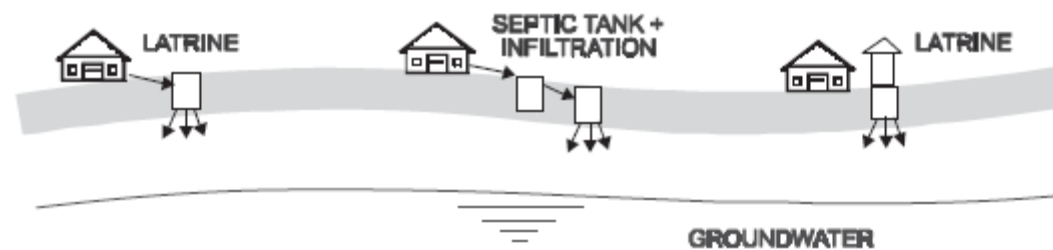
# Biologické čištění odpadních vod

09.04.2022  
Tomáš Vítěz  
Monika Vítězová

# Odvádění odpadních vod - geneze



## Nakládání s odpadními vodami na místě



Zdroj: M.Sperling, 2007 Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal

# Odvádění odpadních vod

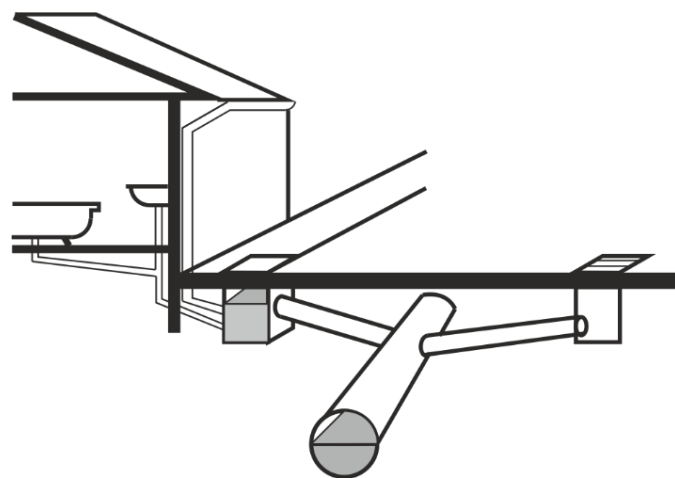
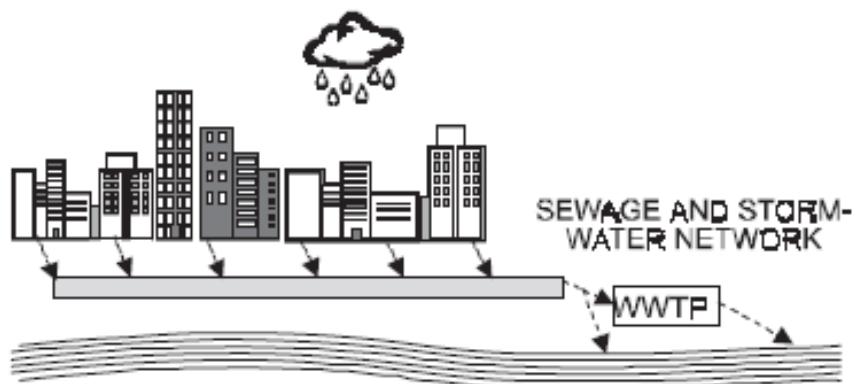
Stávající stokové sítě jsou koncipovány pro rychlé a spolehlivé odvedení splaškových a srážkových odpadních vod.

**Jednotný systém:** Dopravuje odpadní vody jednou trubicí sítí na ČOV. Dochází k částečnému odtoku odpadních vod před ČOV do recipientu.

**Oddílný systém:** Splaškové odpadní vody odvádí na ČOV. Srážkové odpadní vody jsou odváděny po případném mechanickém předčištění do recipientu.

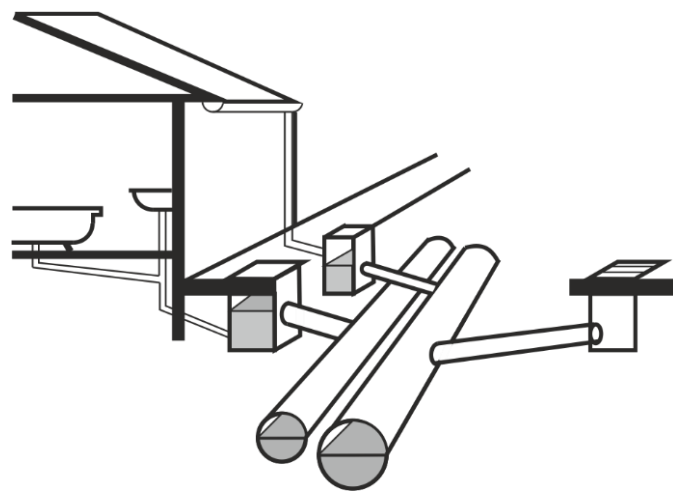
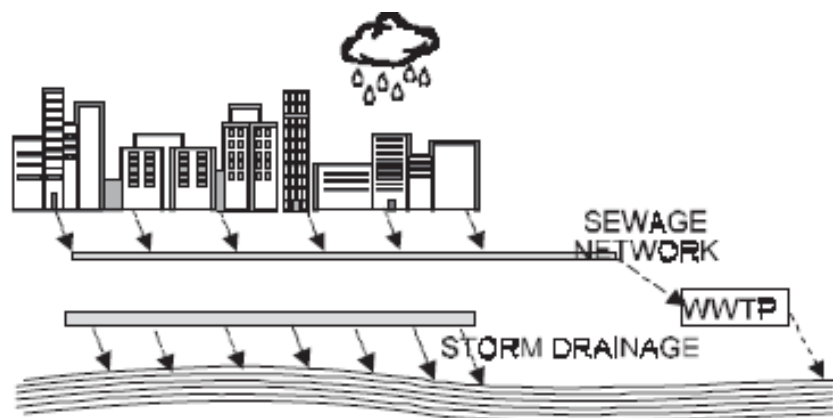
# Odvádění odpadních vod

## Jednotný systém

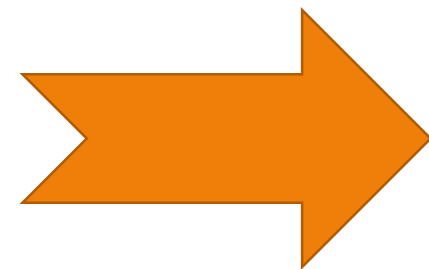


# Odvádění odpadních vod

## Oddílný systém



# Odvádění odpadních vod - Brno



Kanalizační řád Brno

# Kanalizační systémy EU

Country	Separate sewers	Combined sewers	No. of storm overflow (SO) structures*
Belgium	7.7 %	92 %	12 382 SOs
Denmark	50 %	50 %	17 548 Sos (4873 CSOs)
Finland	c.95 %	c.a. 5 %, Helsinki: 30 %	-
France	68 %	32 %	-
Germany	57 %	43 %	18 425 Sos (North Rhine-Westphalia, Bavaria)
Ireland	76 %	16 %	1 900 SOs
Luxembourg	10 %	90 %	-
Netherlands	27 %	68 %	13 700 SOs
Portugal	66 %	33 %	6 342 SOs
Spain	87 %	13 %	-
Sweden	88 %	12 %	-
United Kingdom	30 %	70 %	19 049 CSOs

# Určení množství odpadních vod

## Splaškové odpadní vody

- přednostně přímým měřením,
- na základě spotřeby pitné vody,

Community size	Population range (inhabitants)	Per capita water consumption (L/inhab.d)
Rural settlement	<5,000	90–140
Village	5,000–10,000	100–160
Small town	10,000–50,000	110–180
Average town	50,000–250,000	120–220
Large city	>250,000	150–300

Hodnota

$$q_{\text{spec}} = 150 \text{ l}$$

na osobu a den

Specifické množství vody fakturované pro domácnost

Rok	1989	2015	2016	2017	2018	2019	2020
dm <sup>3</sup> na osobu a den	171,0	87,9	88,3	88,7	89,2	90,6	91,1



# Určení množství odpadních vod (splaškové odpadní vody)

## **Faktory ovlivňující spotřebu vody → produkci splaškové odpadní vody**

- dostupnost vody
- klima
- velikost aglomerace
- ekonomická situace společnosti
- industrializace oblasti
- měření spotřeby vody
- cena za vodu
- tlak vody ve vodovodu
- ztráty vody



# Určení množství odpadních vod (splaškové odpadní vody)

- specifický přítok odpadních vod **q = 150 l za den na 1 obyvatele**
- měření skutečného přítoku za posledních 5 let

průměrný denní přítok odpadních vod:  $Q_{24,m} = \text{Populace} \cdot q$

průměrný bezdeštný denní přítok:  $Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B + Q_P$

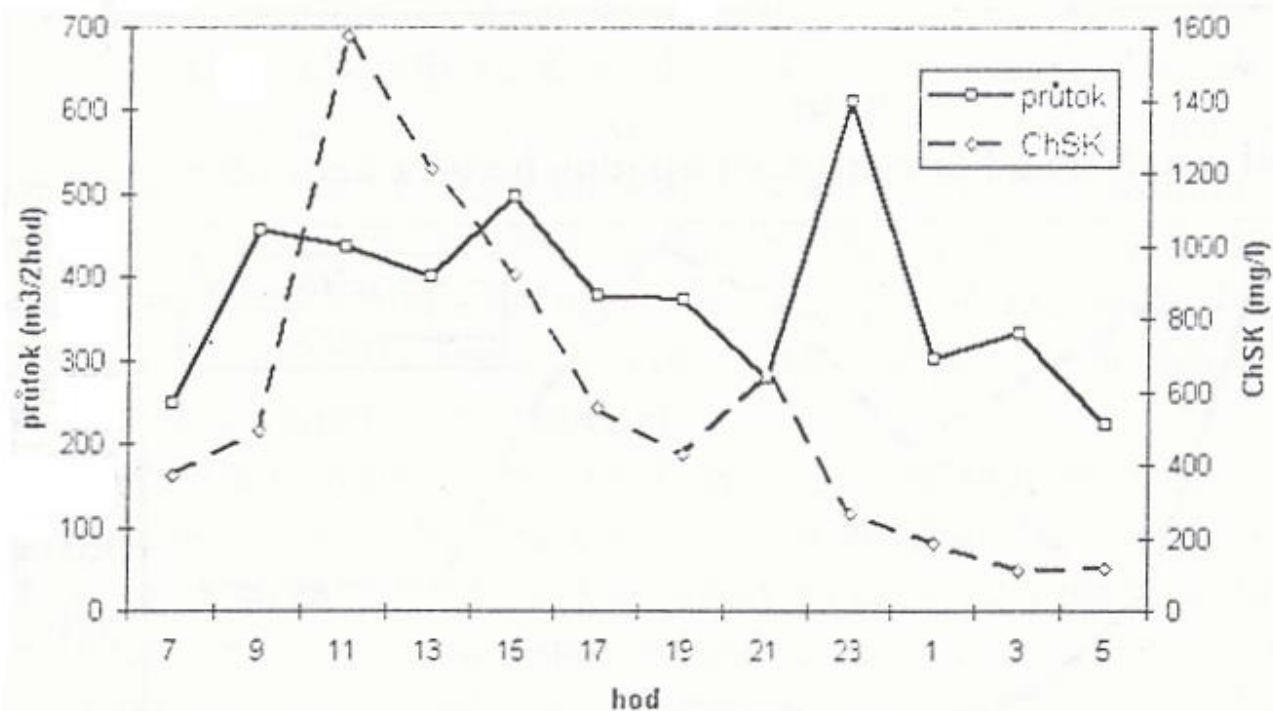
maximální bezdeštný denní přítok:  $Q_d = Q_{24,m} \cdot k_d + Q_B + Q_P$

maximální bezdeštný hodinový přítok:  $Q_h = Q_{24,m} \cdot k_d \cdot k_h + Q_B + Q_P/24$

(toto řeší ČSN 756401)

# Určení množství odpadních vod (splaškové odpadní vody)

Denní kolísání množství a koncentrace odpadních vod



## Koeficienty denní nerovnoměrnosti

tis EO	$k_d$
do 1	1,5
1 až 5	1,4
5 až 20	1,35
20 až 100	1,25

## Koeficienty hodinové nerovnoměrnosti

tis EO	$k_{hmax}$	$k_{hmin}$
1	2,2	0,6
2	2,1	0,6
5	2	0,6
10	2	0,6
20	1,9	0,6
30	1,8	0,6
50	1,7	0,6
100	1,5	0,7

## Koeficienty pro ČOV do 500 EO

EO	$k_{hmax}$
30	7,2
40	6,9
50	6,7
75	6,3
100	5,9
300	4,4
400	3,5
500	2,6

# Určení množství odpadních vod (splaškové odpadní vody)

Maximální přítok ( $Q_{\max}$ ) splaškových odpadních vod se určí:

$$Q_{\max} = \frac{Q_d}{24} \cdot k_{h\max} [m^3 / h]$$

kde :

$Q_d$  - maximální denní bezdeštný přítok [ $m^3$ ]

$k_{h\max}$  - koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-]

V praxi se stoky navrhují na dvojnásobek  $Q_{\max}$

$$Q_{nsp} = Q_{\max} \cdot 2 [m^3 / h]$$

# Určení množství odpadních vod (splaškové odpadní vody)

Establishment	Unit	Flow range (L/unit.d)
Airport	Passenger	8–15
Accommodation (lodging house)	Resident	80–150
Public toilet	User	10–25
Bar	Customer	5–15
Cinema/theatre	Seat	2–10
Office	Employee	30–70
Hotel	Guest	100–200
	Employee	30–50
Industry (sanitary sewage only)	Employee	50–80
Snack bar	Customer	4–20
Laundry – commercial	Machine	2,000–4,000
Laundry – automatic	Machine	1,500–2,500
Shop	Toilet	1,000–2,000
	Employee	30–50
Department store	Toilet	1,600–2,400
	Employee	30–50
	m <sup>2</sup> of area	5–12
Petrol station	Vehicle attended	25–50
Restaurant	Meal	15–30
Shopping centre	Employee	30–50
	m <sup>2</sup> of area	4–10

# Určení množství odpadních vod

## **Průmyslové odpadní vody**

- data v projektové dokumentaci – technologická voda,
- skutečná spotřeba vody,
- nutno zahrnout produkci od zaměstnanců a dalších podpůrných procesů.



# Určení množství odpadních vod (průmyslové odpadní vody)

Proces	výrobní jednotka	spotřeba vody [m <sup>3</sup> ]	Počet EO
výroba mléka	1 m <sup>3</sup> mléka	1 – 10	40 - 230
zpracování cukrovky	tuna řepy	1 – 10	45 - 70
zpracování vlny	1 000 kg vlny	500 – 600	
loužení kůže	1 000 kg kůže	5 – 40	1 000 - 5 000
výroba papíru	1 000 kg papíru	15 – 250	200 - 900
vaření piva	1 m <sup>3</sup> piva	5 – 20	150 - 350
výroba pryže	1 000 kg pryže	100 – 150	
výroba mýdla	1 000 kg mýdla	25 – 200	

# Určení množství odpadních vod

## **Srážkové vody**

- určíme pomocí speciálních výpočtových metod,
- rozdělení oblasti do povodí – následné určení druhů ploch (propustné x nepropustné)



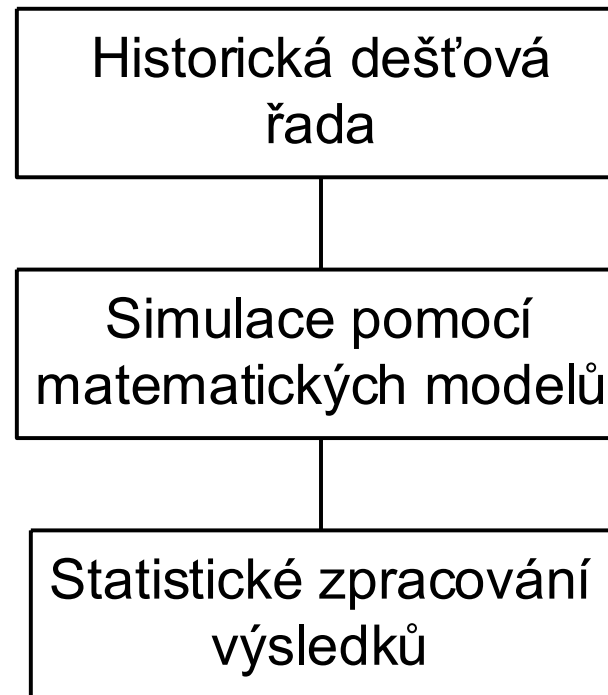


# Určení množství odpadních vod (srážkové vody)

Klasická filosofie



Moderní filosofie



# Určení množství odpadních vod (srážkové vody)

Položka	Druh odvodňované plochy, popřípadě druh úpravy povrchu	Sklon povrchu a na něm závislý součinitel ( $\psi$ )		
		do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
1.	Střechy s propustnou horní vrstvou tlustší než 100 mm	0,5	0,5	0,5
2.	Střechy ostatní	1,0	1,0	1,0
3.	Asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár	0,7	0,8	0,9
4.	Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,6	0,7
5.	Upravené štěrkové plochy	0,3	0,4	0,5
6.	Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,25	0,3
7.	Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
8.	Zatrávněné plochy	0,05	0,1	0,15

$$Q = q \cdot S \cdot \psi$$

kde:

Q - průtok srážkových vod [l/s]

$\Psi$  - součinitel odtoku, – závisí na druhu, sklonu a propustnosti povrchu )

S - plocha povodí [m<sup>2</sup>]

q - intenzita návrhového deště doby trvání  $t$  (min) a periodicity  $p$  (l/s.m<sup>2</sup>)

(intenzita deště = 0,03 l/s.m<sup>2</sup>)

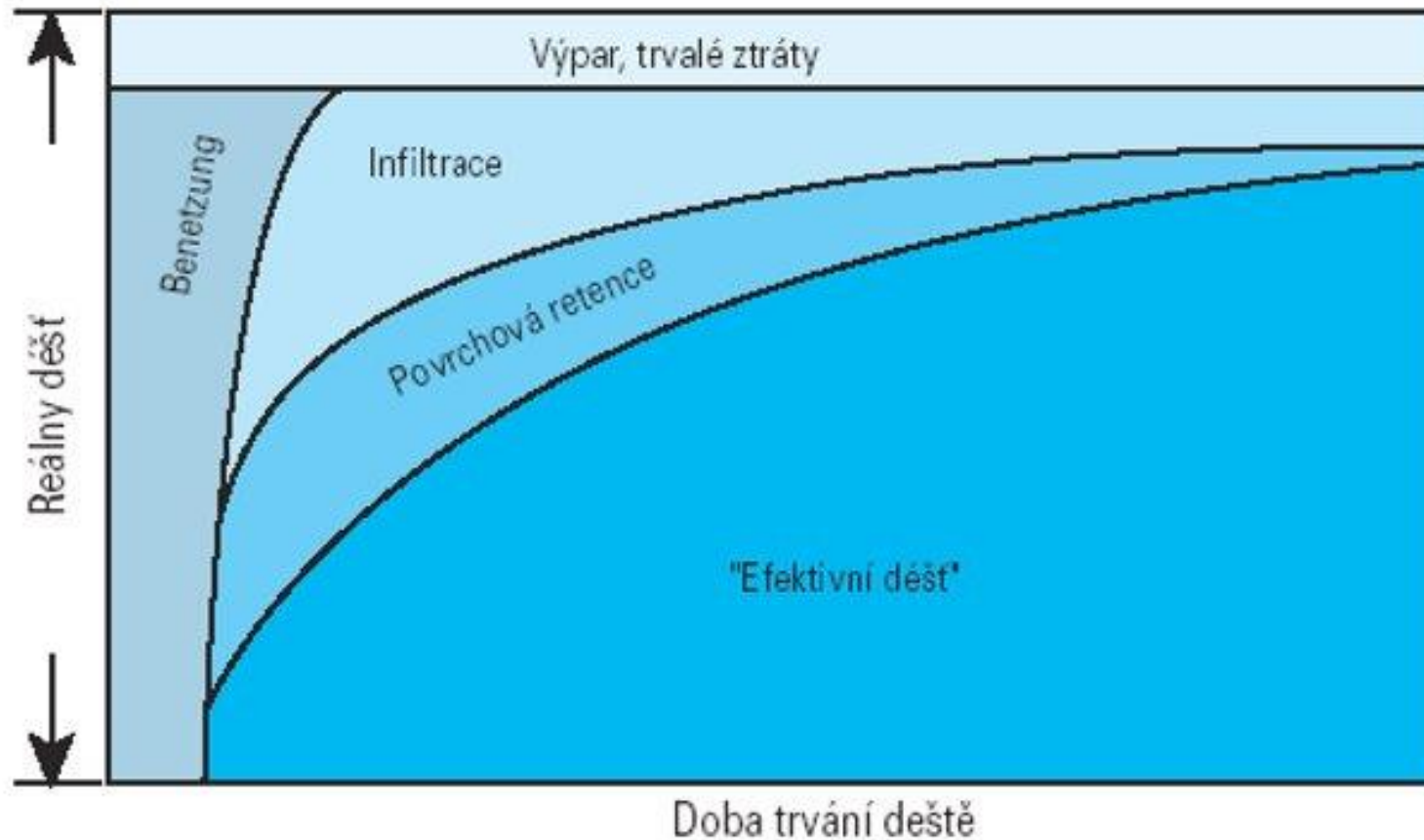
# Určení množství odpadních vod (srážkové vody)



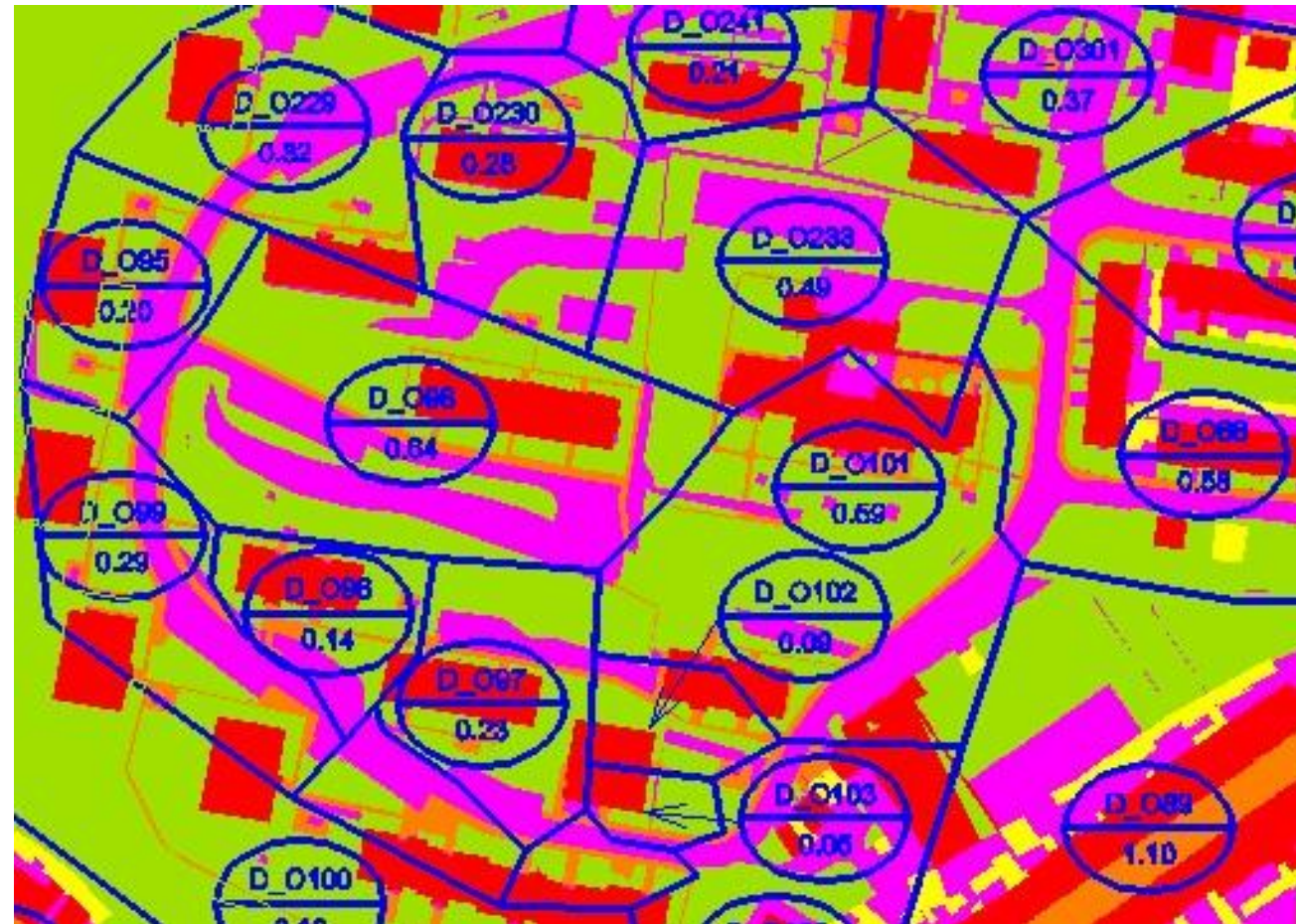
LEGENDA:

-  Propustná plocha
-  Nepropustná plocha
-  Šikmé střechy
-  Rovné střechy

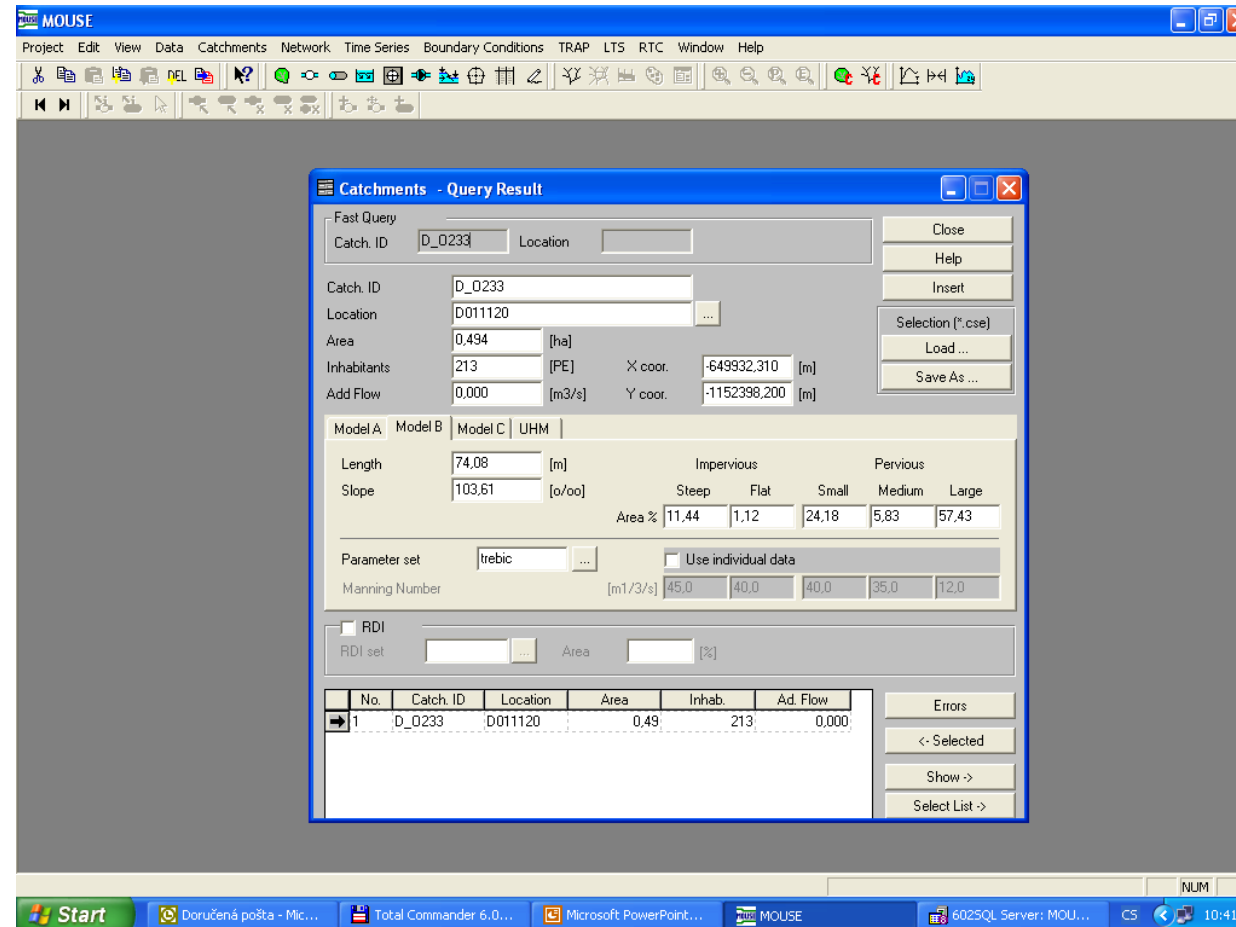
# Určení množství odpadních vod (srážkové vody)



# Určení množství odpadních vod (srážkové vody)



# Určení množství odpadních vod (srážkové vody)



The screenshot shows the MOUSE software interface with the 'Catchments - Query Result' dialog box open. The dialog box contains the following information:

**Fast Query**  
Catch. ID: D\_0233 Location: [empty]  
Buttons: Close, Help, Insert

Catch. ID: D\_0233  
Location: D011120  
Area: 0.494 [ha]  
Inhabitants: 213 [PE] X coord: -649932,310 [m]  
Add Flow: 0,000 [m3/s] Y coord: -1152398,200 [m]  
Buttons: Selection (\*cse), Load..., Save As...

Model A | Model B | Model C | UHM

Length: 74.08 [m] Impervious: Steep Flat Small Medium Large  
Slope: 103.61 [o/oo] Area %: 11.44 1.12 24.18 5.83 57.43

Parameter set: trebic Use individual data: [checked]  
Manning Number [m1/3/s]: 45.0 40.0 40.0 35.0 12.0

RDI  
RDI set: [empty] Area: [empty] [%]

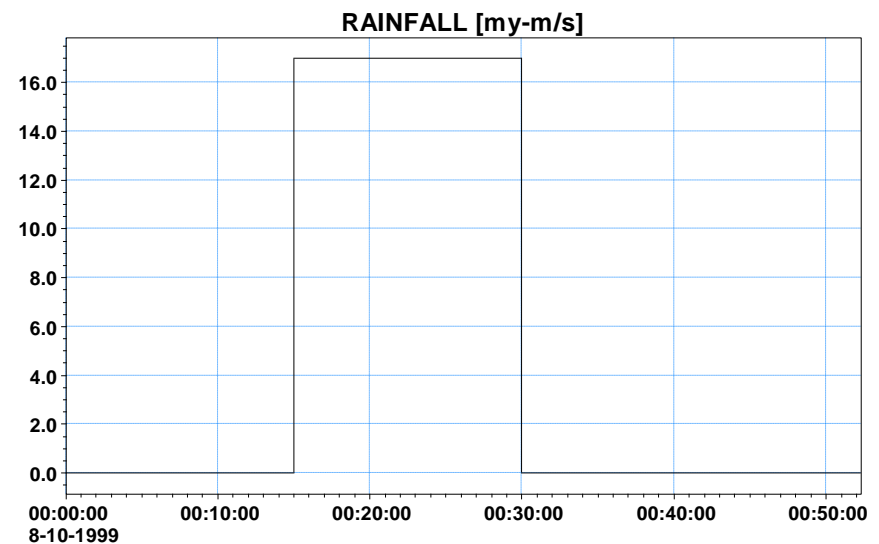
No.	Catch. ID	Location	Area	Inhab.	Ad. Flow
1	D_0233	D011120	0.49	213	0,000

Buttons: Errors, <- Selected, Show >, Select List >

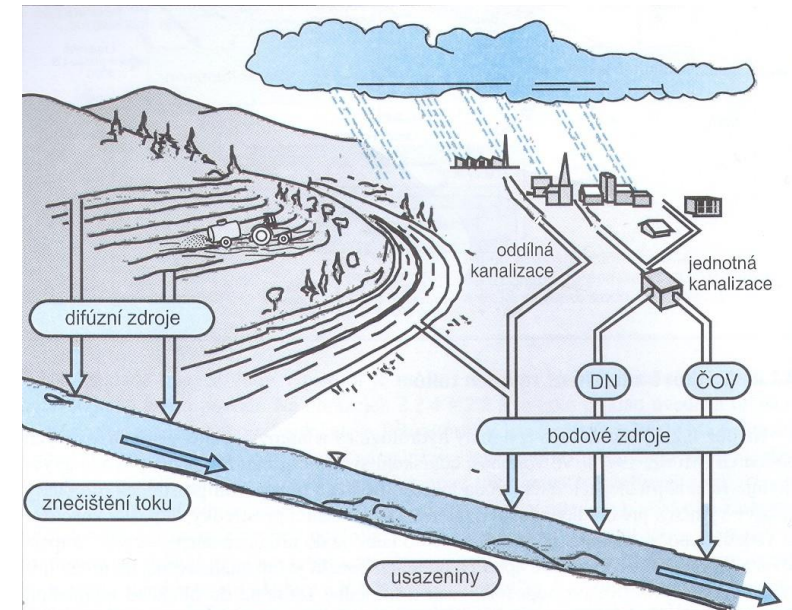
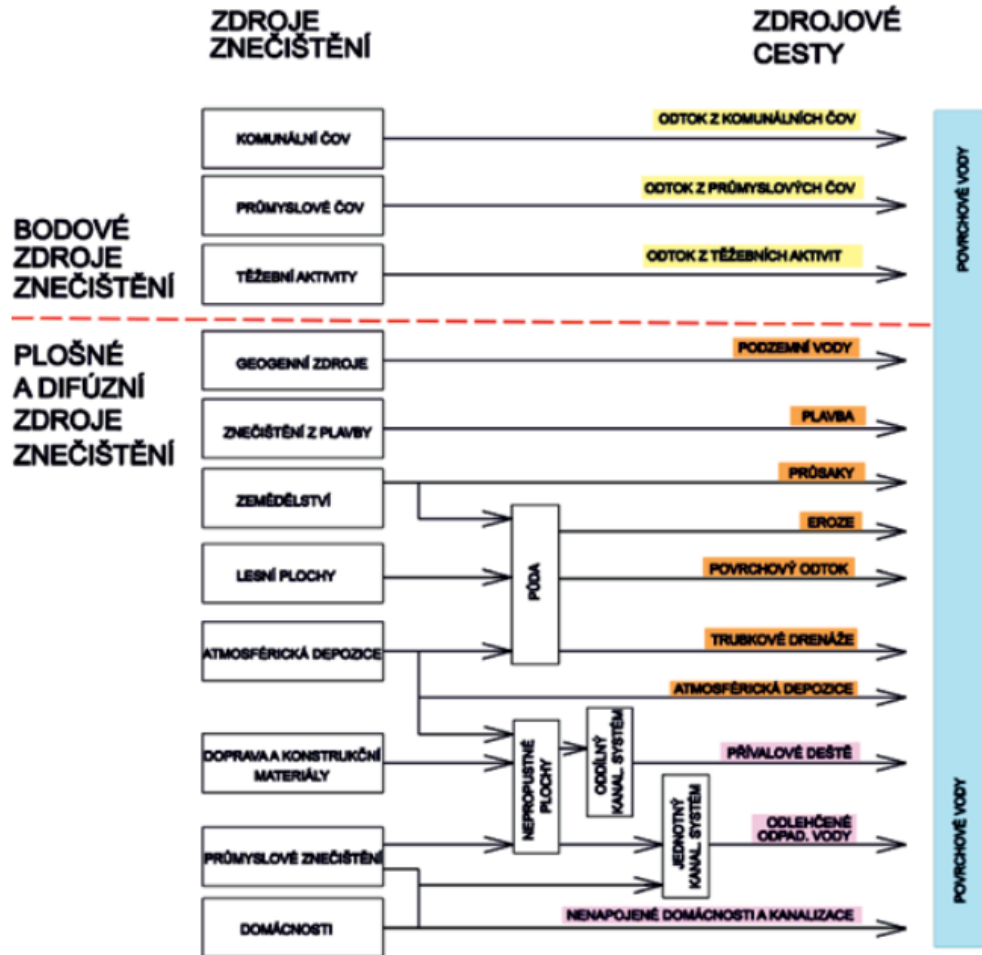
Windows taskbar: Start, Doručená pošta - Mic..., Total Commander 6.0..., Microsoft PowerPoint..., MOUSE, 6025SQL Server: MOU..., CS, 10:41

# Určení množství odpadních vod (srážkové vody)

- 15 min. blokový déšť
- 171 l/s.ha
- Srážková výška 15,4 mm
- Celkový objem deště na elementárním povodí D\_O233 76 m<sup>3</sup>

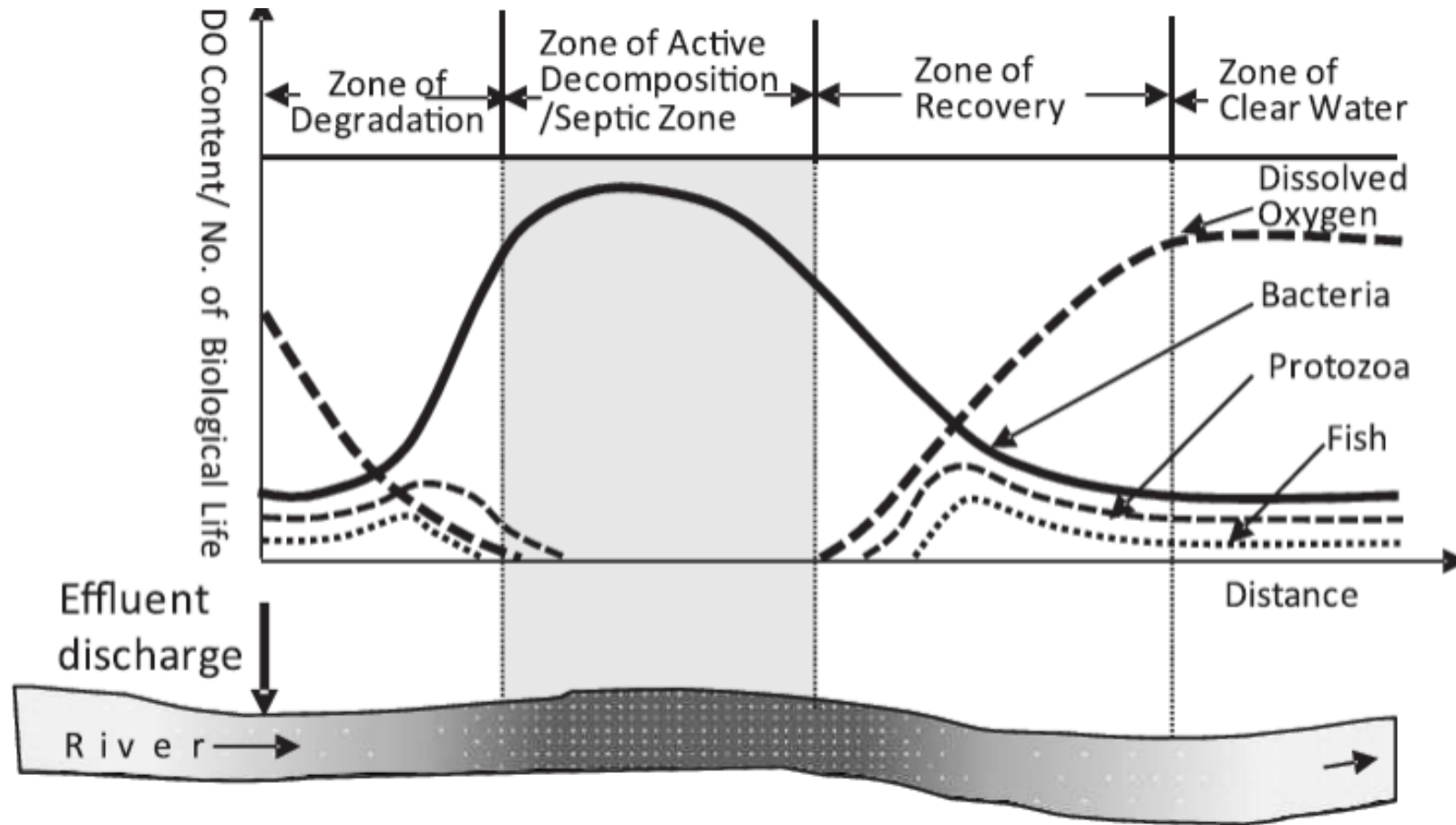


# Zdroje znečištění





# Zdroje znečištění





# Znečišťující látky v odpadních vodách

## **Splaškové odpadní vody**

- zastoupena široká škála znečišťujících látek

## **Průmyslové odpadní vody**

- může být dominance určité skupiny znečišťujících látek

## **Srážkové vody**

- znečišťující látky atmosférická depozice + povrchy

# Znečišťující látky v odpadních vodách

Pollutant	Main representative parameters	Source				Possible effect of the pollutant
		Wastewater		Stormwater		
		Domestic	Industrial	Urban	Agricultural and pasture	
<i>Suspended solids</i>	Total suspended solids	XXX	↔	XX	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aesthetic problems</li> <li>• Sludge deposits</li> <li>• Pollutants adsorption</li> <li>• Protection of pathogens</li> </ul>
<i>Biodegradable organic matter</i>	Biochemical oxygen demand	XXX	↔	XX	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxygen consumption</li> <li>• Death of fish</li> <li>• Septic conditions</li> </ul>
<i>Nutrients</i>	Nitrogen Phosphorus	XXX	↔	XX	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excessive algae growth</li> <li>• Toxicity to fish (ammonia)</li> <li>• Illnesses in new-born infants (nitrate)</li> <li>• Pollution of groundwater</li> </ul>
<i>Pathogens</i>	Coliforms	XXX	↔	XX	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Water-borne diseases</li> </ul>
<i>Non-biodegradable organic matter</i>	Pesticides Some detergents Others	X	↔	X	XX	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxicity (various)</li> <li>• Foam (detergents)</li> <li>• Reduction of oxygen transfer (detergents)</li> <li>• Non-biodegradability</li> <li>• Bad odours (e.g.: phenols)</li> </ul>
<i>Metals</i>	Specific elements (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc.)	X	↔	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxicity</li> <li>• Inhibition of biological sewage treatment</li> <li>• Problems in agriculture use of sludge</li> <li>• Contamination of groundwater</li> </ul>
<i>Inorganic dissolved solids</i>	Total dissolved solids Conductivity	XX	↔		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excessive salinity – harm to plantations (irrigation)</li> <li>• Toxicity to plants (some ions)</li> <li>• Problems with soil permeability (sodium)</li> </ul>

x: *small*    xx: *medium*    xxx: *high*    ↔: *variable*    empty: *usually not important*

# Složení splaškových odpadních vod

## *Feces*

Fecal wet weight (g/cap/day)	128
Fecal dry weight (g/cap/day)	29
Stool frequency (motions/24 hr)	1.1
Total solids (%)	25
VS (% of TS)	89
COD (g/cap/day)	71
Nitrogen (g/cap/day)	1.8
Protein (g/cap/day)	6.3
Lipids (g/cap/day)	4.1
Carbohydrate (g/cap/day)	9
Fiber (g/cap/day)	6
Calorific value (kcal/cap/day)	132
pH	6.6

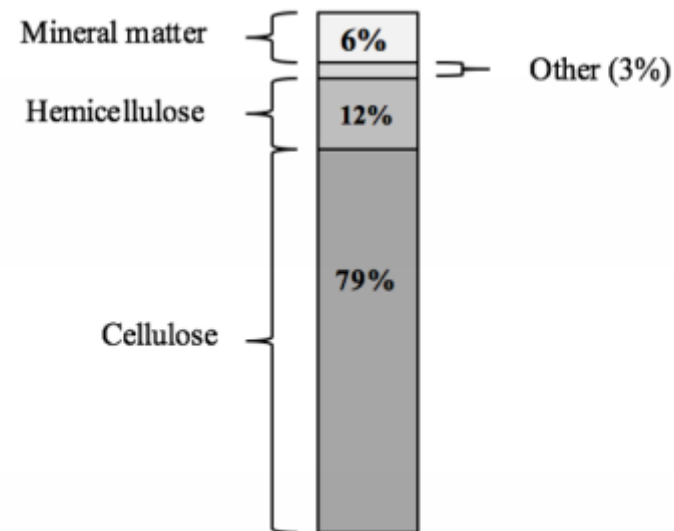


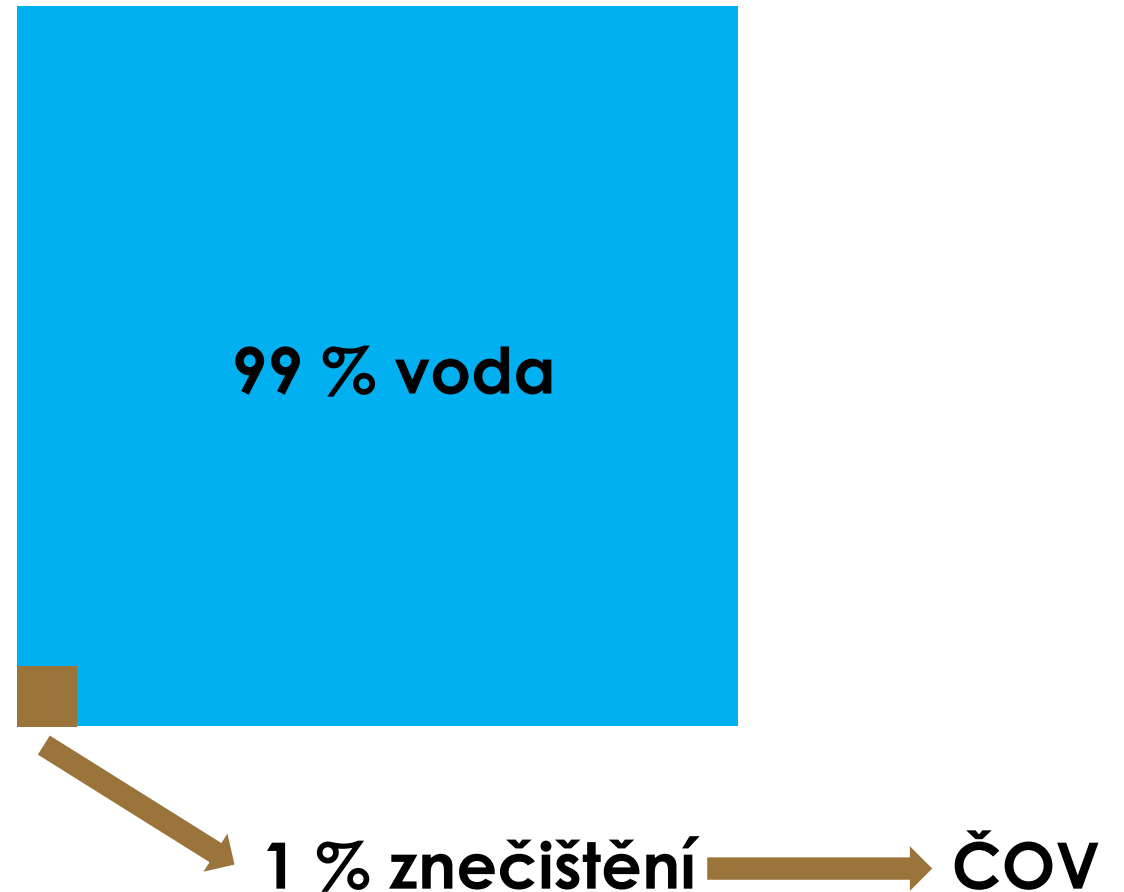
Figure 20: Composition of toilet paper (assessed in our laboratory)

<b>toaletní papír, g na osobu za den</b>	11,68–19,4
tampony a vložky, g na osobu za den	34

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Popisovány :

- fyzikálními vlastnostmi
- chemickými vlastnostmi
- biologickými vlastnostmi



# Znečišťující látky v odpadní vodě

## fyzikální parametry

### teplota

- vyšší než teplota pitné vody
- mění se v průběhu roku
- ovlivňuje mikrobiální aktivitu
- ovlivňuje rozpustnost plynů
- ovlivňuje viskozitu kapalin

### barva

- šedohnědá – obvyklá
- tmavě šedá až černá – neobvyklá

### zápach

- směs pachů, nepříjemné – subjektivní !!
- sirovodík, amoniak – neobvyklý
- průmyslové vody mají specifický zápach / vůni

### zákal

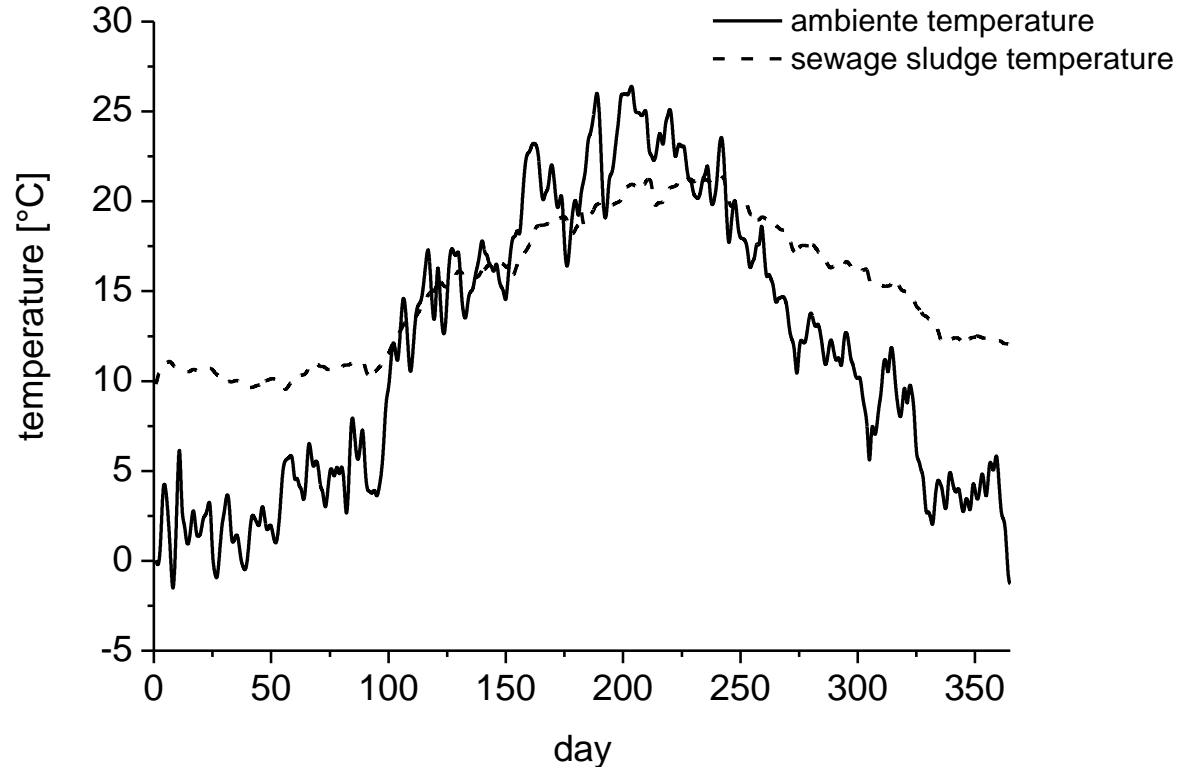
- obsah nerozpuštěných látek
- vyšší zákal = vyšší zatížení nerozpuštěnými látkami



# Znečišťující látky v odpadní vodě

## fyzikální parametry - teplota

ČOV 5000 EO, 2013-2016



zdroj: Vítězová et al, Temperature and De-icing Salt, Effect on the Activated Sludge



# Znečišťující látky v odpadní vodě

fyzikální parametry - barva / zákal



foto: Vítěz, kanalizace Brno



# Znečišťující látky v odpadní vodě

## fyzikální parametry - zápach

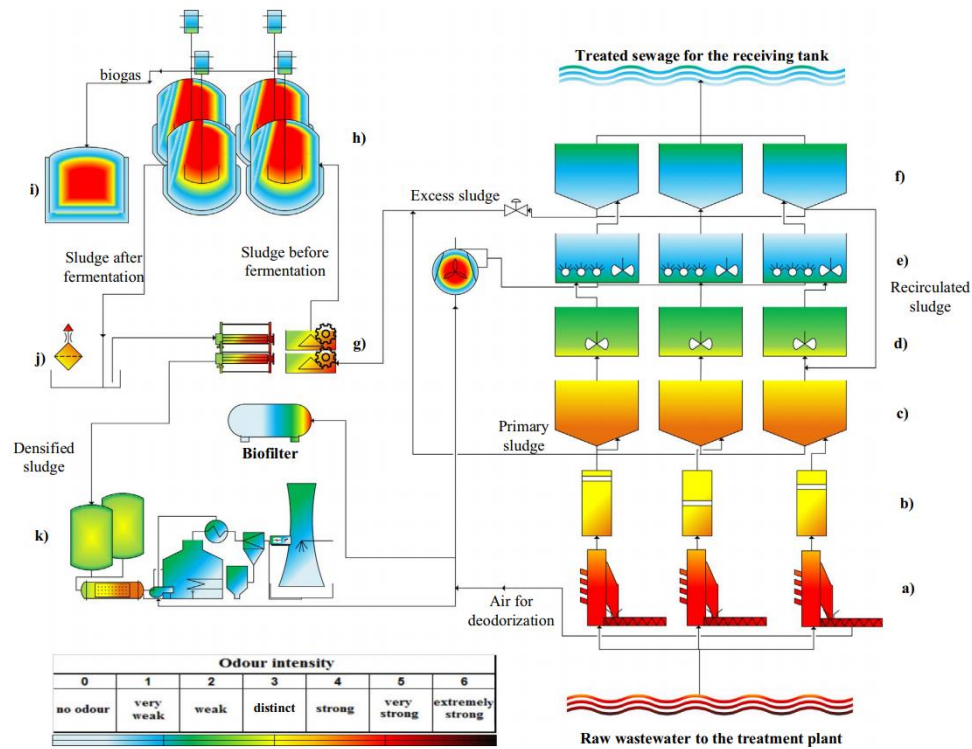
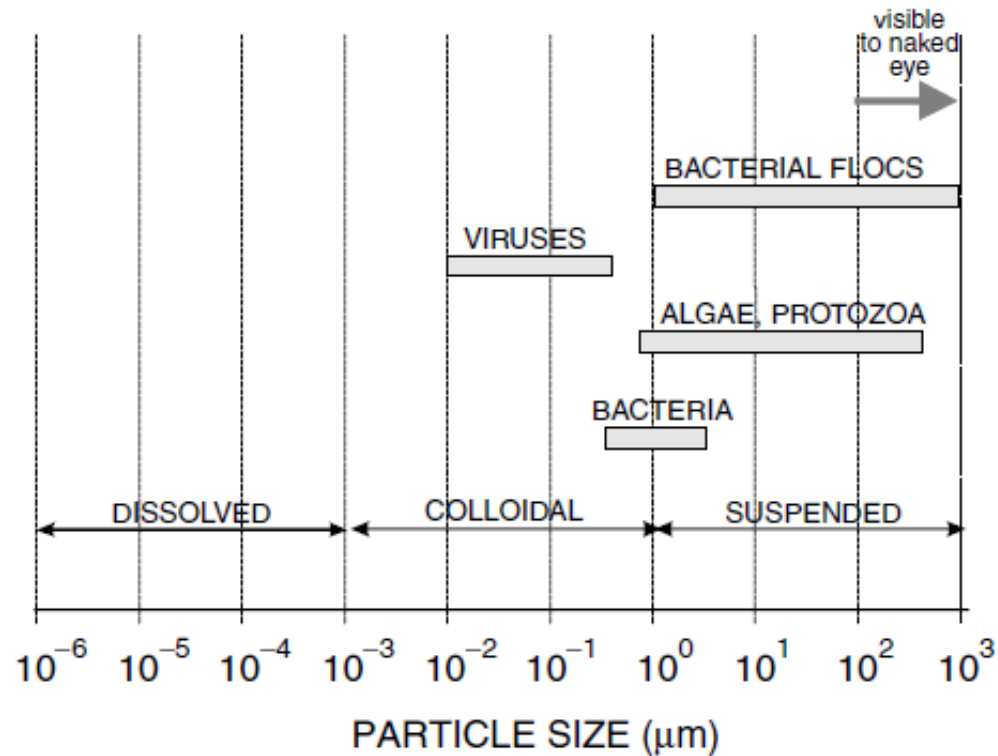


Fig. 1. A diagram of process installations in the model wastewater treatment plant and characteristics of odour emissions at every municipal wastewater treatment stage: a) grills, b) sludge separator, c) initial settling tanks, d) anaerobic biological reactors, e) aerated biological reactors, f) secondary settling tanks, g) sludge densification and dehydration station, h) closed fermentation chambers, i) biogas tank, j) sludge degasification station, k) thermal sludge and screenings processing station (Doshi et al., 2005) (EN 13725, 2003).

# Znečišťující látky v odpadní vodě

fyzikální parametry – klasifikace podle velikosti částic

DISTRIBUTION OF SOLIDS BY SIZE



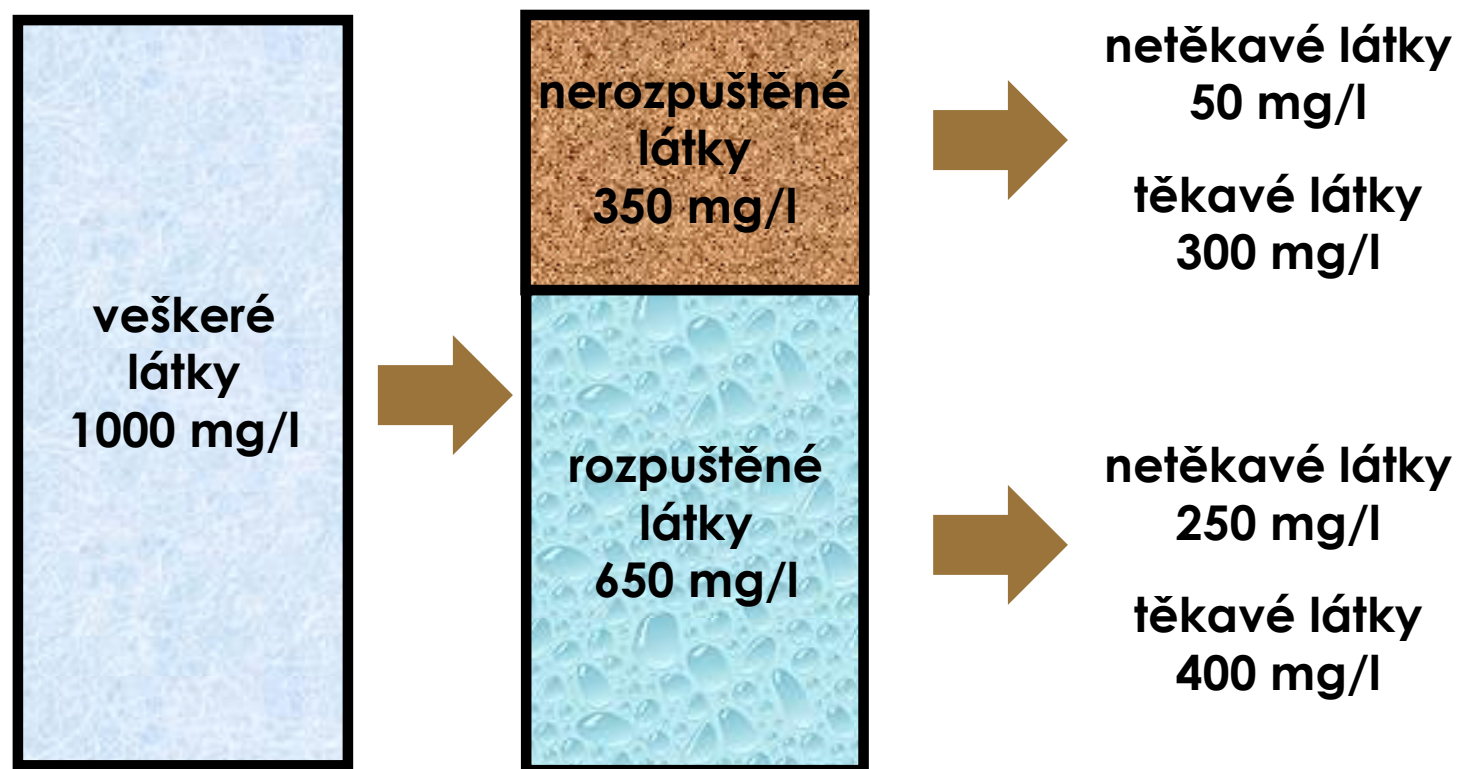
# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – veškeré látky

<b>ROZPUŠTĚNÉ</b>	organické	biologicky rozložitelné
		biologicky nerozložitelné
	anorganické	
<b>NEROZPUŠTĚNÉ</b>	organické	biologicky rozložitelné
		biologicky nerozložitelné
		usaditelné
		neusaditelné
	anorganické	usaditelné
		neusaditelné

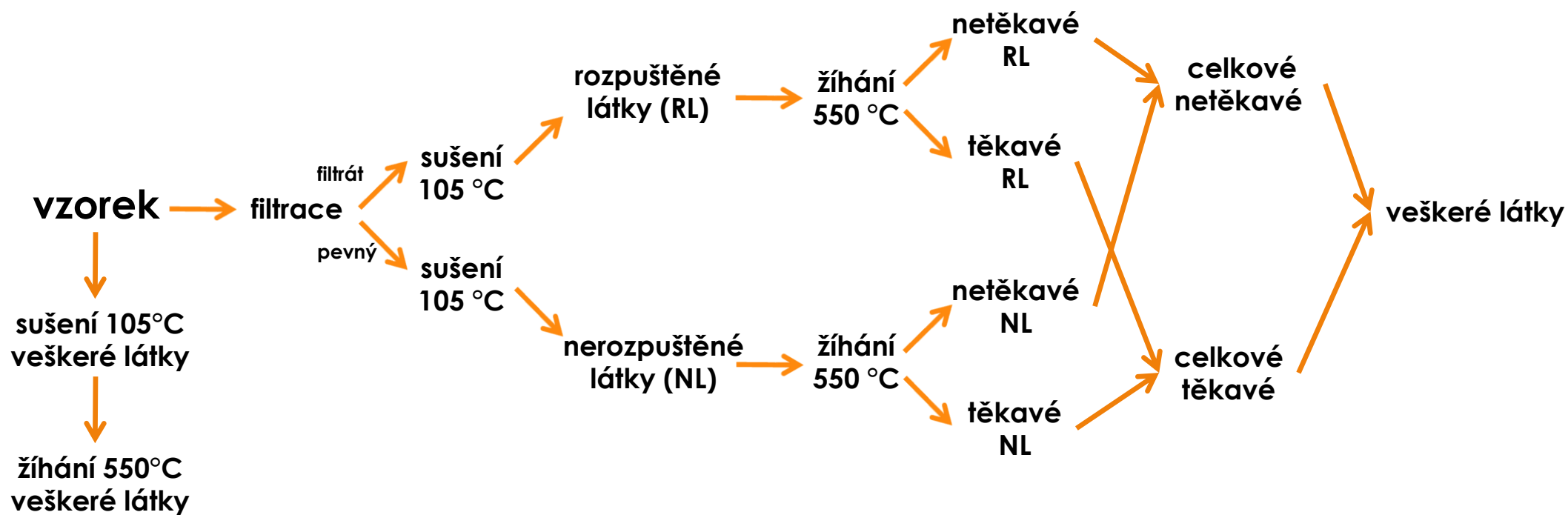
# Znečišťující látky v odpadní vodě

chemické parametry – distribuce látek v odpadní vodě



# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – veškeré látky

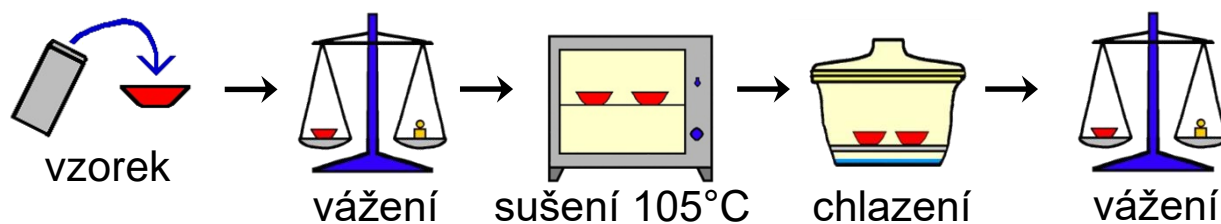


# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – veškeré látky (Total Solids)

### Gravimetrické stanovení veškerých látek (VL):

- nefiltrovaný homogenizovaný vzorek sušíme při teplotě 105 °C
- dochází nutně k vytěkání těkavých organických látek, které při tomto stanovení nejsou detekovány. Touto chybou jsou zatíženy všechny metody založené na sušení vzorku (VL, VL<sub>org</sub>, TOC a pod.).



$$VL_{105} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} [g \cdot dm^3]$$

$m_1$  - hmotnost porcelánového kelímku [g]

$m_2$  - hmotnost porcelánového kelímku s odparem [g]

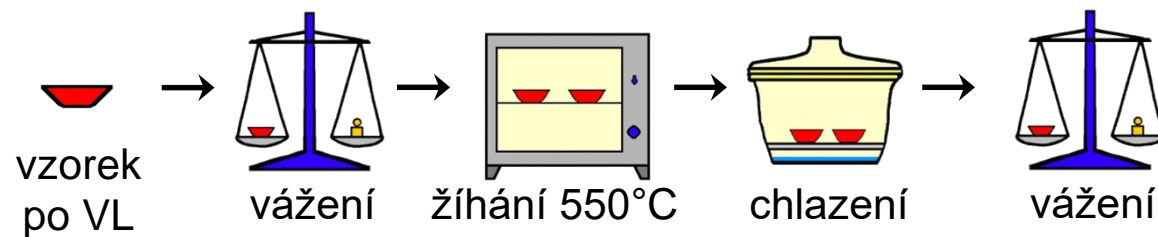
$V_0$  - objem vzorku použitý pro stanovení [dm<sup>3</sup>]

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – veškeré látky (Total Solids)

### Stanovení ztráty žiháním (ZŽ):

- zbytek po stanovení veškerých látek žiháme v peci při 550 °C do konstantní hmotnosti
- informace o obsahu organických / anorganických látek



$$ZŽ = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 [\%]$$

$m_1$  - hmotnost prázdného vysušeného kelímku [g]

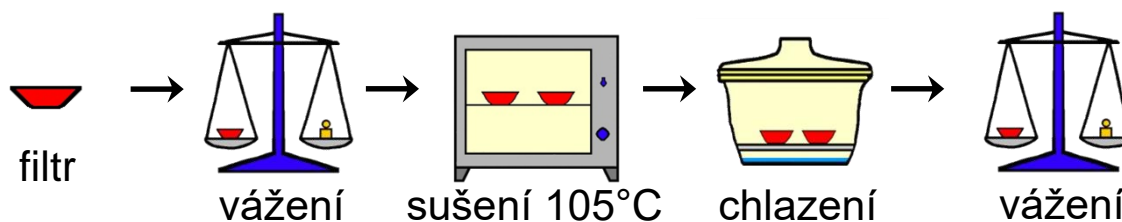
$m_2$  - hmotnost porcelánového kelímku s odparkem [g]

$m_3$  - hmotnost porcelánového kelímku se zbytkem po žihání [g]

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – nerozpuštěné látky (NL)

- více než dvě třetiny nerozpuštěných látek jsou tvořeny látkami organickými,
- provádí se filtrací přes filtr ze skleněných vláken, póry 0,12 μm – 4,0 μm,
- filtr následně sušíme při 105 °C do konstantní hmotnosti a vážíme.



$$NL_{105} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} [g \cdot dm^3]$$

$m_1$  - hmotnost filtru [g]

$m_2$  - hmotnost filtru s nerozpuštěnými látkami po vysušení [g]

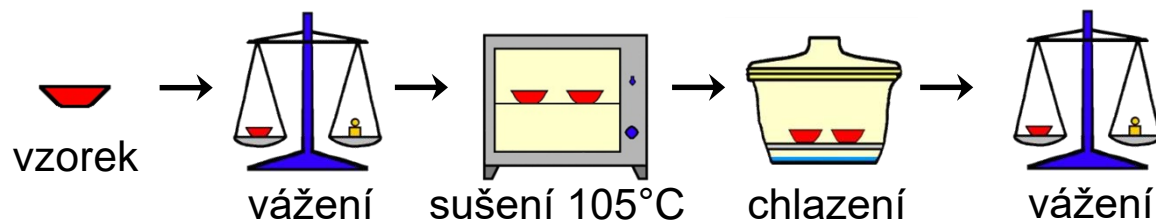
$V_0$  - objem vzorku použitý pro stanovení [dm<sup>3</sup>]



# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – rozpuštěné látky (RL)

- supernatant odpařujeme do konstantní hmotnosti při 105 °C.
- nedochází k úplné dehydrataci např. :  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ...
- dochází k rozkladu hydrogenuhličitanů  $2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  úbytek hmotnosti



$$RL_{105} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \left[ g \cdot dm^3 \right]$$

$m_1$  - hmotnost prázdného vysušeného kelímku [g]

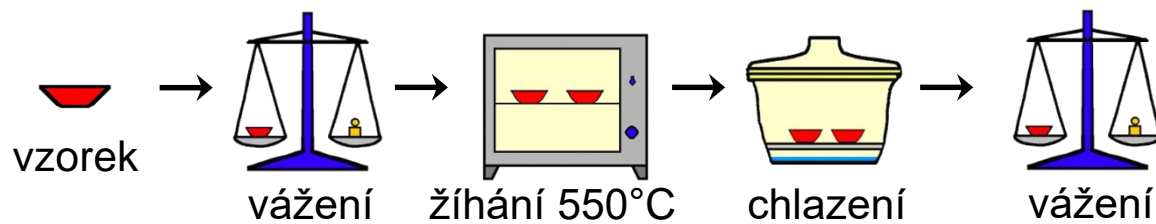
$m_2$  - hmotnost kelímku s odparem [g]

$V_0$  - objem vzorku použitý pro stanovení [ $dm^3$ ]

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – rozpuštěné látky (RL)

- odparek žiháme do konstantní hmotnosti při 550 °C (RL 550)
- předpokládá se odpaření všech organických látek
- dochází k sublimaci amonných solí, úbytek hmotnosti = špatně stanoven RAS



$$RL_{550} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} 100 [\%]$$

$m_1$  - hmotnost prázdného vysušeného kelímku [g]

$m_2$  - hmotnost porcelánového kelímku s odparkem [g]

$m_3$  - hmotnost porcelánového kelímku se zbytkem po žihání [g]

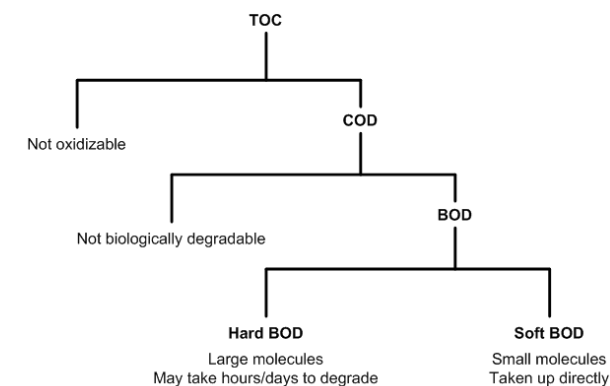
# Znečišťující látky v odpadní vodě

## chemické parametry – organické látky (Organic Matter)

Hlavní komponenty – proteiny, polysacharidy a lipidy

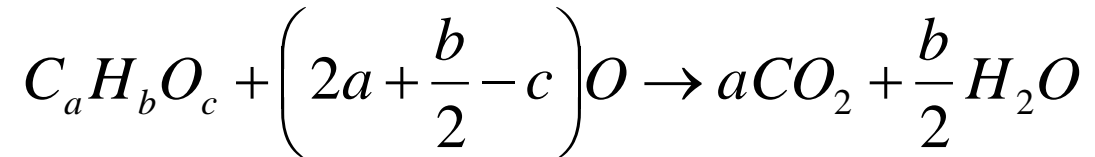
látka	jednotka	obsah v odpadní vodě
proteiny	[%]	40-60
polysacharidy	[%]	25-50
lipidy	[%]	do 10

<b>NEPŘÍMÉ STANOVENÍ</b>	<b>TSK</b>	teoretická spotřeba kyslíku
	<b>BSK</b>	biologická spotřeba kyslíku
	<b>CHSK</b>	chemická spotřeba kyslíku
<b>PŘÍMÉ STANOVENÍ</b>	<b>TOC</b>	celkový organický uhlík



# Teoretická spotřeba kyslíku

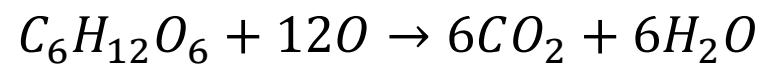
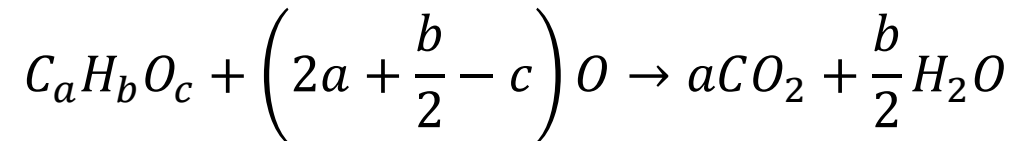
- vyjadřuje se jako množství kyslíku [g] potřebného na úplnou oxidaci 1g dané látky.



$$TSK = \frac{8 \cdot (4 \cdot a + b - 2 \cdot c)}{M_r} [g O_2 \text{ na } 1g \text{ látky}]$$

# Teoretická spotřeba kyslíku

- příklad glukóza



$$TSK = \frac{8 \cdot (4 \cdot a + b - 2 \cdot c)}{M_r} = \frac{8 \cdot (4 \cdot 6 + 12 - 2 \cdot 6)}{180,18} = 1,06 \text{ g } O_2/\text{g}C_6H_{12}O_6$$

# Biologická spotřeba kyslíku

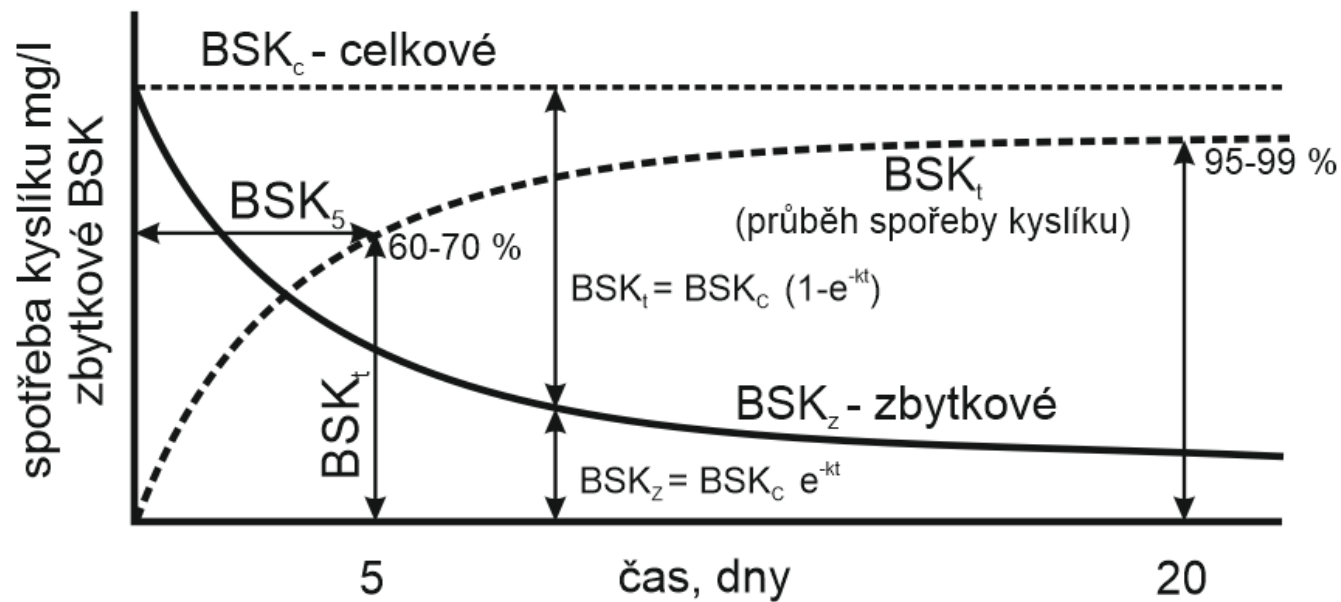
**Množství kyslíku** spotřebovaného **mikroorganismy** pro rozklad organických látek za aerobních podmínek

**Oxidace** nově vzniklých **zásobních látek** probíhá cca 20 dní (tato doba je pro praktické využití příliš dlouhá používá se 5 denní inkubace – BSK<sub>5</sub>).



# Biologická spotřeba kyslíku

## Průběh BSK – kinetická rovnice 1. řádu



$BSK_t$  BSK v čase  $t$   
 $BSK_c$  celkové  $BSK_c$   
 $k$  rychlostní konstanta

Kinetická rovnice 1. řádu  $r = k \cdot BSK_z$   
Kinetická rovnice 1. řádu  $d \cdot BSK_z / dt = k \cdot BSK_z$

Integrací pro počáteční podmínky  $t = 0$ ,  $BSK_t = 0$   
 $BSK_z = BSK_c (1 - e^{-kt})$

$$BSK_t = BSK_c - BSK_z$$

# Biologická spotřeba kyslíku

## Příklad:

$BSK_5 = 300 \text{ mg/l}$ ,  $t = 5 \text{ dnů}$ ,  $k = 0,4 \text{ za den}$

$BSK_c = ??? \text{ mg/l}$

$$BSK_t = BSK_c \cdot (1 - e^{-kt}) \Rightarrow$$

$$BSK_c = \frac{BSK_5}{(1 - e^{-kt})} = \frac{300}{1 - e^{-0,4 \cdot 5}} = 347 \text{ mg/l}$$

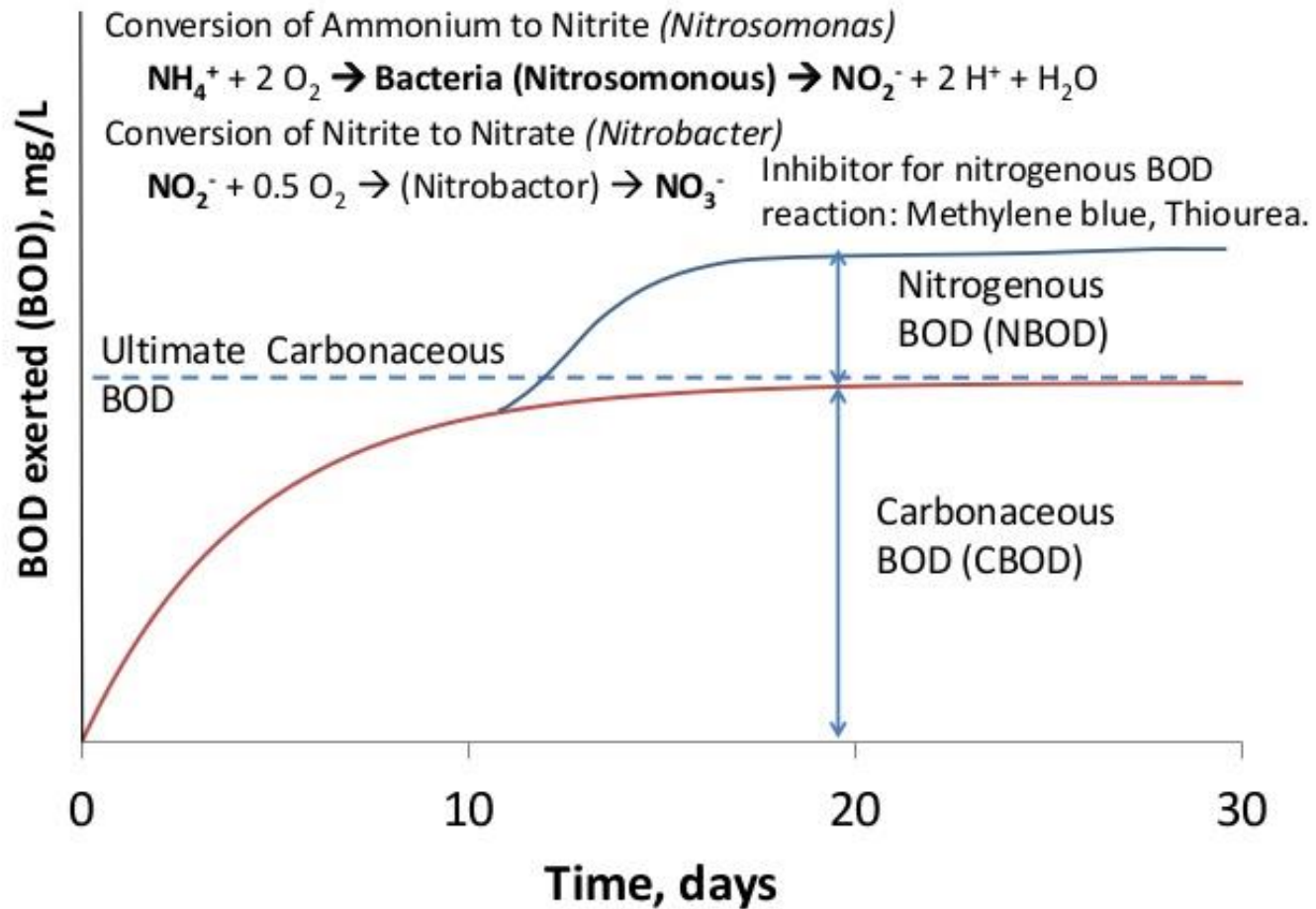
## Typický rozsah $BSK_c/BSK_5$

Origin	$BOD_u/BOD_5$
High concentration sewage	1.1–1.5
Low concentration sewage	1.2–1.6
Primary effluent	1.2–1.6
Secondary effluent	1.5–3.0

zdroj : Arceivala (1981)

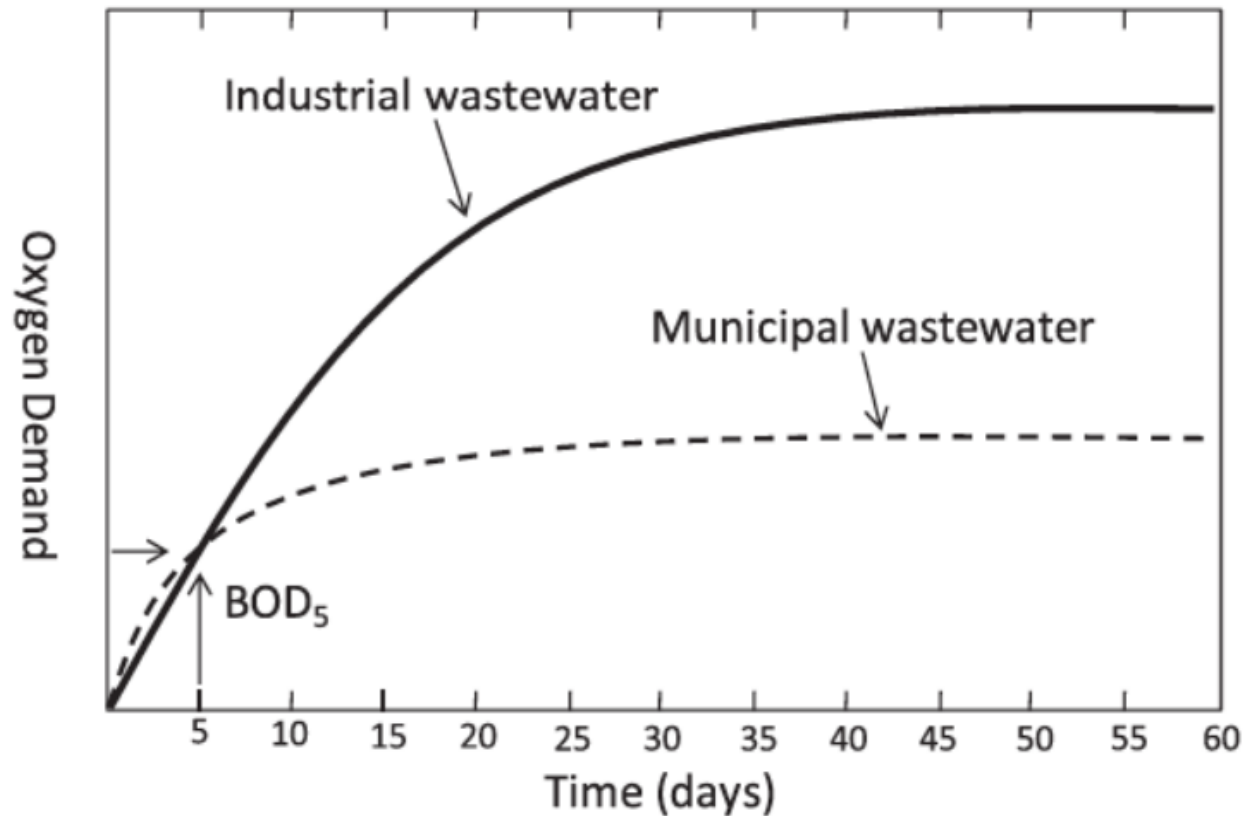


# Biologická spotřeba kyslíku



# Biologická spotřeba kyslíku

## Porovnání průběhu BSK, průmyslové x splaškové OV



# Biologická spotřeba kyslíku

## **Metody stanovení**

- Volumetrická (titrační) metoda
- Respirometrická metoda
- Elektrochemická metoda
- Spektrofotometrická metoda



# Biologická spotřeba kyslíku

## Metody stanovení - volumetrická (titrační) metoda

- jodometrická metoda (Winklerova), nepřímé stanovení
- pro koncentrace  $O_2$  0,2 – 20 mg/l,
- inkubace 5 dnů, teplota  $20 \pm 1^\circ C$ , tma,

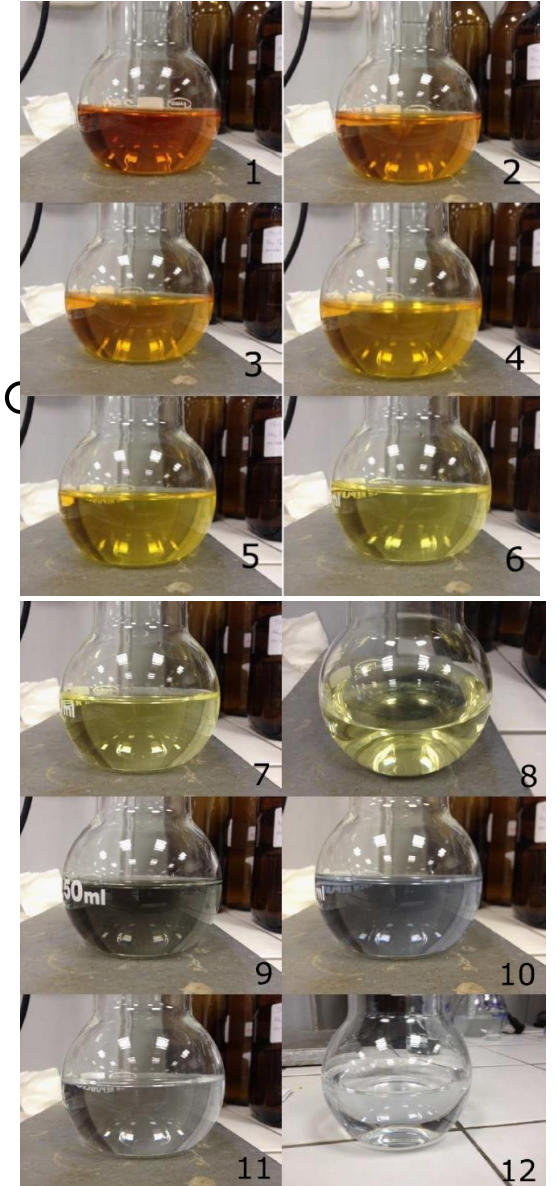
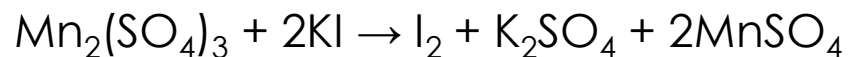
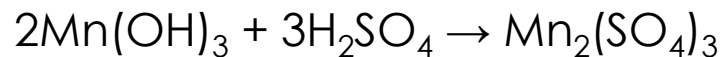
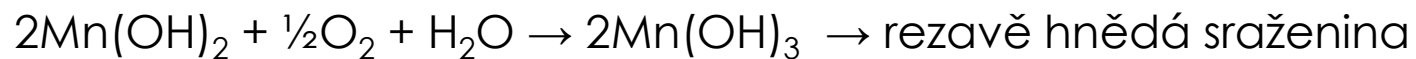
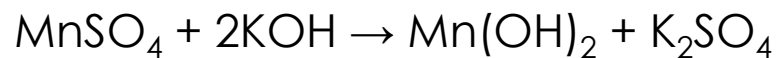


foto: Vítěz

# Biologická spotřeba kyslíku

## Metody stanovení – respirometrická metoda

- měření podtlaku v uzavřeném systému,
- mikroorganismy, které se nacházejí ve vzorku, spotřebují kyslík a produkují  $\text{CO}_2$ ,
- $\text{CO}_2$  je absorbován NaOH. Vzniklý podtlak, přímou měří koncentraci BSK v mg/l,
- inkubace 5 dnů, teplota  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , tma.



foto: Vítěz

# Biologická spotřeba kyslíku

## Elektrochemická metoda

Rozpuštěný kyslík  
10 mg/l



den = 0

Rozpuštěný kyslík  
5 mg/l

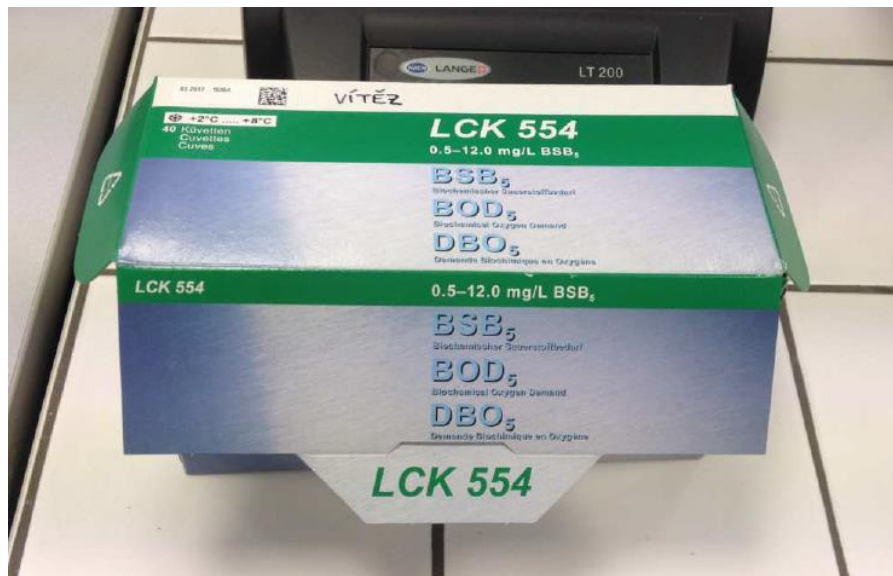


den = 5

$$BSK_5 = 10 - 5 = 5 \text{ mg/l}$$

# Biologická spotřeba kyslíku

## Spektrofotometrická metoda



# Biologická spotřeba kyslíku

## Limitace metody

- přítomnost těžkých kovů,
- nutno inhibovat nitrifikanty,
- $BSK_{celk} / BSK_5$  se mění v odpadní vodě a to i v rámci průtoku ČOV,
- analýza trvá 5 dnů, jeho použití pro řízení procesu ???,
  
- **základní návrhový parametr**
- **základní odtokový parametr vyčištěné vody**

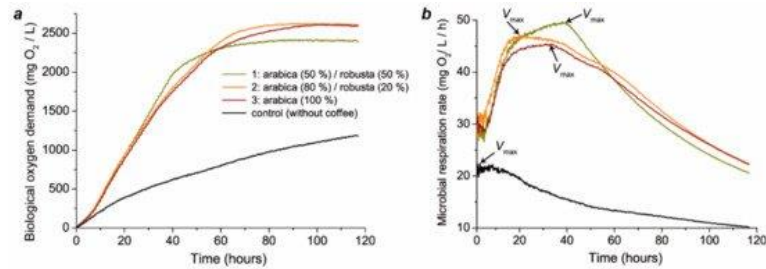


# Biologická spotřeba kyslíku

Open Access Article

## The Possibility of Using Spent Coffee Grounds to Improve Wastewater Treatment Due to Respiration Activity of Microorganisms

by Monika Vítězová<sup>1</sup>, Simona Jančíková<sup>2</sup>, Dani Dordević<sup>2</sup>, Tomáš Vítěz<sup>1,3</sup>, Jakub Elbl<sup>4,5</sup>, Nikola Hanišáková<sup>1</sup>, Josef Jampílek<sup>6</sup> and Ivan Kushkevych<sup>1,\*</sup>



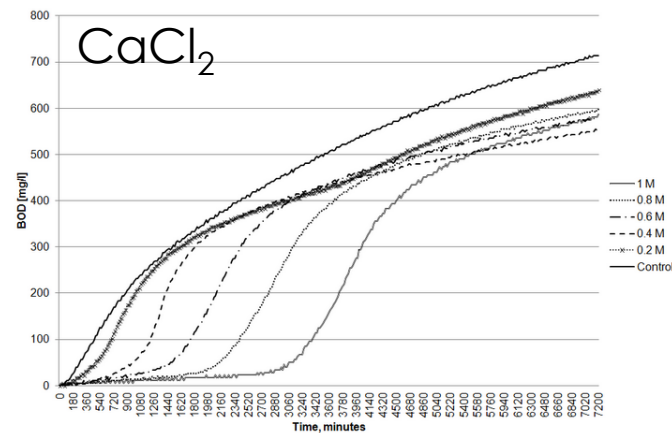
SpringerLink

Published: 26 October 2016

## Effects of De-icing Salts on the Respiration of the Microorganisms of Activated Sludge

Monika Vítězová, Tomáš Vítěz & Nuttakan Nitayapatt

Water, Air, & Soil Pollution 227, Article number: 416 (2016) | Cite this article



Open Access Feature Paper Article

## Activated Sludge Respiration Activity Inhibition Caused by Mobile Toilet Chemicals

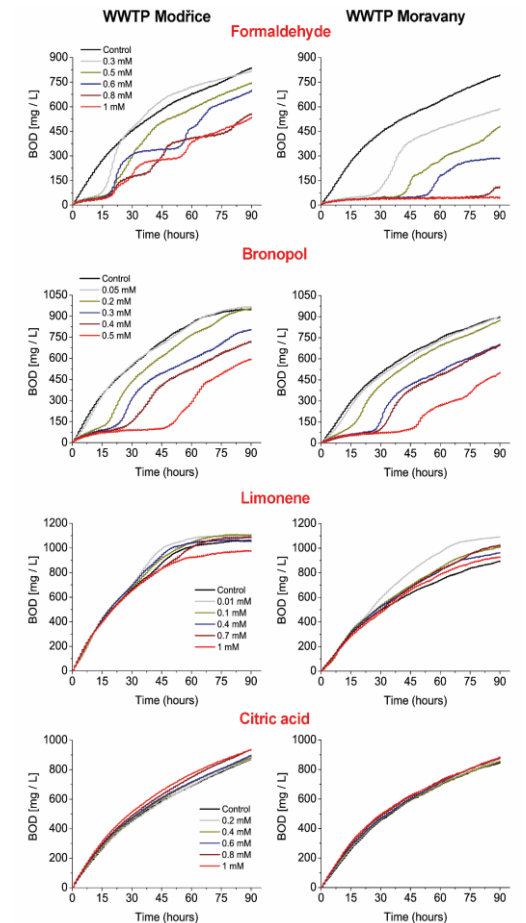
by Tomáš Vítěz<sup>1,2</sup>, Monika Vítězová<sup>1,\*</sup>, Markéta Nováčková<sup>1</sup> and Ivan Kushkevych<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Experimental Biology, Faculty of Science, Masaryk University, 62500 Brno, Czech Republic

<sup>2</sup> Department of Agricultural, Food and Environmental Engineering, Faculty of AgriSciences, Mendel University in Brno, 61300 Brno, Czech Republic

\* Authors to whom correspondence should be addressed.

Processes 2020, 8(5), 598; <https://doi.org/10.3390/pr8050598>



# Chemická spotřeba kyslíku

- znečištění organickými a oxidovatelnými anorganickými látkami,
- vyjadřuje ekvivalentní množství kyslíku, odpovídající spotřebě oxidačního činidla,

**CHSK (Cr)** .. dichromanu draselného  $K_2Cr_2O_7$

**CHSK (Mn)** .. manganistanu draselného  $KMnO_4$

- jeden mol dichromanu spotřebovaného při titraci odpovídá 1,5 molu kyslíku v podobě  $O_2$ ,
- hodnoty CHSK se udávají v jednotkách mg/l,
- organické látky jsou oxidovány do různého stupně, většina z 90 %.

# Chemická spotřeba kyslíku

nepřímá titrace s mineralizací vzorku (ČSN ISO 6060)

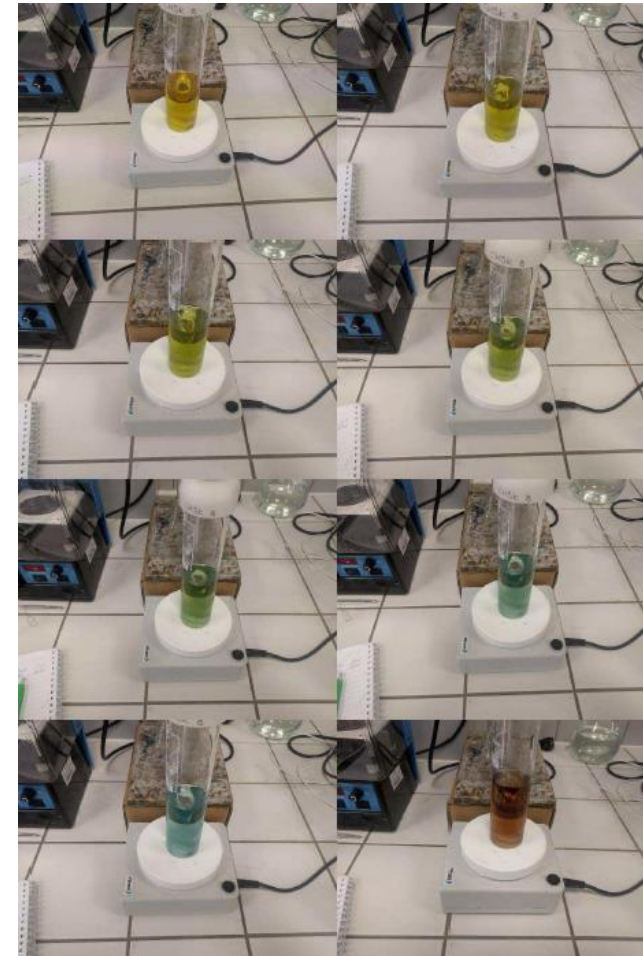
- volumetrická kvantitativní metoda
- přesná v rozmezí výsledků od  $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  do  $700 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,

## Princip

- oxidace látek  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $148 \text{ }^\circ\text{C}$ , po dobu 2 hodin,
- v prostředí  $\text{HgSO}_4$ ,  $\text{AgSO}_4$  a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,
- titrace nezreagovaného množství  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
na ferroin  $\rightarrow \text{CHSK}_{\text{Cr}} [\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}]$

# Chemická spotřeba kyslíku

nepřímá titrace s mineralizací vzorku (ČSN ISO 6060)



# Chemická spotřeba kyslíku spektrofotometricky (ČSN ISO 15705)

- měřitelné až do  $1000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,

## Princip

- oxidace látek  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $148^\circ\text{C}$ , po dobu 2 hodin,
- v prostředí  $\text{HgSO}_4$ ,  $\text{AgSO}_4$  a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,
- absorbance vzniklého  $\text{Cr}^{\text{III}+}$  při vlnové délce  $600 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ .



foto: Vítěz

# Poměr CHSK:BSK<sub>5</sub>

- pro splaškové odpadní vody typicky 1,7 – 2,4
- pro průmyslové odpadní vody široký interval

## nízký poměr CHSK:BSK<sub>5</sub> (< 3,0)

- vysoký obsah biologicky rozložitelných látek,
- vody schopny biologického čištění

## vysoký poměr CHSK:BSK<sub>5</sub> (> 3,5)

- vysoký obsah anorganických látek
- vody možno čistit fyzikálně/chemicky



# Celkový organický uhlík (TOC)

- přímé stanovení obsahu organického uhlíku, mg/l,
- termická nebo chemická oxidace organického uhlíku na oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ),
- oxid uhličitý se poté detekuje a jeho obsah se kvantitativně vyhodnotí.

## Používají se dvě metody:

- vytěšňovací metoda,
- diferenční metoda.

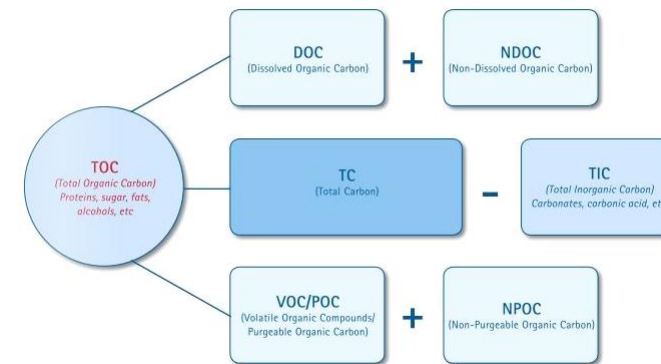


schéma: HACH LANGE

# Celkový organický uhlík (TOC)

## Vytěšňovací metoda

- jedno měření po úplném odstranění (TIC) ze vzorku (okyselení + vytěsnění).

Metoda je vhodná pro vzorky

- s obsahem TIC výrazně převyšujícím obsah TOC,
- s velmi nízkým obsahem TIC,
- s nízkým obsahem TOC.



# Celkový organický uhlík (TOC)

## **Metoda diferenční**

- dvě měření, stanovení (TC) a (TIC).
- $TOC = TC - TIC$ .

Metoda je vhodná pro vzorky

- s obsahem těkavých organických sloučenin VOC,
- kde se obsah TOC = obsahu TIC nebo je vyšší než TIC.

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Chemické parametry – celkový dusík (Total Nitrogen)

### Organický dusík

- proteiny, aminokyseliny, moč

### Amoniový dusík

- produkt metabolismu  $N_{org}$

### Dusitany

- meziproduct oxidace amoniového dusíku  
téměř se nevyskytuje na přítoku do ČOV

### Dusičnany

- konečný produkt oxidace amoniového dusíku. Na přítoku se téměř nevyskytuje

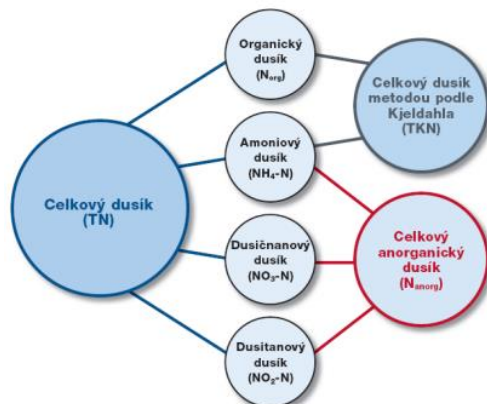
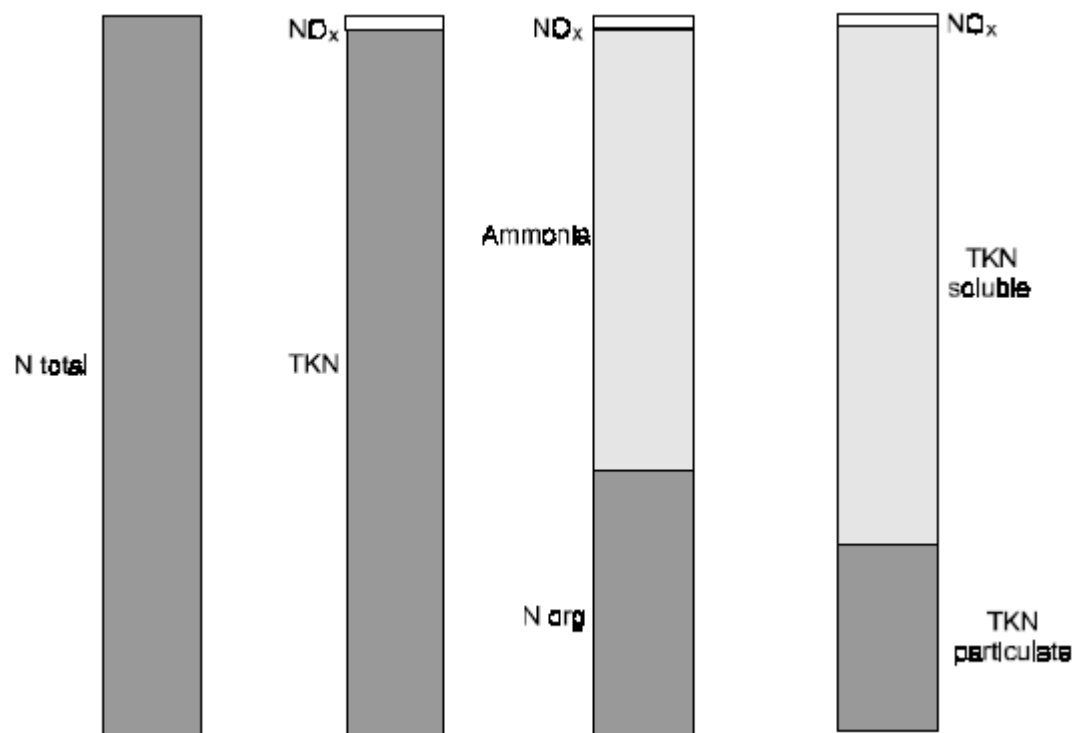


schéma: Hach Lange

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Obsah forem dusíku v surové odpadní vodě



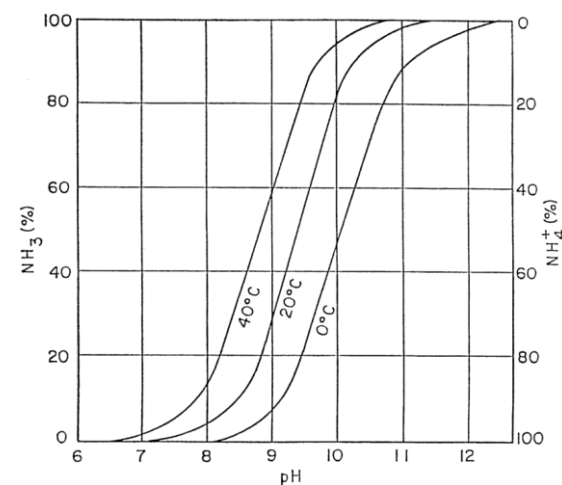
obrázek: IAWQ, 1995

Ve vodě se vyskytuje amoniak ve formě:  
 $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{NH}_4^+$

pH < 8  $\text{NH}_4^+$

pH = 9,5 50 %  $\text{NH}_3$  a 50 %  $\text{NH}_4^+$

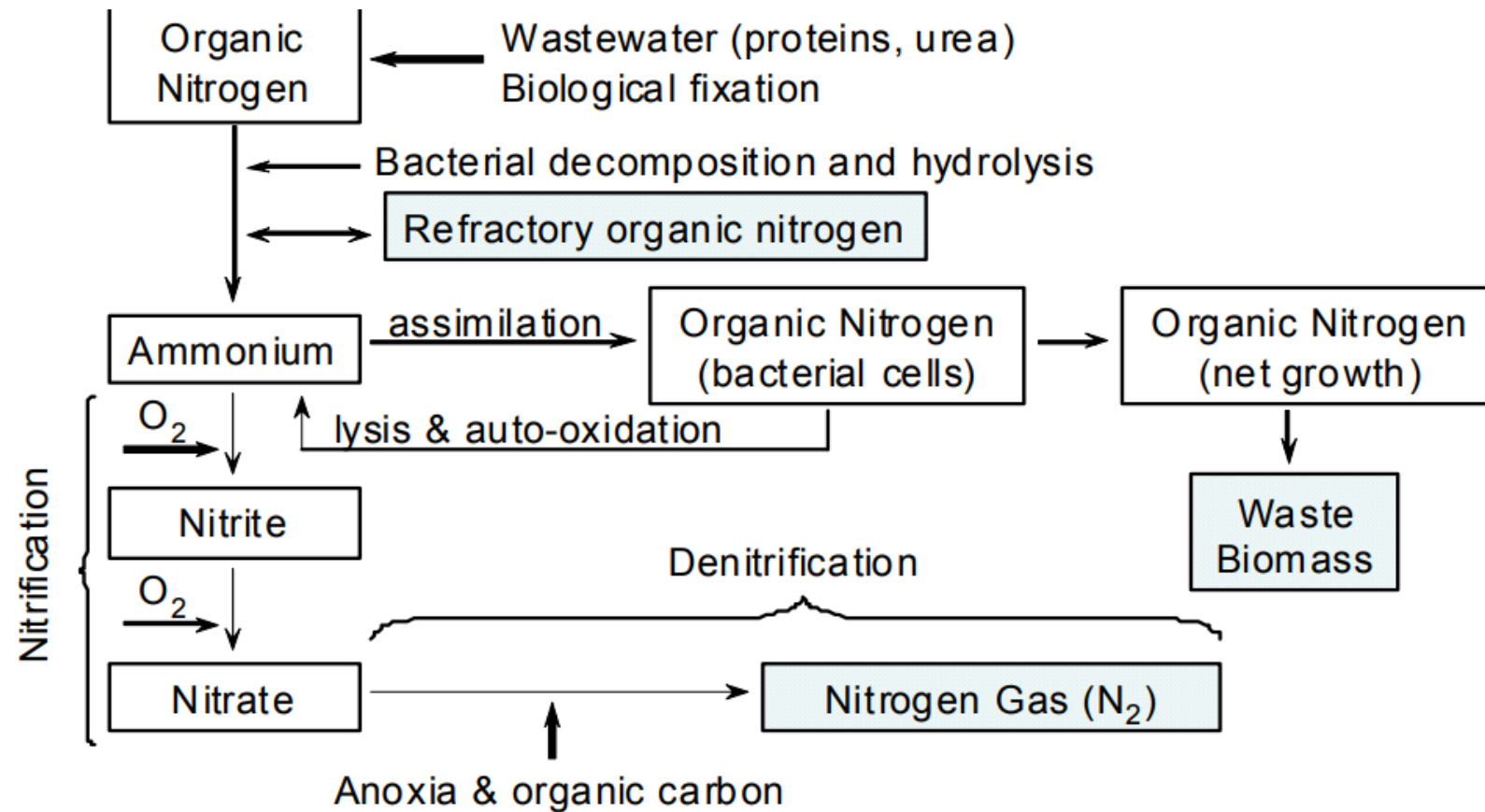
pH > 11  $\text{NH}_3$



obrázek: Huang, 2007

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Chemické parametry – celkový dusík (Total Nitrogen)

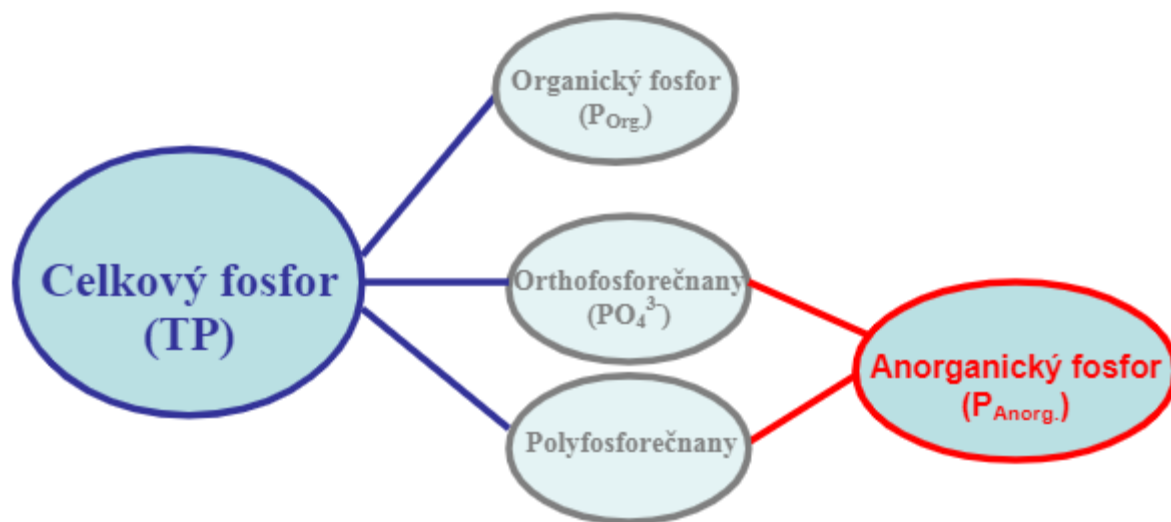


# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Chemické parametry – celkový fosfor (Total Phosphorus)

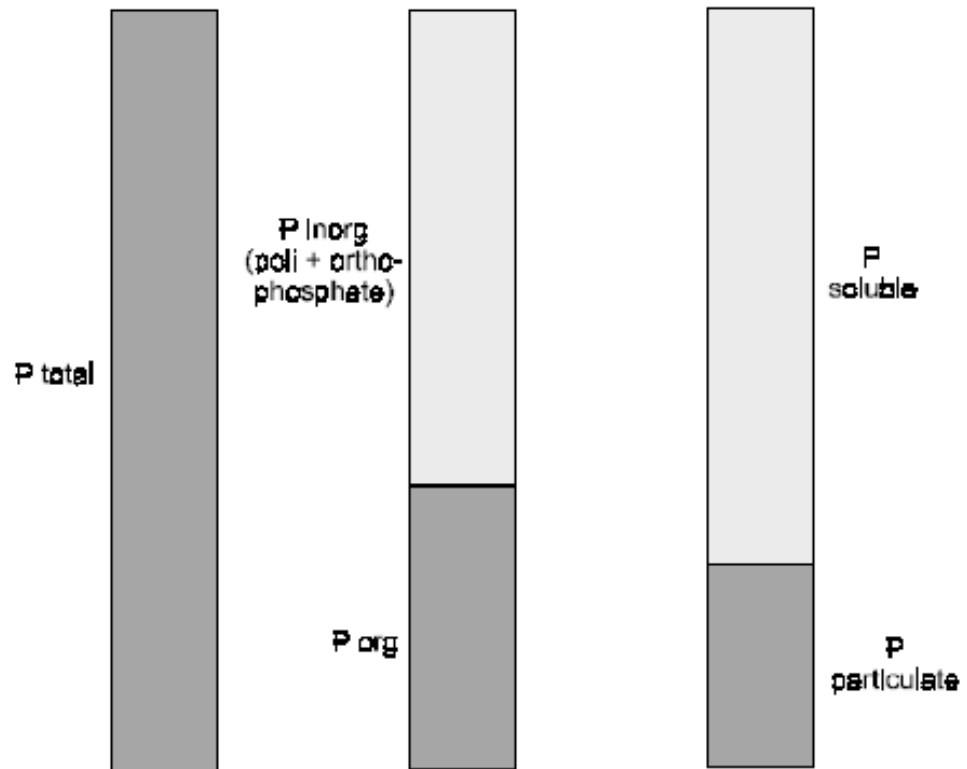
**Organický fosfor** - obsažen v organických látkách, fosfolipidy, fosfoproteiny

**Anorganický fosfor** - ortofosforečnany a polyfosforečnany



# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Obsah forem fosforu v surové odpadní vodě



# Znečišťující látky v odpadní vodě

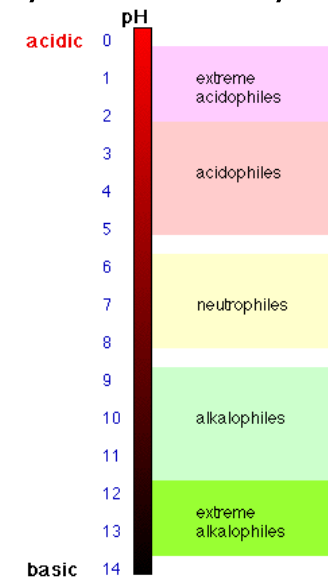
## pH

- záporná hodnota dekadického logaritmu číselné hodnoty aktivity vodíkových iontů, vyjádřené v molech na litr.

$$pH = -\log c_{H_3O^+}$$

kde  $c_{H_3O^+}$  - koncentrace hydroxoniových iontů

- zásadní význam pro posuzování vlastností analyzované vody,
- nejčastěji se hodnota pH stanovuje potenciometricky,
- skleněná a srovnávací elektroda nebo kombinovaná elektroda,
- pH vzorku vody se rychle mění- chemické, fyzikální a biologické pochody,
- pH je výrazně ovlivněno teplotou.



obrázek: Northern Arizona University

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Oxidačně-redukční potenciál (ORP)

- parametr celkové intenzity oxidačních nebo redukčních podmínek v systému,
- odráží stupeň vyváženosti mezi oxidačními a redukčními procesy.
- při jakémkoliv samovolně probíhajícím oxidačně-redukčním ději přecházejí elektrony z redukčního činidla na oxidační.

## Využití

- kontrola a řízení biologického čištění odpadních vod



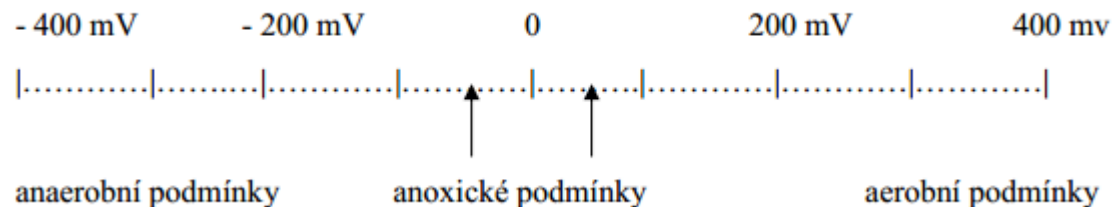


# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Oxidačně-redukční potenciál (ORP)

Obvyklý rozsah hodnot ORP

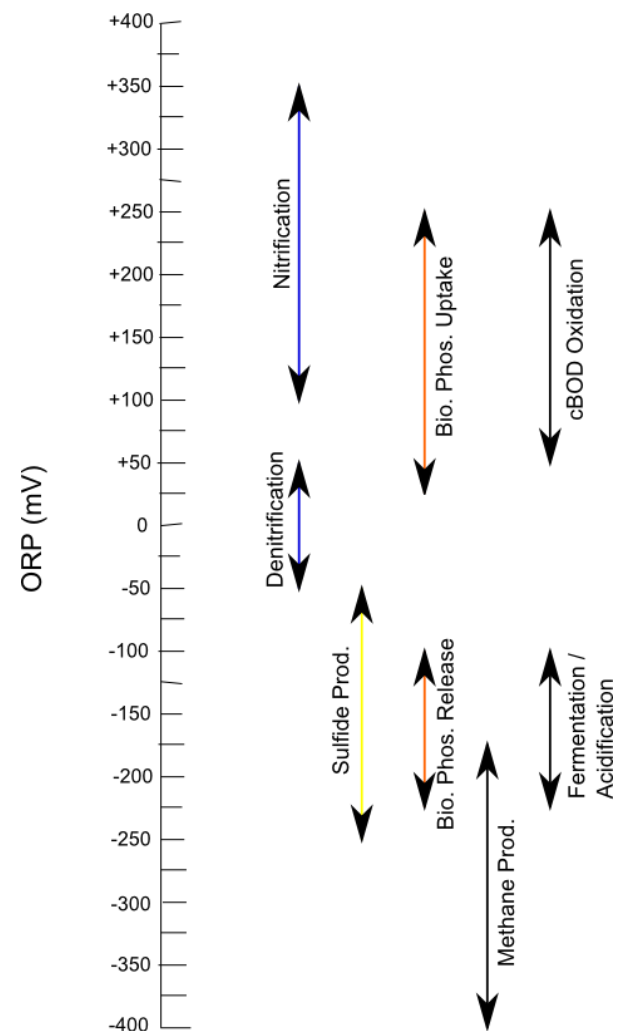
- přírodní a užitkové vody od  $-500$  mV do  $+500$  mV,
- splaškové odpadní vody od  $-200$  mV do  $+500$  mV,
- anaerobní stabilizaci kalů od  $-200$  mV do  $-300$  mV,
- vnitřní prostředí lidského těla  $-100$  až  $-200$  mV.



# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Oxidačně-redukční potenciál (ORP) na ČOV

	ORP, mV
nitrifikace	+100 to +350
degradace BSK	+50 to +250
biologické odstraňování fosforu	+25 to +250
denitrifikace	+50 to -50
produkce sirovodíku	-50 to -250
biologická produkce fosforu	-100 to -250
tvorba mastných kyselin	-100 to -225
produkce metanu	-175 to -400



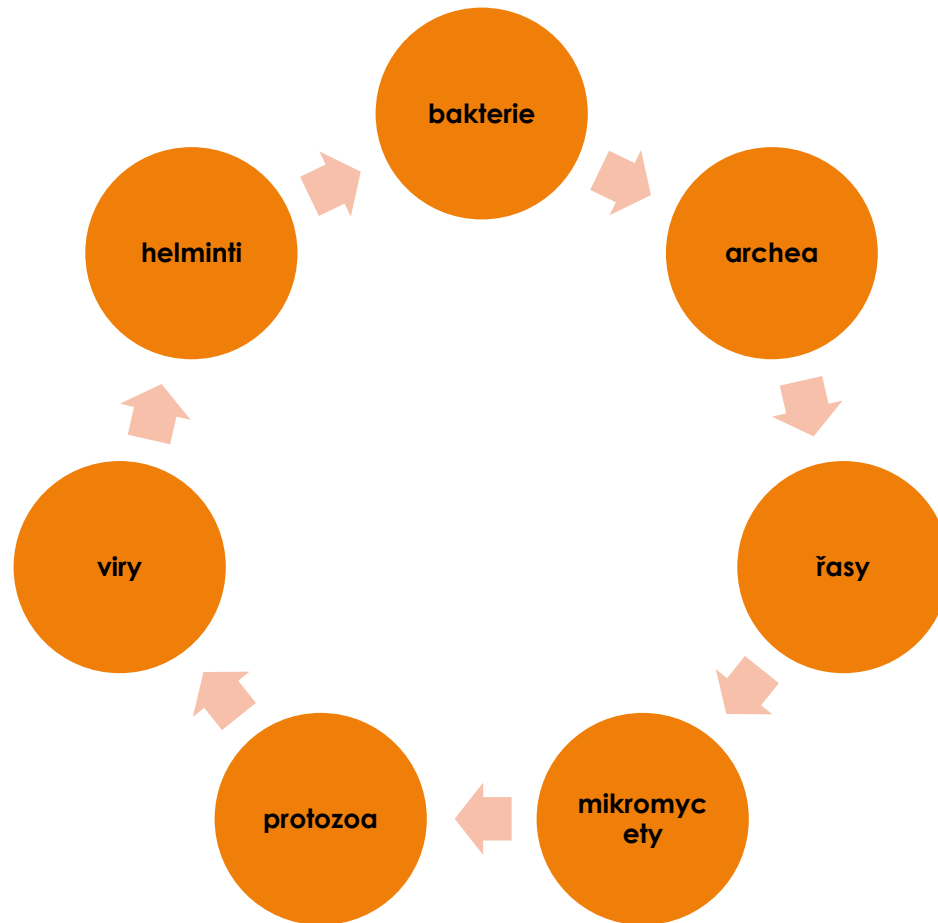
# Znečišťující látky v odpadní vodě

## **Konduktivita (vodivost)**

- jednotkou konduktivity  $\kappa$  je  $S \cdot m^{-1}$
- měřením získáme informaci o koncentraci iontově rozpuštěných látek,  
→ celkové mineralizaci vzorku.
- destilovaná voda  $0,05 \text{ mS} \cdot m^{-1}$  až  $0,3 \text{ mS} \cdot m^{-1}$ ,
- povrchové a prosté podzemní vody 5 až  $50 \text{ mS} \cdot m^{-1}$ ,
- odpadní vody  $> 10^3 \text{ mS} \cdot m^{-1}$ ,
- průměrná konduktivita pitných vod v ČR  $40 \text{ mS} \cdot m^{-1}$ ,

# Znečišťující látky v odpadní vodě

## Biologické parametry – organismy převažující v odpadních vodách



### Indikátory fekální kontaminace

*Escherichia coli* nebo enterokoky  
Termotolerantní koliformní bakterie  
*Salmonella* spp.

# Populační ekvivalent (PE)

## Ekvivalentní obyvatel (EO)

### Směrnice rady + vyhláška 428/2001 Sb.

zatížení vyjádřené jako produkce organického biologicky odbouratelného znečištění, která odpovídá pětidenní biochemické spotřebě kyslíku (BSK<sub>5</sub>) 60 g O<sub>2</sub>/den,

### Zákon o vodách

Jeden ekvivalentní obyvatel odpovídá produkci znečištění 60 g BSK<sub>5</sub> za den,



# Produkce znečištění

## Splaškové odpadní vody

- hodnoty specifického znečištění [g]
- produkované 1 obyvatelem za 1 den

LÁTKY	ANORGANICKÉ	ORGANICKÉ	VEŠKERÉ
<b>NEROZPUŠTĚNÉ</b>	<b>15</b>	<b>40</b>	<b>55</b>
-usaditelné	10	30	40
-neusaditelné	5	10	15
<b>ROZPUŠTĚNÉ</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>125</b>
<b>CELKEM</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>180</b>

$t = 5$  až  $20$  °C,  $pH = 6,8$  až  $7,5$

# Produkce znečištění

## Splaškové odpadní vody

- hodnoty specifického znečištění [g]
- produkované 1 obyvatelem za 1 den

LÁTKY	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
<b>NEROZPUŠTĚNÉ</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>
-usaditelné	20	40	1	0,2
-neusaditelné	10	20	-	-
<b>ROZPUŠTĚNÉ</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>10</b>	<b>2,3</b>
<b>CELKEM</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>11</b>	<b>2,5</b>

ČSN 75 6401, t = 5 až 20 °C, pH = 6,8 až 7,5

# Produkce znečištění

## Znečištění na přítoku ČOV

látkové zatížení = EO · denní produkce znečištění od 1 EO [kg/d]

látkové zatížení = koncentrace · denní průtok odpadní vody [kg/d]

koncentrace = látkové zatížení / denní průtok odpadní vody [mg/l]





# Produkce znečištění

Vypočítejte zatížení ČOV dusíkem a koncentraci fosforu

$$N_{\text{konc}} = 50 \text{ mg/dm}^3 = 0,05 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{\text{obj}} = 60 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,06 \cdot 86400 = 5184 \text{ m}^3 \text{ za den}$$

$$\text{hmotnost } N = 0,05 \cdot 5184 = 259,2 \text{ kgN za den}$$

hmotnost P = 40 kg za den

$$P_{\text{konc}} = ??? \text{ mg/dm}^3$$

$$\text{koncentrace } P = \frac{40}{5184} = 0,0077 \text{ kgP/m}^3 \Rightarrow 7,7 \text{ gP/m}^3 \Rightarrow 7,7 \text{ mgP/dm}^3$$

# Produkce znečištění

## **Průmyslové odpadní vody**

- velmi specifické vody, ovlivněny druhem výroby,

Při posouzení nutno zohlednit:

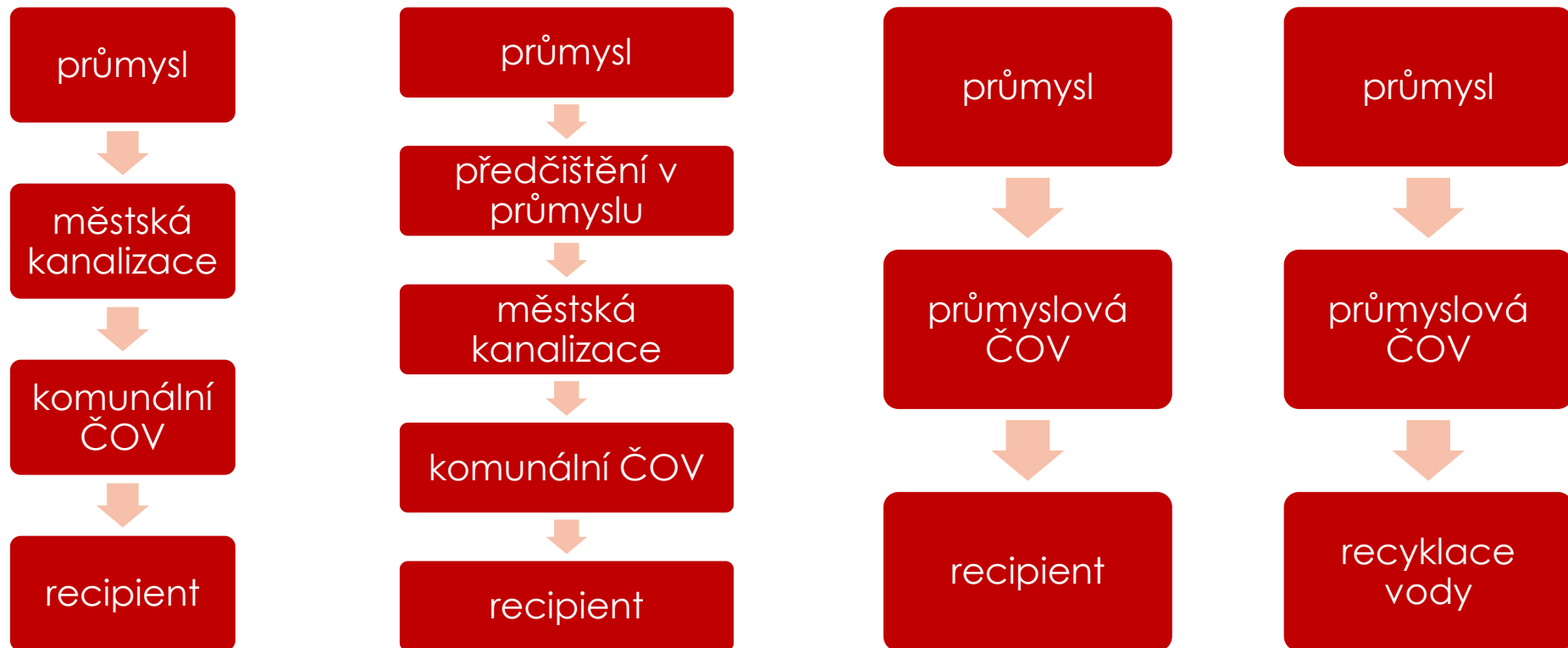
- biologickou odbouratelnost a čistitelnost,
- obsah BSK,
- dostupnost nutrientů (C:N:P),
- toxicitu (kovy, rozpouštědla, ...).



# Produkce znečištění

## Průmyslové odpadní vody

- nutno posoudit cestu odpadní vody,



# Produkce znečištění

## Průmyslové odpadní vody

Type	Activity	Unit of production	Specific wastewater flow (m <sup>3</sup> /unit)	Specific BOD load (kg/unit)	BOD population equivalent [inhab/(unit/d)]	BOD concentration (mg/L)
Food	Canning (fruit/vegetables)	1 t processed	4–50	30	500	600–7,500
	Pea processing	1 t processed	13–18	16–20	85–400	300–1,350
	Tomato processing	1 t processed	4–8	1–4	50–185	450–1,600
	Carrot processing	1 t processed	11	18	160–390	800–1,900
	Potato processing	1 t processed	7.5–16	10–25	215–545	1,300–3,300
	Citrus fruit processing	1 t processed	9	3	55	320
	Chicken meat processing	1 t produced	15–60	4–30	70–1600	100–2400
	Beef processing	1 t processed	10–16	1–24	20–600	200–6,000
	Fish processing	1 t processed	5–35	3–55	300–2300	2,700–3,500
	Sweets / candies	1 t produced	5–25	2–8	40–150	200–1,000
	Sugar cane	1 t produced	0.5–10	2.5	50	250–5,000
	Dairy (without cheese)	1000 L milk	1–10	1–5	20–100	300–5,000
	Dairy (with cheese)	1000 L milk	2–10	5–40	100–800	500–8,000
	Margarine	1 t produced	20	30	500	1,500
	Slaughter house	1 cow / 2.5 pigs	0.5–3	0.5–5	10–100	1,000–5,000
Yeast production	1 t produced	150	1100	21,000	7,500	
Confined animal breeding	Pigs	live t.d	0.2	2	35–100	10,000–50,000
	Dairy cattle (milking room)	live t.d	0.02–0.08	0.05–0.10	1–2	370–2,300
	Cattle	live t.d	0.15	1.6	65–150	10,000–50,000
	Horses	live t.d	0.15	4–8	65–150	20,000–50,000
	Poultry	live t.d	0.38	0.9	15–20	2,000–3,000
Sugar–alcohol	Alcohol distillation	1 t cane processed	60	220	4,000	3,500
Drinks	Brewery	1 m <sup>3</sup> produced	5–20	8–20	150–350	500–4,000
	Soft drinks	1 m <sup>3</sup> produced	2–5	3–6	50–100	600–2,000
	Wine	1 m <sup>3</sup> produced	5	0.25	5	–

# Produkce znečištění

## Průmyslové odpadní vody

Type	Activity	Unit of production	Specific wastewater flow (m <sup>3</sup> /unit)	Specific BOD load (kg/unit)	BOD population equivalent [inhab/(unit/d)]	BOD concentration (mg/L)
Textiles	Cotton	1 t produced	120–750	150	2,800	200–1,500
	Wool	1 t produced	500–600	300	5,600	500–600
	Rayon	1 t produced	25–60	30	550	500–1,200
	Nylon	1 t produced	100–150	45	800	350
	Polyester	1 t produced	60–130	185	3,700	1,500–3,000
	Wool washing	1 t produced	20–70	100–250	2,000–4,500	2,000–5,000
	Dyeing	1 t produced	20–60	100–200	2,000–3,500	2,000–5,000
	Textile bleaching	1 t produced	–	16	250–350	250–300
Leather and tanneries	Tanning	1 t hide processed	20–40	20–150	1,000–3,500	1,000–4,000
	Shoes	1000 pairs produced	5	15	300	3,000
Pulp and paper	Pulp	1 t produced	15–200	30	600	300
	Paper	1 t produced	30–270	10	100–300	–
	Pulp and paper integrated	1 t produced	200–250	60–500	1,000–10,000	300–10,000
Chemical industry	Paint	1 employee	0.110	1	20	10
	Soap	1 t produced	25–200	50	1000	250–2,000
	Petroleum refinery	1 barrel (117 L)	0.2–0.4	0.05	1	120–250
	PVC	1 t produced	12.5	10	200	800
Non-metallic industry	Glass and by-products	1 t produced	50	–	–	–
	Cement (dry process)	1 t produced	5	–	–	–
Steelworks	Foundry	1 t pig iron produced	3–8	0.6–1.6	12–30	100–300
	Lamination	1 t produced	8–50	0.4–2.7	8–50	30–200

# Mechanicko-biologická ČOV

