



NovaEnergio

Your new energy

Školení provozování BPS technologie & bilance

Ing. Jan Štambaský, Ph.D.

Obsah semináře

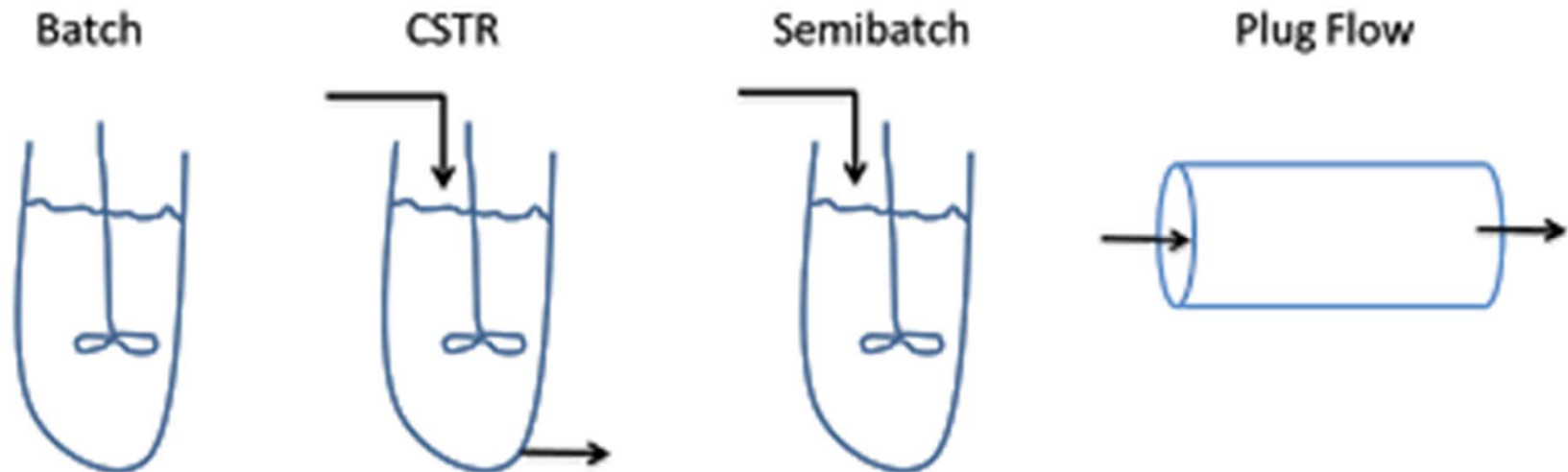
- Úvod do technologií výroby bioplynu
 - Návrh reaktorů a míchání
- Doba zdržení a konverze
 - Příklady výpočtu
 - Konverze a sušina
- Základní výpočty bioplynu
 - Složení bioplynu
 - Co plyne ze stavové rovnice

Úvod do technologií výroby bioplynu

Rozdělení technologií výroby bioplynu

- Z provozních důvodů plyne následující rozdělení
 - **Suchá fermentace** (bez přídavku záměsové vody, nebo recirkulátu)
 - **Částečně suchá fermentace** (využívá recirkulaci fugátu)
 - **Mokrý fermentace** (běžně využívá přídavek záměsové vody, tekuté substráty nebo recirkulaci)

Reaktorové uspořádání



- Vsádkové reaktory (batch): komorové fermentory
- Kompletně míchané (CSTR): většina
- S pístovým tokem (plug flow): speciální aplikace

Návrh reaktorů I.

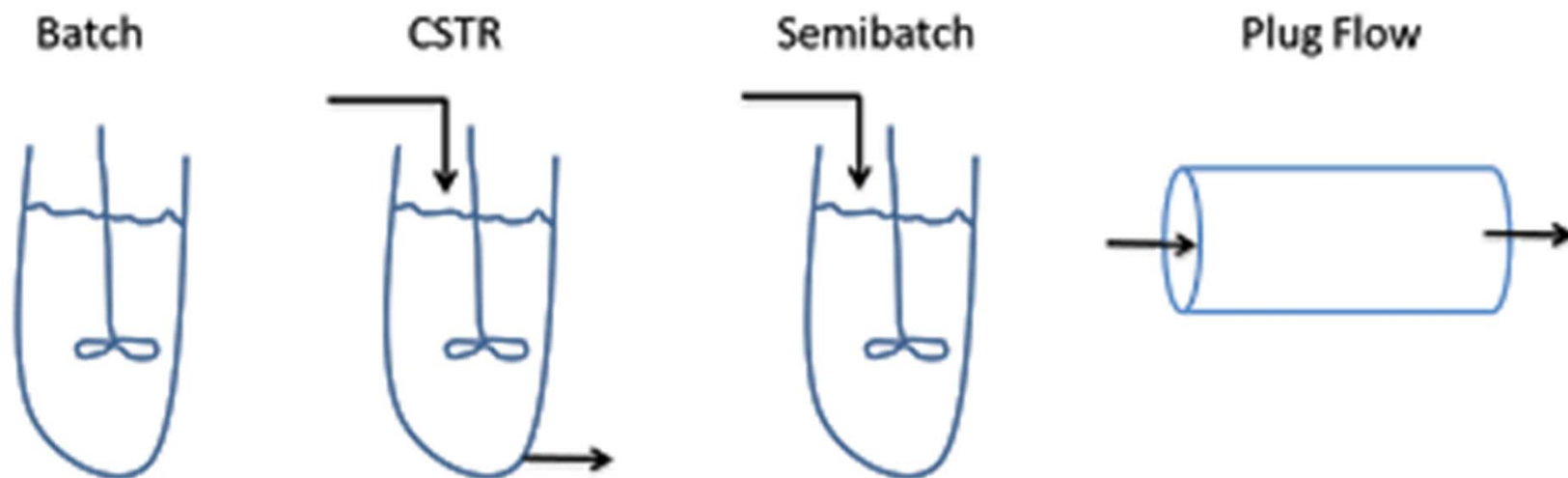
- **Vsádkový (batch) reaktor**
- Nejjednodušší design
- Doba zdržení **je zvolena**
- Málo efektivní
 - absence míchání
 - špatné prostupy tepla
 - Kontinuální provoz min. 5 komor, většinou 6-8

$A \rightarrow \text{produkty}$

$$C_A = \frac{C_{A0}}{1+kt}$$

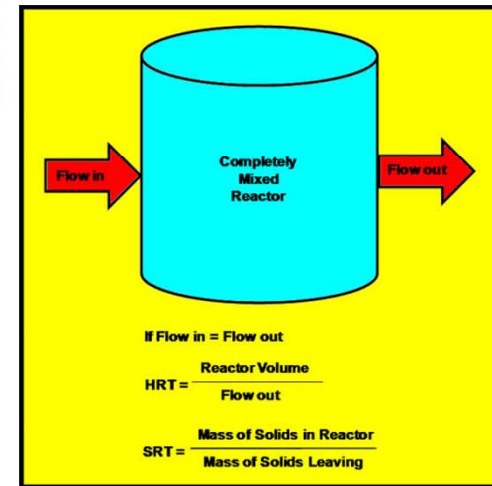
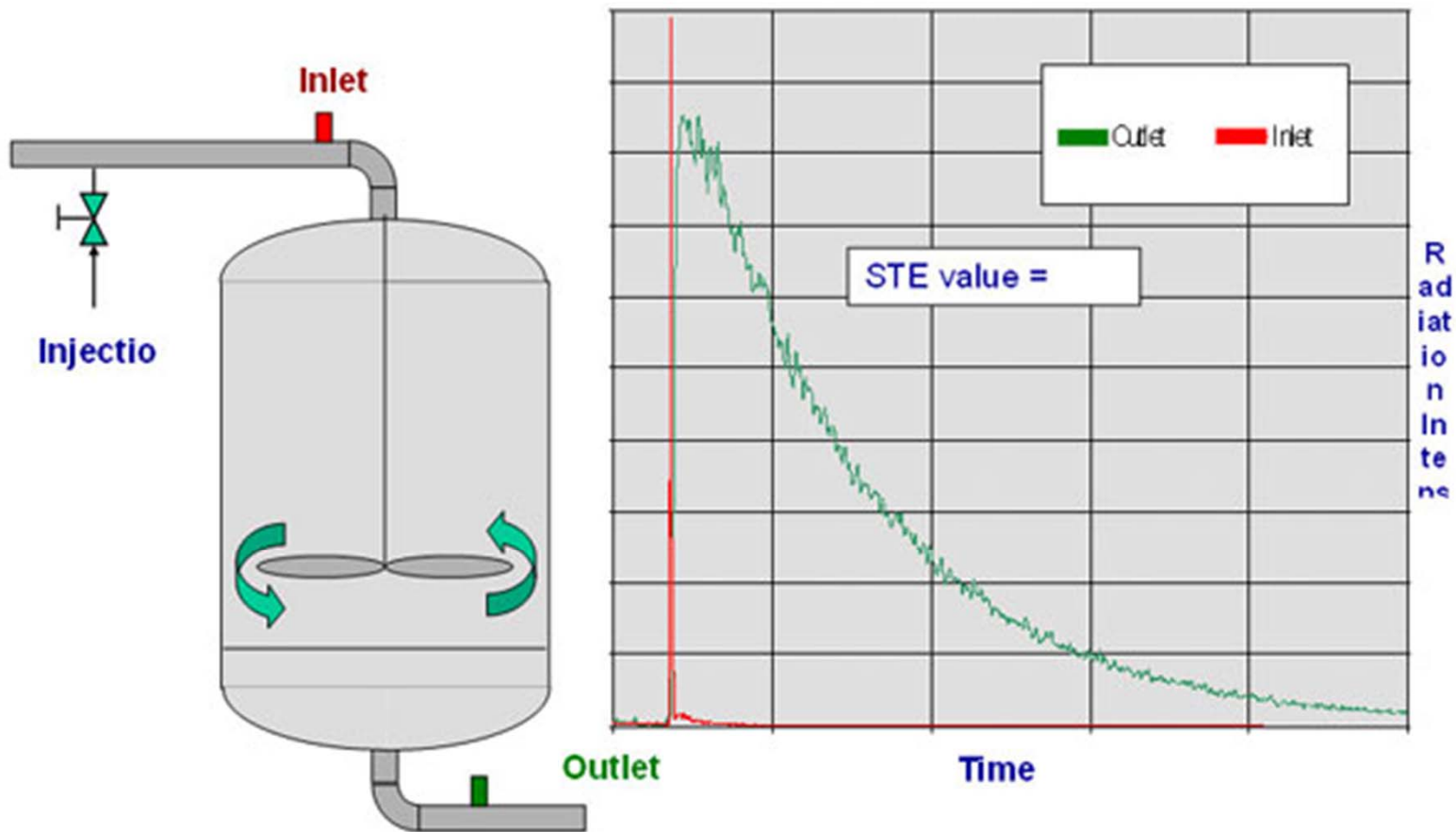


Reaktorové uspořádání



Návrh reaktorů II.

Residence Time of Stirred Tank Reactor

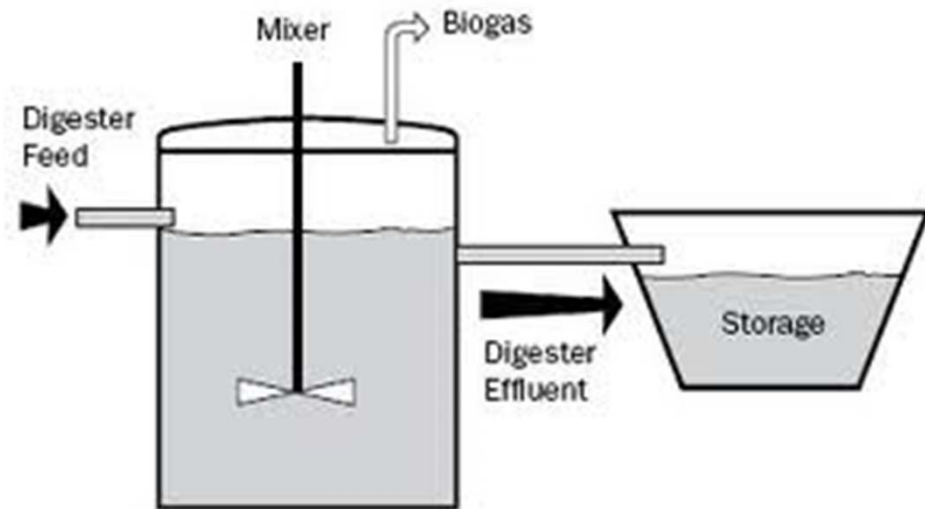


Návrh reaktorů II.

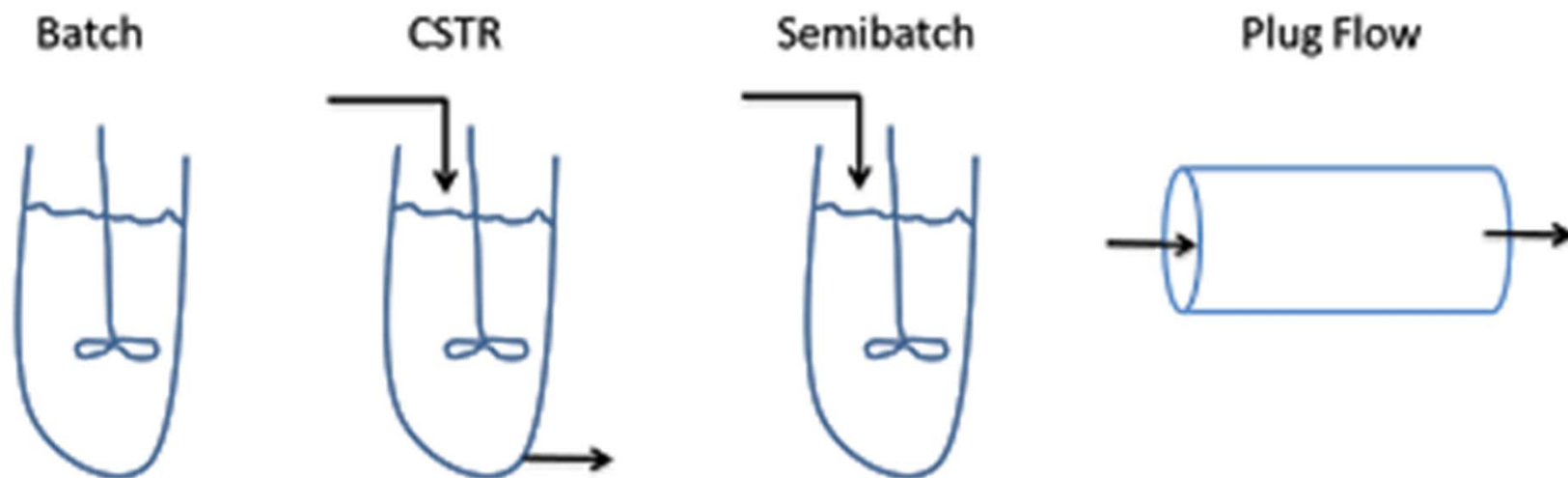
- **Kompletně míchaný (CSTR) reaktor**
- Středně složitý design
- Doba zdržení funkcí objemu
- Možnost vysoké konverze
 - z principu nejsou selektivní
 - nevhodné pro definované zpracování surovin
 - v praxi řazení do kaskád
 - může hrozit sedimentace

$A \rightarrow \text{produkty}$

$$C_A = \frac{C_{A0}}{1 + k \frac{V_{tot}}{V_{out}}}$$



Reaktorové uspořádání

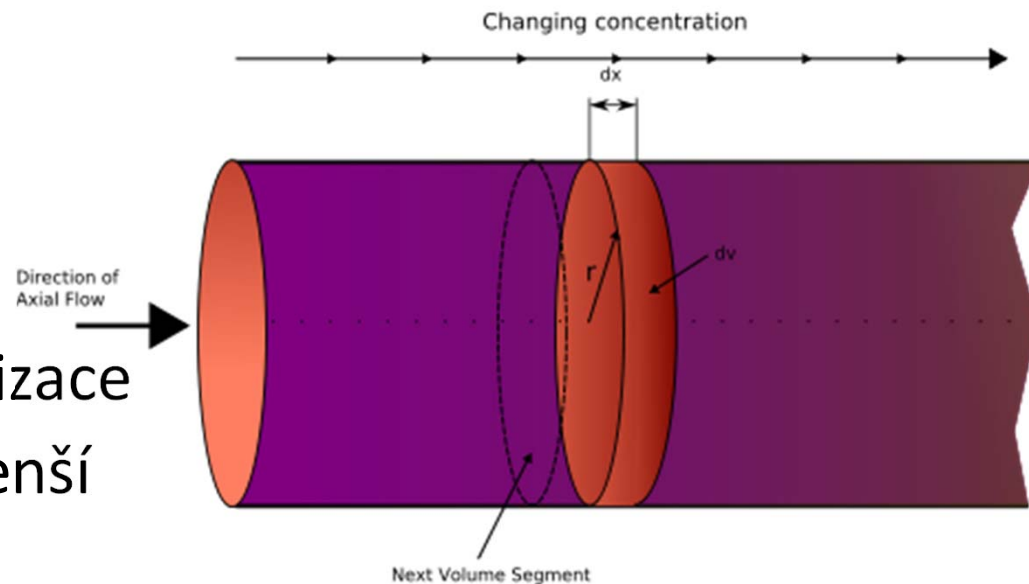


Návrh reaktorů III.

- Reaktor s pístovým tokem (PFR)
- Nejsložitější design
- Jednotlivé inkrementy dV se chovají jako kaskáda CSTR
- Vysoká selektivita
 - možno vysoké zatížení
 - přesně daná konverze
 - ideální pro potřeby hygienizace
 - při stejné konverzi vždy menší než CSTR

$A \rightarrow \text{produkty}$

$$c_A(x) = c_{A0} \cdot e^{-kt(x)}$$



Návrh reaktorů IV.

- Příklad designu CSTR-CSTR



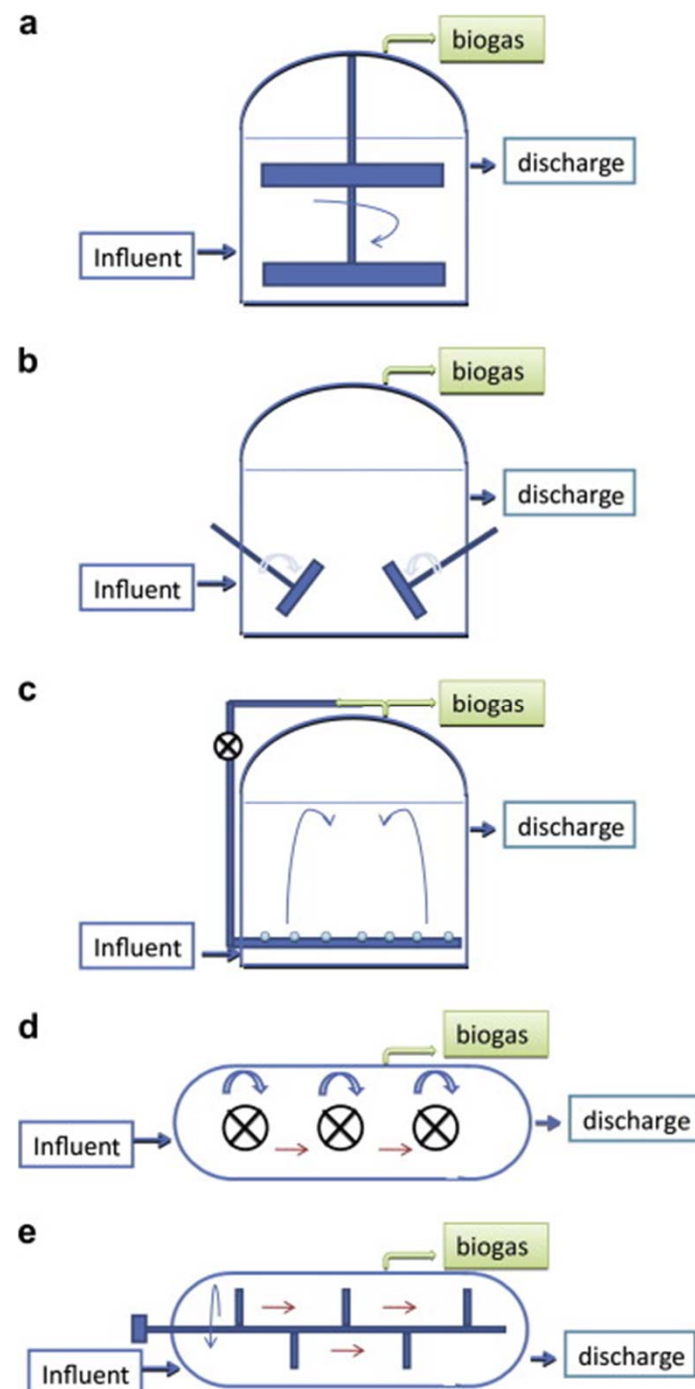
Návrh reaktorů IV.

- Příklad designu PFR-CSTR



Technologie míchání

- **Různé druhy pro CSTR a PFR**
- Pro správnou funkci CSTR naprosto klíčové (!!!)
- Náročnější v PFR
- Design klíčový pro efektivní provoz (vlastní spotřeba elektřiny)



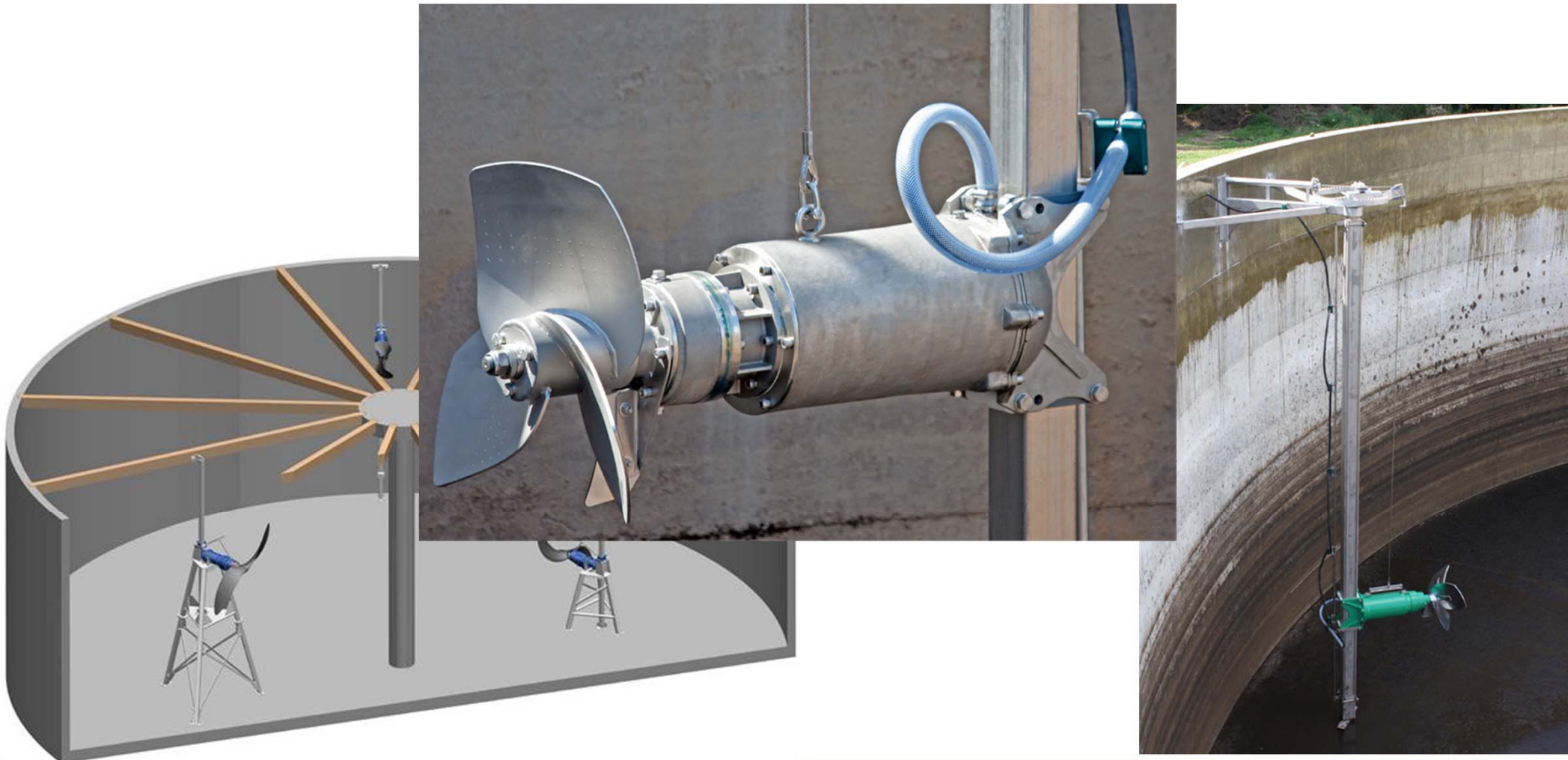
Technologie míchání

- Vertikální míchadla (pouze pádlová),
– např. agraferm (CSTR)



Technologie míchání

- Horizontální a nastavitelná míchadla vrtulová



Technologie míchání

- Horizontální a nastavitelná míchadla pádlová



Technologie míchání

- Míchání PFR



Technologie míchání

- **Srovnání:**

- Vrtulová míchadla jsou energeticky nejméně efektivní, vhodná jen pro míchání suspenzí s nízkou sušinou a pro koncové sklady
- Pádlová míchadla jsou konstrukčně náročnější, mohou být velmi energeticky efektivní (např. v kombinaci s frekvenčními měniči), postupně jde o nejčastější způsob míchání CSTR
- PFR mají míchání velmi specifické v návaznosti na design reaktoru

Doba zdržení a konverze

Doba zdržení

- **Doba hydraulického zdržení**
 - (Hydraulic Retention Time, HRT)
- Doba zdržení rozpuštěných látek

$$t_H = \frac{\text{reakční objem}}{\text{přítok vstupů}}$$

$$t_H = \frac{m^3}{m^3/d} = d$$

Příklad 1: Fermentory 2500 m³, 50 m³/den na vstupu

$$t_H = 2500/50 = \mathbf{50 \text{ dnů}}$$

Příklad 2: Fermentory 2500 m³, 50 m³/den na vstupu + 10 m³ recirkulace

$$t_H = 2500/60 = \mathbf{41,7 \text{ dnů}}$$

Doba zdržení

- **Doba substrátového zdržení**
 - (Substrate Retention Time, SRT)
- Doba zdržení pevných látek (VL)

$$t_s = \frac{VL \text{ v reaktoru}}{VL \text{ na výstupu}}$$

$$t_s = \frac{t}{t/d} = d$$

Příklad 1: Fermentory 2500 m³, 50 m³/den na výstupu, 8% sušina

$$t_s = 2500 \times 0,08 / 50 \times 0,08 = \mathbf{50 \text{ dnů}}$$

Příklad 2: Fermentory 2500 m³, 50 m³/den na výstupu, 5% sušina, 10 m³ recirkulace

$$t_s = 2500 \times 0,05 / 50 \times 0,05 = \mathbf{50 \text{ dnů}}$$

Doba zdržení

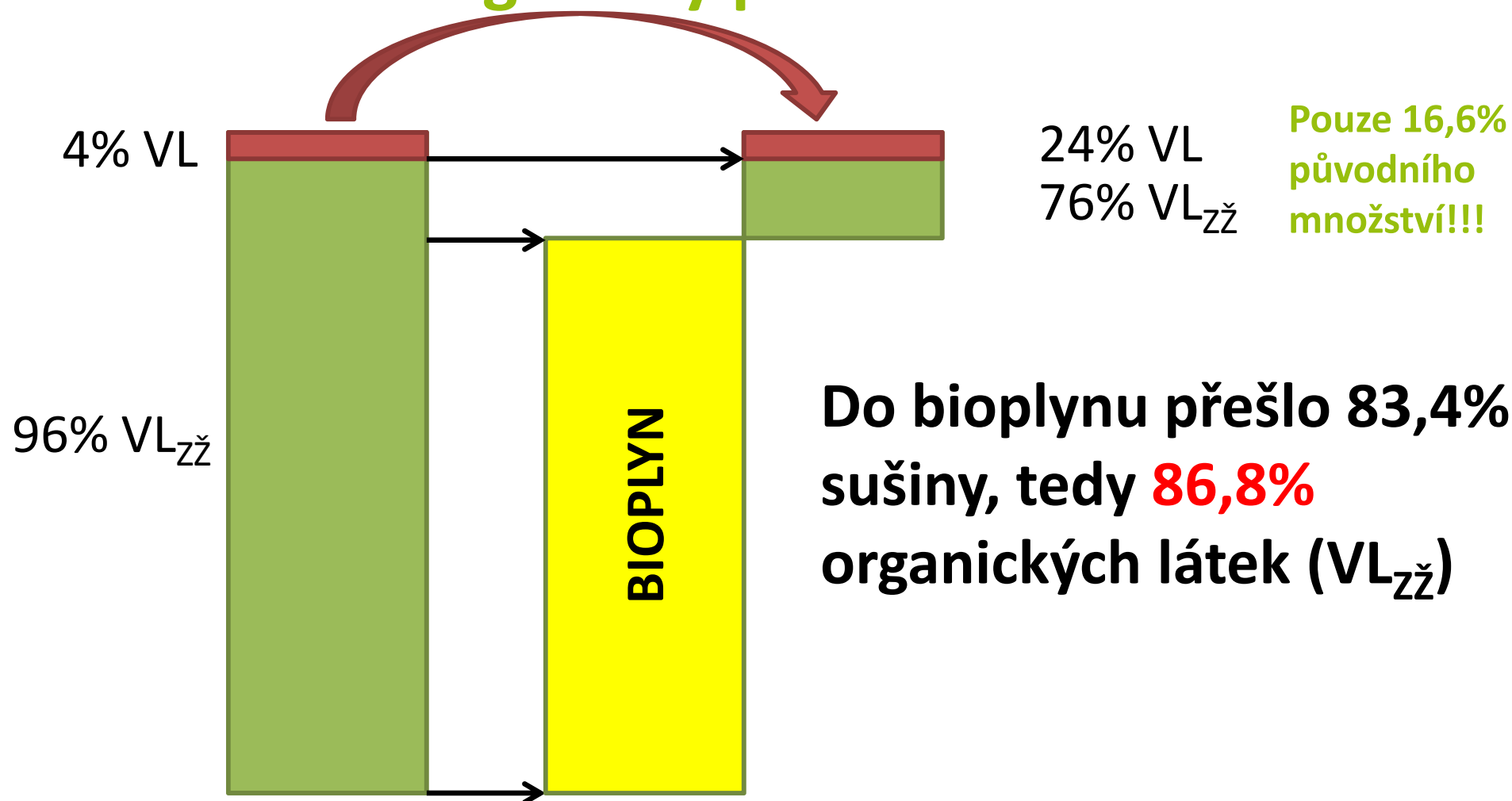
- Pro konverzi substrátů je klíčová doba substrátového zdržení t_s
- Doba zdržení rozpuštěných látek ovlivní rychlost poklesu koncentrace např. dusíku nebo minerálních látek.
- Ředění (vodou) ovlivní HRT i SRT (pokles)
- Recirkulace nezvýší konverzi

Konverze

- **Jaká je konverze na Vaší BPS?**
- **Příklad:**
 - Zpracováváme pouze kukuřičnou siláž,
 - sušina 35%, $VL_{zž} = 96\%$,
 - Výstup: digestát, 8% sušina, $VL_{zž} = 76\%$
- A) <20% B) 20% C) >20% D) >50% E) >76%

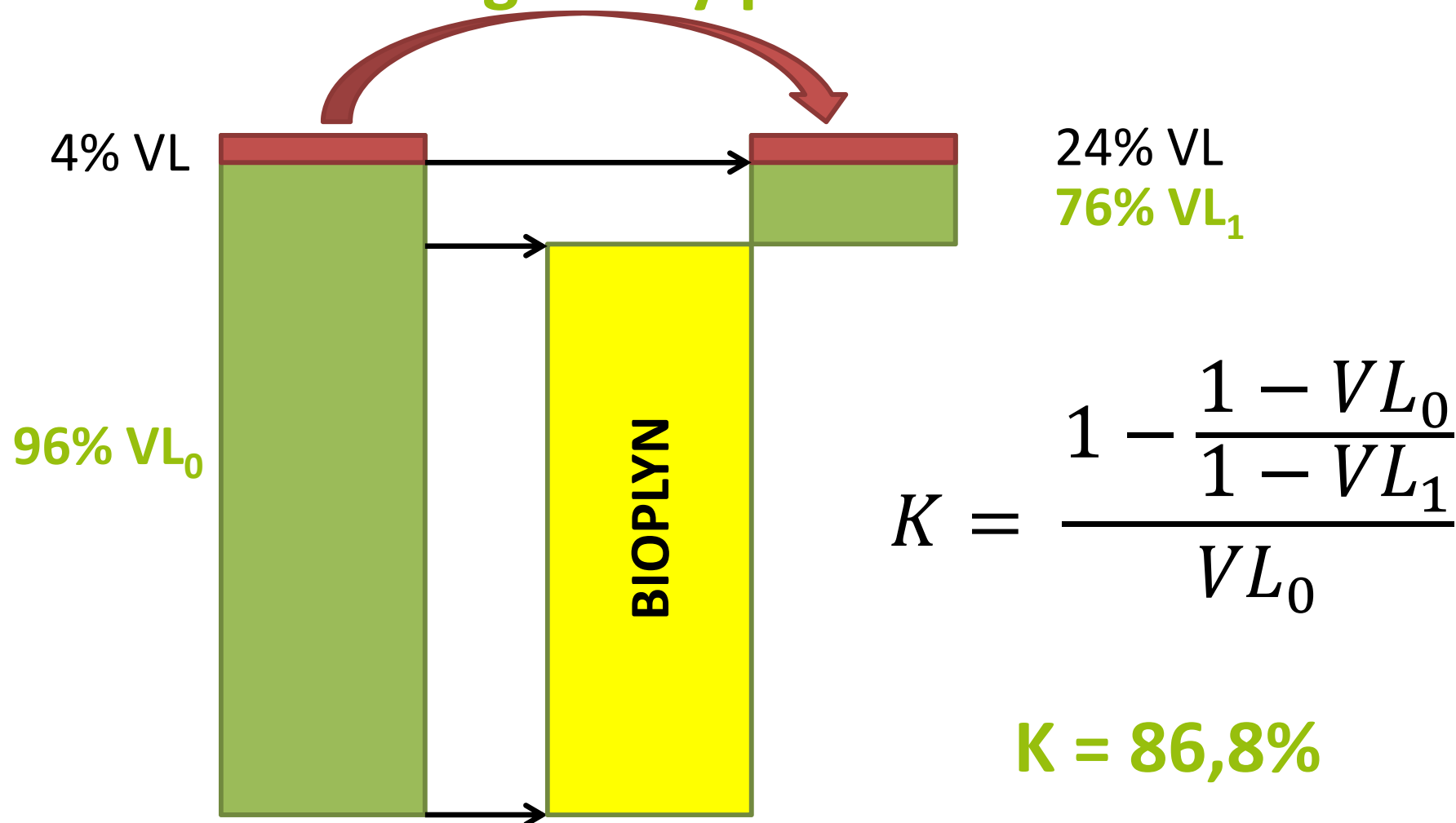
Konverze

Anorganický podíl zůstává konstantní



Konverze

Anorganický podíl zůstává konstantní



Konverze

- V případě **více substrátů bilancujeme celkovou hmotnost organických látek** na vstupu (ne % VL)
 - ze všech (n) substrátů

$$\sum_{i=0}^n VL_{z\check{z}}$$

- a celkovou hmotnost organických látek na výstupu (v digestátu)

$$K = \frac{\sum_i^n VL_{0i} - VL_1}{\sum_i^n VL_{0i}}$$

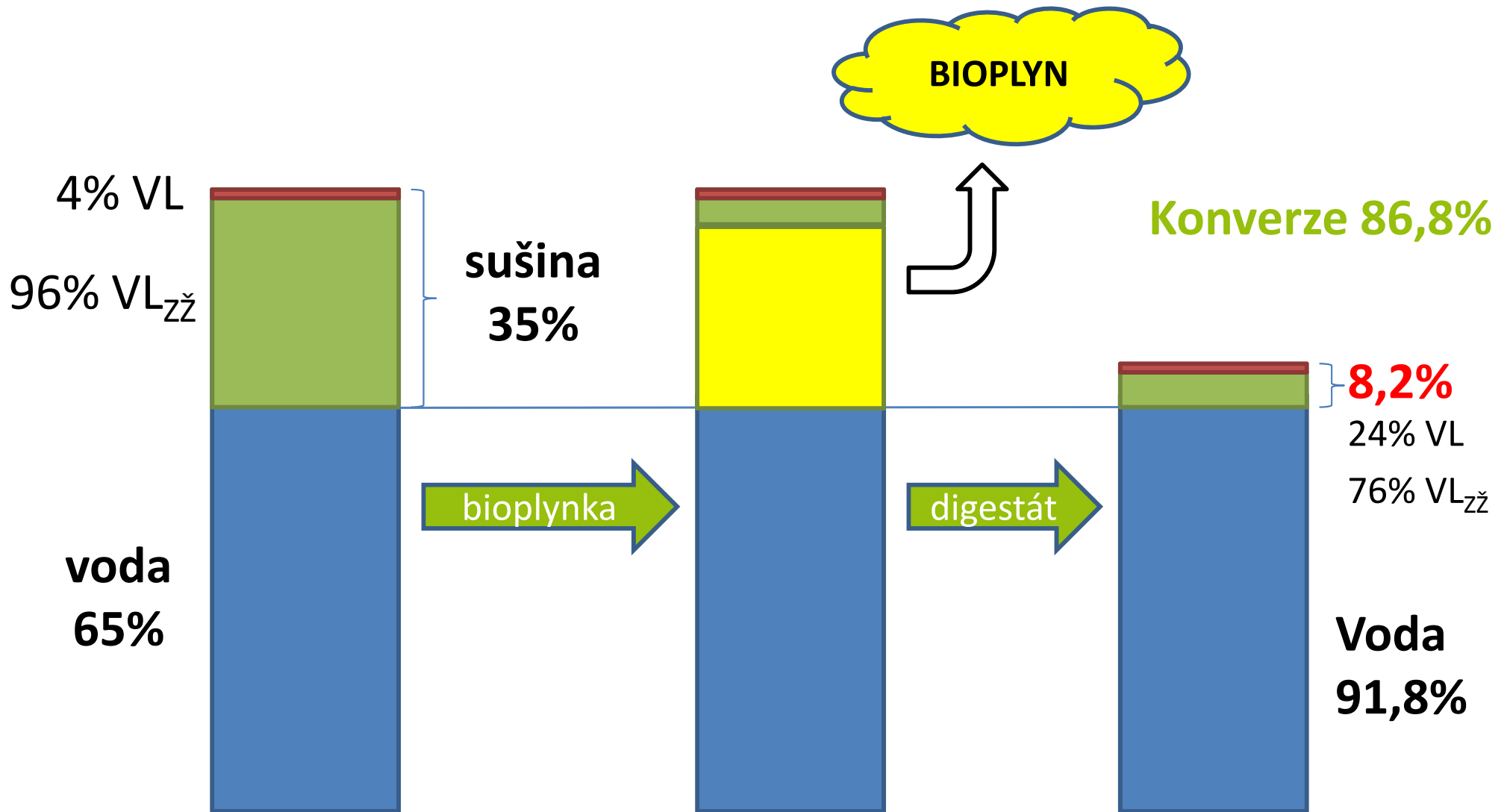
Konverze

- Příklad výpočtu, máme vstupy:
 - 10 t/d hnůj, 25% VL, 80% VL_{žž}
 - 10 t/d senáž, 35% VL, 85% VL_{žž}
 - 10 t/d siláž, 35% VL, 95% VL_{žž}
- Výstup: 24 t/d digestátu, 6,7%, 75% odm

$$K = \frac{\sum_i^n VL_{0i} - VL_1}{\sum_i^n VL_{0i}} = \frac{8,3 - 1,206}{8,3} = 85,4\%$$

Konverze & sušina

Změna obsahu sušiny



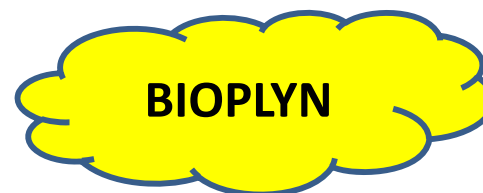
Změna obsahu sušiny

• Vstup:

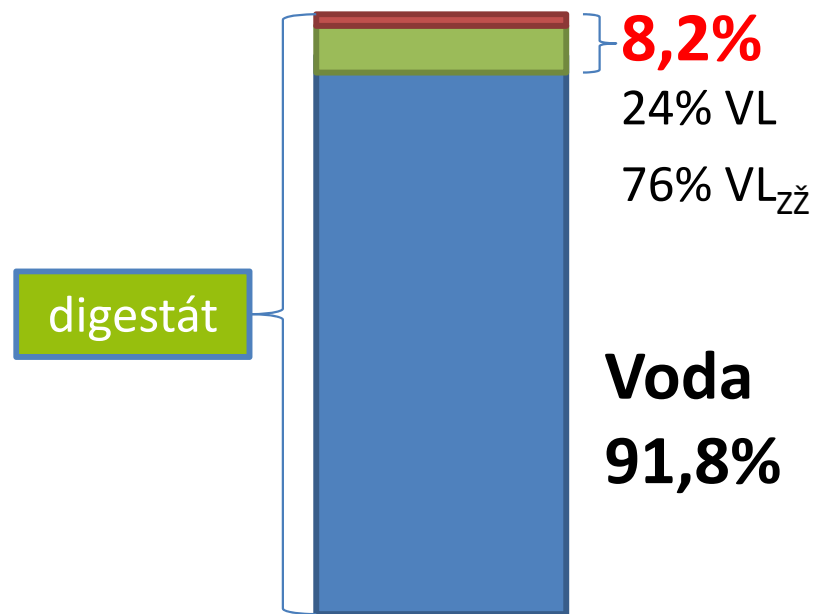
- Anorganické látky: **1,4 kg**
- Organické látky: 33,6 kg
- Sušina celkem: 35,0 kg
- Voda: **65,0 kg**
- Vstup celkem: **100 kg**

• Výstup

- Anorganické látky: **1,4 kg**
- Organické látky: 4,4 kg
- Sušina celkem: 5,8 kg
- Voda: **65,0 kg**
- Digestát: 70,8 kg
- Bioplyn: 29,2 kg
- Výstup celkem: **100 kg**



Konverze 86,9%



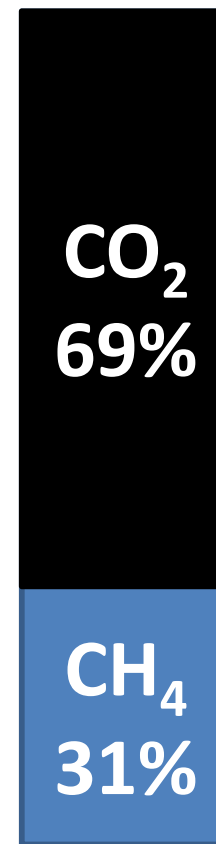
Hmotnostní bilance v bioplynu

Složení bioplynu

Objemové



Hmotnostní

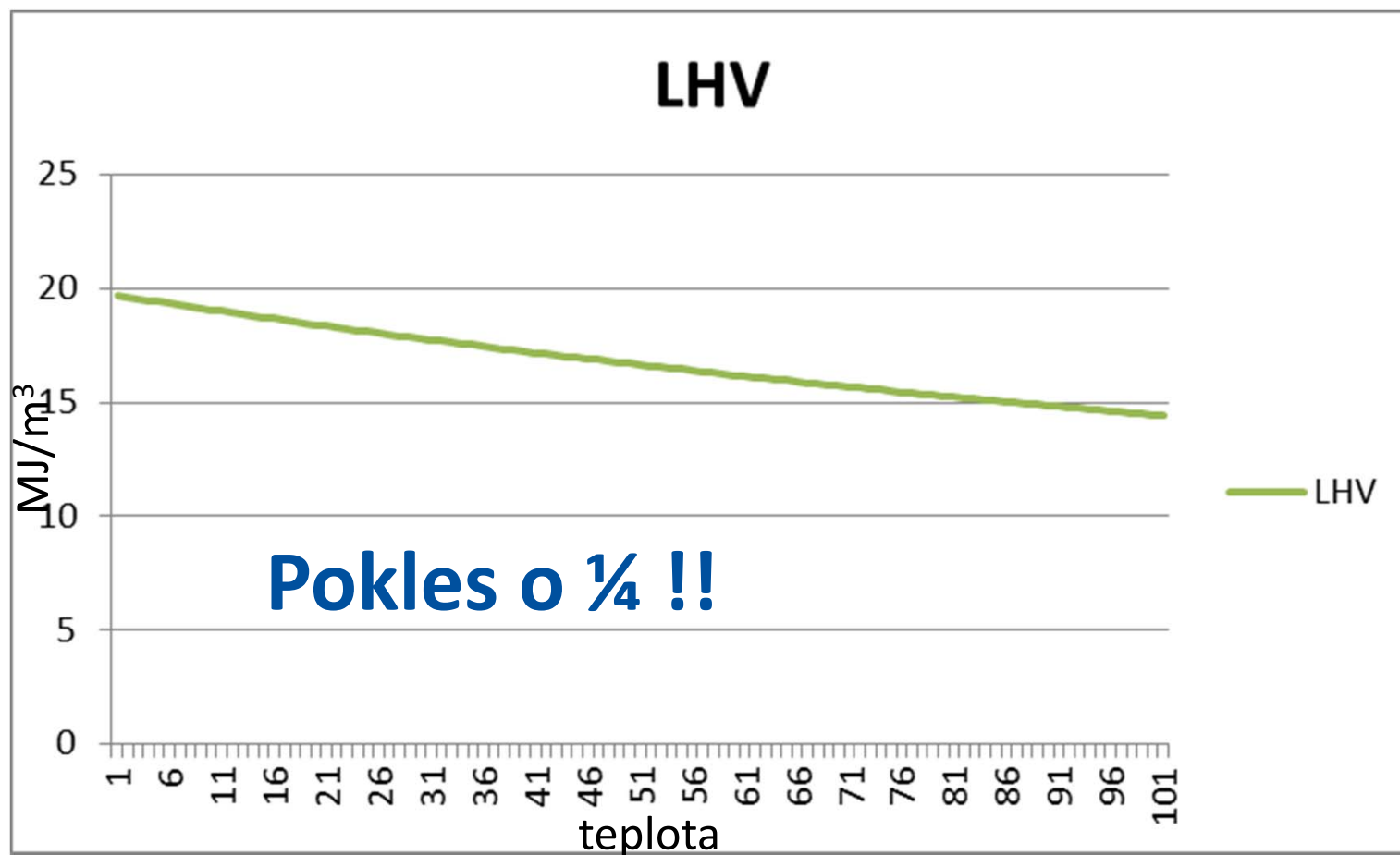


Složení bioplynu

- Objemové složení měříme
 - Objem se ale mění s **T** a **p**
- Hmotnostní složení je konstanta
- **1 m³ bioplynu váží 1277 g (101,3 kPa)**
 - metan: 550 L, 393 g
 - oxid uhličitý: 450L, 883g
 - CO₂ je 2,74x těžší než CH₄
- **Co z toho plyne?**

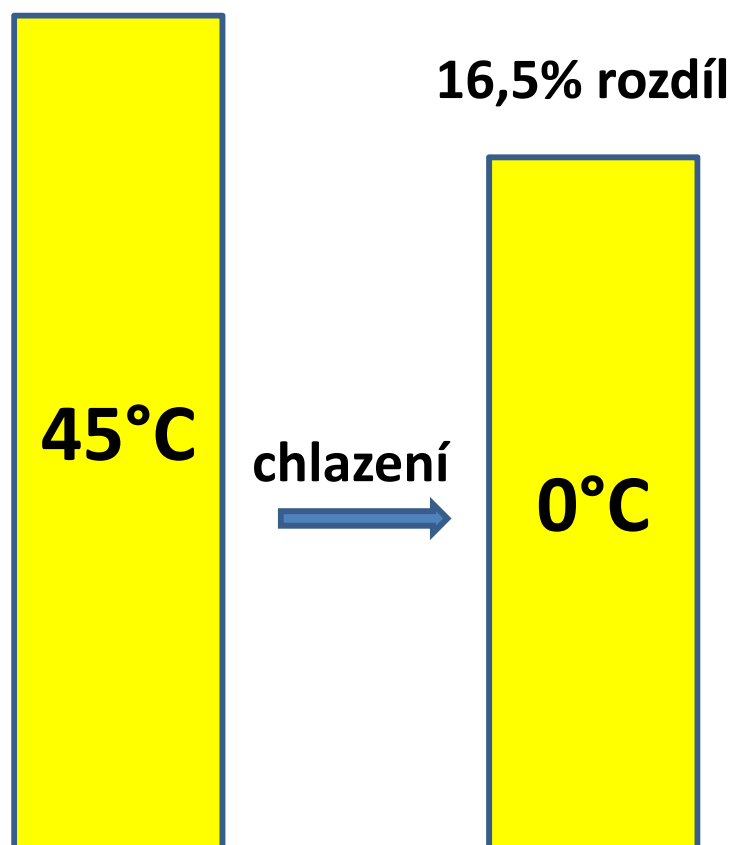
Základy chování bioplynu

Spalné teplo (LHV)



Základy chování bioplynu

Objem bioplynu v závislosti na teplotě



Základy chování bioplynu

Příklad I:

- 1 MW, 450 m³/h (0°C), 55% CH₄, 19,71 MJ/m³
 - reálná produkce 524 m³/h při 45°C, 16,92 MJ/m³
 - po chlazení 463 m³/h při 8°C, 19,15 MJ/m³
- Stále stejná hodinová produkce energie
 - Mění se jen objem a objemová výhřevnost

Základy chování bioplynu

Stavová rovnice (ideálního) plynu

$$pV = nRT$$

- Co z toho plyne?

$$Q = H \times V = konst.$$

$$H_1 V_1 = H_2 V_2$$

$$H_1 \frac{nRT_1}{p_1} = H_2 \frac{nRT_2}{p_2}$$

$$H_2 = H_1 \frac{nRT_1}{p_1} \frac{p_2}{nRT_2}$$

Základy chování bioplynu

Pro různé tlaky a teploty

$$H_2 = H_1 \frac{T_1 p_2}{T_2 p_1}$$

Při stejném tlaku

$$H_2 = H_1 \frac{T_1}{T_2}$$

- Pozor, jedná se o podíl absolutních teplot
- Přepočet: $0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$

Základy chování bioplynu

Příklad II: Bioplyn (10°C),

- 50% CH₄, zvýší kvalitu na 55% CH₄
- Ale zůstala stejná spotřeba bioplynu (stejná výhřevnost), jak se změnila teplota?

Příklad III: Bioplyn (10°C),

- V létě se teplota zvýšila o 2°C, ale spotřeba bioplynu je stejná
- Jak se změnila kvalita bioplynu? Záleží na počáteční kvalitě?

$$\frac{px_1H_{CH_4}}{RT_1} = \frac{px_2H_{CH_4}}{RT_2}$$



$$\frac{x_2}{x_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Základy chování bioplynu

Řešení II: Bioplyn (**10°C**),

- $T_2 = 1,1 \times T_1$
- $T_2 = 1,1 \times 283,15 = 311,46 \text{ K}$
- Teplota se zvýšila na 38,3°C

Příklad III: Bioplyn (**10°C**),

- $x_2 = x_1 \frac{T_2}{T_1} = 1,007063x_1$
- Kvalita bioplynu se změnila o 0,7%
- Výsledkem je poměr → nezáleží na počáteční kvalitě bioplynu

Dotazy & Diskuze