

Aplikace řídicích systémů při fermentační výrobě ethanolu

APPLICATION OF CONTROL SYSTEMS IN FERMENTATIVE PRODUCTION OF ETHANOL

Mojmír Rychtera, Miloš Kmínek – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Václav Černý – Tereos TTD, a. s.

Průmyslová výroba ethanolu prodělala během své historie mnoho proměn. Celá řada mikroorganismů má schopnost sacharidy zkvašovat na ethanol a další metabolity. Pro průmyslovou výrobu ethanolu se však hodí jen ty, které dosahují vysokého stupně konverze (výtežnosti) jednoduchých sacharidů na ethanol (2, 3). K těmto mikroorganismům se řadí především kvasinky druhu *Saccharomyces cerevisiae* a z bakterií jde hlavně o druh *Zymomonas mobilis*. Oba zmíněné mikroorganismy vyžadují pro tvorbu ethanolu jako substrát kvasitelné sacharidy (glukosu, fruktosu, sacharosu, maltosu), obsažené např. v cukrové řepě, v cukrové třtině či ovoci, nebo je nutno na kvasitelné cukry převést některé polysacharidy (např. škrob nebo celulosu).

Za anaerobních podmínek jsou hlavními konečnými produkty fermentace ethanol a oxid uhličitý. Teoreticky vznikají z 1 molu glukosy 2 moly ethanolu (51,14 % hm.) a 2 moly oxidu uhličitého (48,96 % hm.). Uvedená hodnota pro ethanol je nazývána teoretická výtežnost a představuje maximum výtežnosti pro kvasinky a glukosu. Z ní se pak odvozují praktické výtežnosti, které se mohou pohybovat od 80 do 90 % teoretické

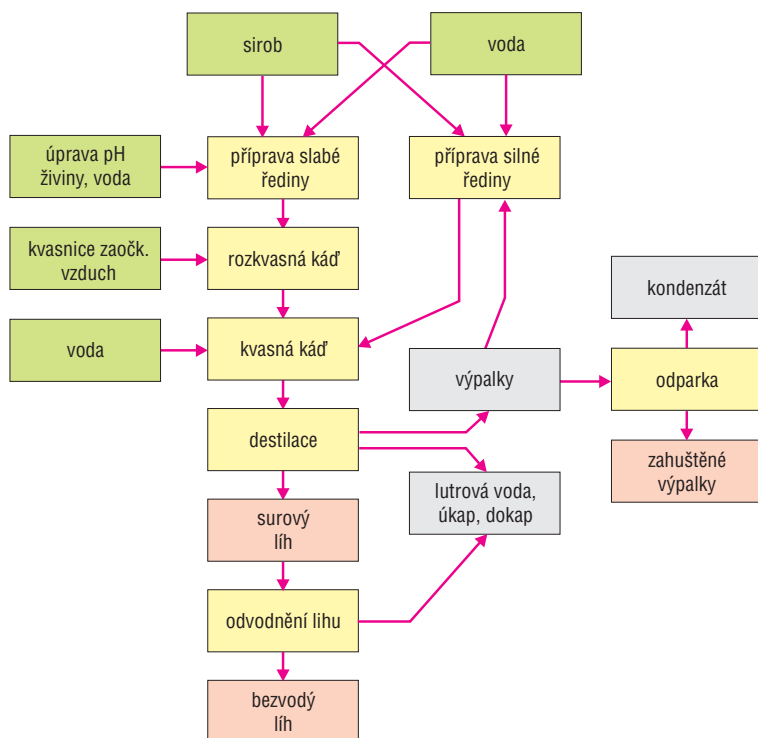
hodnoty (4–7). Příčin, proč nelze dosáhnout teoretické hodnoty výtežnosti, je mnoho. Uvedme si jen ty základní příčiny:

- vedlejší produkty metabolismu kvasinek (závisí na kmenu kvasinek a metabolismu sacharidů vedoucí ke vzniku např. glycerolu, esterů, organických kyselin),
- růst kvasinek (ovlivňuje živiny, růstové faktory, příp. koncentrace kyslíku v počáteční fázi, zvláště při mírném větrání, které urychluje růst kvasinek),
- způsob fermentace (např. s recyklem kvasinek, v přítokovaném – „fed-batch“ nebo kontinuálním režimu).

Přesto se lze při hodnocení fermentačního procesu setkat s výsledky výtežností vyššími, než odpovídá teoretickým hodnotám. Jde však jen o zkrácení výsledku ethanolu vznikajícím z jiných v látkové bilanci neuváděných látek (např. metabolismem některých aminokyselin).

V tomto článku je uveden praktický příklad provozní aplikace řídicích systémů v lihovaru společnosti Tereos TTD, a. s., v Dobrušce produkující odvodněný ethanol pro palivové účely. V závodě odchází denně z fermentační linky na destilaci až 3 400 m³ prokvašené zápary. Bez spolehlivé regulace nemůže být v tak velkém provozu zaručeno optimální vedení procesu a dosažení plánované kapacity.

Obr. 1. Stručné schéma lihovarské výroby ze srobu



Technologické schéma a popis technologie fermentace (1)

V závodě Tereos TTD, a. s., se využívají cukerné roztoky z cukrovaru obsahující jen rozpuštěné látky. Proces se realizuje podle dvou schémat v závislosti na cukrovarnické kampani.

Schéma I je charakterizováno zpracováním surové šťávy. Surovina má poměrně nízký a proměnlivý obsah nejen sacharosy (17–18 %), ale i ostatních složek, což se často projevuje vysokým pěněním. Úprava média je založena na úpravě pH, na přidávku anorganických živin a úpravě cukernatosti (přidávkem koncentrovaného cukerného roztoku z varny cukrovaru). Hodnota pH se upravuje kontinuálně směřováním média se sírovou kyselinou, jejíž průtok je regulován podle pH. Živiny (fosforečná kyselina a čpavek) se přidávají výhradně do rozkvasných tanků a jejich průtok je regulován v určeném poměru k průtoku surové šťávy do rozkvasného tanku.

Základním krokem při přípravě kvasného média je úprava koncentrace cukru. Ta je prováděna ručním

nastavením průtoku docukřovacího média (sirobu). Pro vysokou pěnovitost média však sacharizaci roztoku měří ručně pracovníci obsluhy fermentace.

Schéma II se využívá v době, kdy cukrovar není v provozu a nelze již využít k fermentaci surovou šťávu. Základem pro výrobu je tzv. černý sirob, který byl vyroben v průběhu cukrovarnické kampaně (sušina cca 73 % hm. a koncentrace sacharosy (polarizace) cca 53 % hm.) a je uskladněn ve skladovacích tančích. Sirob se musí ředit, ale na rozdíl od surové šťávy se zde využívají ke kontrole ředění oscilační hustoměry, jejichž správnost je kontrolována v laboratoři. Vlastní fermentace probíhá obdobně jako u surové šťávy. Schéma procesu je znázorněno na obr. 1.

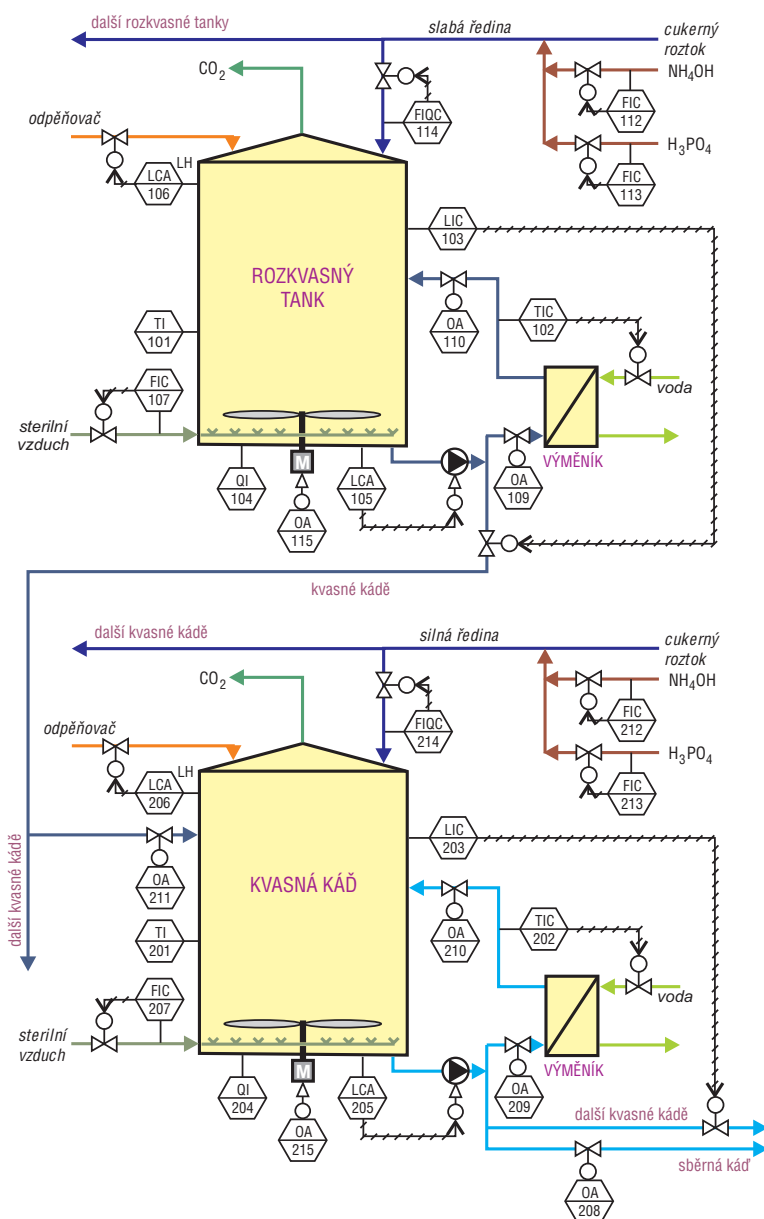
Při vlastní fermentační technologii se v obou případech (schéma I a II) nevyužívá recykl kvasinek, to znamená, že veškerá potřebná biomasa kvasinek se neustále propaguje v rozkvasném tanku. Jde tedy o kontinuální přípravu inokula. K tomuto účelu slouží čtyři rozkvasné tanky, každý o objemu 160 m³. Zákvas přechází plynule do kvasné kádě o objemu 500 m³ a poté do sběrné nádrže (500 m³).

Pro účely monitorování a řízení procesu jsou kvasné tanky opatřeny měřením a regulací teploty v tanku, měřením teploty výstupní chladicí vody a měřením teploty výstupu zápary (cirkulace externím výměníkem), jejíž hodnota slouží pro regulaci otevření ventilu chladicí vody v cirkulačním výměníku. Dále je u fermentorů instalováno měření a regulace hladiny (zajišťuje spojení s nádobou pro regulaci hladiny). V dolní části tanku je instalováno volumetrické měření hustoty, u dna tanku je umístěna záplavová sonda, která zajišťuje vypnutí čerpadla při vyčerpání zápary z tanku. Automatické odpěňování zajišťuje systém sestávající ze dvou vodivostních čidel spojených s ventilem odpěňovače. Každý tank je opatřen pohyblivou CIP („clean-in-place“) hlavicí zajišťující sanitaci vnitřní části tanku. Průtok mezi tanky je pomocí indukčního průtokoměru regulován pozičně řízenou armaturou. Provozdušňování je ovládáno vstupní armaturou bez on-line regulace množství vstupujícího vzduchu. Provozdušňování slouží k rychlejšímu nárůstu kvasinek v rozkvasném tanku, příp. i v kvasném tanku, ale to jen málo a výjimečně. Kvasné tanky jsou ještě opatřeny armaturou pro přepouštění zákvasu z rozkvasného tanku a vypouštěcí armaturou pro prokvašené médium odváděné do sběrné nádrže.

Při fermentaci surové (difúzní) šťávy, která probíhá kontinuálně, jsou všechny čtyři rozkvasné tanky v činnosti a produkují zákvas, který je podle hladiny přepouštěn do prvního kvasného tanku. Přítok do jednotlivých tanků se nastavuje ručně, hladina v nádobách se reguluje odpouštěním média do další kádě.

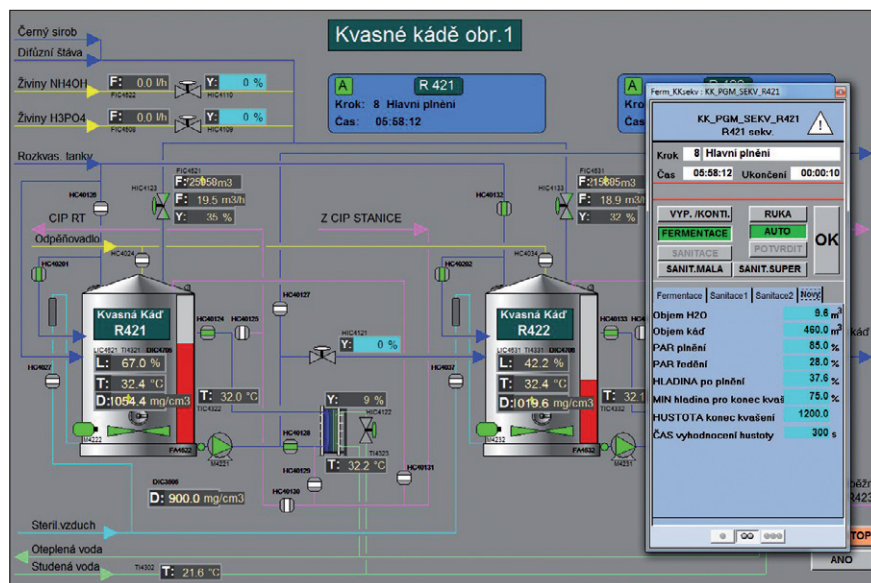
Při zpracování černého sirobu (jako příklad zde uvádíme černý sirob, ale je možno použít i jiné siroby) je nutno jak pro rozkvasný, tak i pro kvasný tank připravit dvě ředění sirobu. Slabá ředina o koncentraci sacharosy cca 10 % hm se používá jako přírtek do rozkvasného tanku. Silná ředina je koncentrovaný cukerný roztok o koncentraci sacharosy cca 25 % hm, který slouží jako přírtek do vlastních kvasných tanků a koncentrace cukru pro tento přítok se nastavuje v určitém poměru k přiváděné slabé ředině ze zákvasu tak, aby bylo dosaženo stanovené koncentrace

Obr. 2. Zjednodušené technologické schéma části technologie výroby lihu s okruhy měření a řízení



cukru ve fermentačním tanku. Výše popsaný režim je možno různě modifikovat. Tak např. v kampani 2013/2014 probíhal proces fermentace diskontinuálně: zákvas byl připravován ve třech zákvasných tančích a odtud pak diskontinuálně odčerpáván do fermentačních tanků při startu kvašení tak, aby bylo dosaženo žádané koncentrace kvasinek. Pro kvasný tank je potom třeba vypočítat množství tzv. regulační vody. Z předpokládaných hodnot naplnění fermentačního tanku, z požadované hodnoty celkového ředění sirobu v kvasném tanku, z hodnoty ředění slabé a silné řediny a z množství zákvasu (slabé řediny) v kvasném tanku, z odečtu hladinoměru a z průtoku pracích vod periferních provozů vypočte automat množství vody, které se musí do kádě nadávkovat, aby byla dodržena hodnota ředění sirobu. Výpočet je nutno provádět, protože mezi jednotlivými káděmi jsou časové posuny v jejich zakládání a tudíž se mírně mění objemový poměr mezi zákvasem (slabou ředinou) a silnou ředinou. Průběh vlastního kvašení je kontrolován hodnotou

Obr. 3. Operátorská obrazovka pro řízení kvasné kádě (ProjectSoft HK a.s.)



hustoty. Doplnění kvasné kádě na nejvyšší hladinu silnou ředinou je kontrolováno pouze odečtem sacharizace, která by neměla překročit předepsanou hodnotu. Konec fermentace je určován harmonogramem odběru prokvašené záparty ze sběrné kádě na destilaci s přihlédnutím na aktuální sacharizaci či hustotu kádě.

Monitorování a regulace (1)

Při zpracování difúzní šťávy se měří její sacharizace, její pH, její průtok do jednotlivých kádí, tlak v potrubí, průtok živin, přísadek odpeňovacího prostředku, teplota kvasicího média a hladina média v jednotlivých kádích. Při zpracování černého srobu je nutno regulovat průtok slabé a silné řediny, pH ředin, průtok živin, průtok ředin do jednotlivých tanků, přísadek odpeňovacího prostředku, teplotu ředící vody, teplotu medií ve fermentorech, celkové ředění srobu v kádě a maximální hodnotu sacharizace.

Provozdušňování se provádí ve všech rozkvasných tancích na předepsanou hodnotu průtoku vzduchu, který je nastavován ručně. Médium v kvasných tancích se provozdušňuje, buď v prvních dvou fermentorech, pokud se pracuje v kontinuálním režimu, nebo v jednotlivých fermentorech do naplnění na hladinu cca 40 % v diskontinuálním režimu.

Koncentrace ethanolu se měří laboratorně 1× denně v celé kvasírně, koncentrace celkového ředění srobu je upravována dle hodnoty zbytkových cukrů.

Kromě toho jsou v laboratoři pro kontrolu fermentace a kvality surovin zjišťovány následující hodnoty pro:

- surovinu: pH, laktát, sacharizace, polarizace, tvrdost vody, titrační kyselost
- vlastní proces: počet a vitalita kvasinek, pH, titrační kyselost, laktát, lihovitost, glukosa, fruktosa, sacharosa, tvrdost záparty (jako ukazatel zanášení teplosměnných ploch aparátů).

Celá výroba je sledována a řízena počítačovým řídicím systémem. Pro popis způsobu řízení si z celého výrobního schématu vybereme jenom část, konkrétně rozkvasný tank

a kvasnou kád'. Technologické schéma s vyznačenými okruhy měření a regulace pro zpracování srobu je na obr. 2. Okruhy MaR týkající se rozkvasného tanku jsou číslovány od 101, u kvasné kádě jsou číslovány od 201. Ve schématu jsou pro lepší přehlednost vynechány cesty pro sanitaci zařízení.

Jak je patrné z obr. 2., jsou rozkvasné tanky i kvasné kádě vybaveny okruhy měření a regulace téměř shodně. Je v nich měřena teplota (TI 101, TI 201) a měřena a regulována výška hladiny (LIC 103, LIC 203). Protože kvasný proces produkuje teplo (exotermní reakce), musí být kvasné médium (zápara) chlazeno. To zajišťují výměníky chlazené vodou a regulační okruhy TIC 102 a TIC 202. Obsah fermentorů je promícháván, míchadla se ovládají okruhy OA 115 resp. OA 215. V dolní části tanku je instalováno čidlo hustoty (QI 104, QI 204) pro sledování

průběhu kvašení. U dna je umístěna záplavová sonda, která zajišťuje vypnutí čerpadla při vyčerpání záparty z tanku (LCA 105, LCA 205). Automatické odpeňování zajišťuje systém sestávající z mezních čidel hladiny ovládajících dávkování odpeňovače (LCA 106, LCA 206). Provozdušňování je ovládáno ručně a slouží k rychlejšímu nárůstu kvasinek v rozkvasném tanku, příp. i v kvasném tanku. Předepsaný průtok vzduchu je udržován regulačním obvodem FIC 107 resp. FIC 207. Kvasné tanky jsou ještě opatřeny armaturou pro přepouštění zákvasu z rozkvasného tanku (OA 211) a vypouštěcí armaturou do sběrné nádrže (OA 208).

Při zpracování černého srobu je nutno jak pro rozkvasný, tak i pro kvasný tank připravit dvě ředění srobu. Slabá ředina (cca 10 % hm. cukru) se používá jako příkrm do rozkvasného tanku. Silná ředina je koncentrovaný cukerný roztok, který slouží jako příkrm do vlastních kvasných tanků. Koncentrace cukru pro tento přítok se nastavuje v určitém poměru k přiváděné slabé ředině ze zákvasu tak, aby bylo dosaženo stanovené koncentrace cukru ve fermentačním tanku. NH_4OH a H_3PO_4 se přidávají k cukernému roztoku v určeném poměru k jeho průtoku, dávkování zajišťují okruhy FIC 112 a FIC 113 pro všechny rozkvasné tanky, resp. FIC 212 a FIC 213 pro všechny kvasné kádě. Při fermentaci surové šťávy, která probíhá kontinuálně, jsou všechny rozkvasné tanky v činnosti a produkují zákvas, který je podle výšky hladiny (LIC 103) přepouštěn do první kvasné kádě. Do další kvasné kádě se médium přepouští podle výšky hladiny (LIC 203).

Výše popsany režim je možno různě modifikovat. Průběh vlastního kvašení je kontrolován hodnotou hustoty (QI 104 resp. QI 204). Doplnění kvasné kádě na maximální hladinu silnou ředinou je kontrolováno pouze zjištěním sacharizace, která by neměla překročit předepsanou hodnotu. Konec fermentace je určován harmonogramem odběru prokvašené záparty ze sběrné kádě na destilaci s přihlédnutím k aktuální sacharizaci či hustotě prokvašené záparty.

Na obr. 3. je ukázka operátorské obrazovky řídicího systému. Je na ní znázorněno technologické schéma s měřeními hodnotami, polohami ventilů na potrubích apod. Otevřené okno uprostřed slouží k zadávání hodnot parametrů řízení a k ovládání procesu.

Článek vychází z textu kapitoly 22.13 Řízení fermentace v lihovaru Tereos TTD a.s. Dobruška z knihy *Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích* (edit. Kadlec K., Kmínek M., Kadlec P. a kol.) (2015), která vyšla v nakladatelství Key Publishing Ostrava. Počítačový řídicí systém dodala firma ProjectSoft HK, a.s.

Souhrn

Článek velmi stručně uvádí příklad aplikace měření a regulace ethanolové fermentace instalované v lihovaru Tereos TTD, a.s., v Dobrušce. Systém z větší části vyvinutý firmou ProjectSoft HK, a.s., byl realizován pro fermentaci jak surové (difúzní) šťávy, tak i pro různé druhy zahuštěných cukerných šťáv (např. černých sirobů). Ve dvou schématech je stručně a názorně ukázán a v textu pak diskutován systém měření a řízení fermentačního procesu. Při tak velkém objemu zpracované suroviny by nebylo možné bez optimálního řízení dosáhnout požadovaných výrobních parametrů.

Klíčová slova: ethanol, výtěžnost ethanolu, měření a regulace fermentace, lihovar Tereos TTD, schémata řízení fermentace, surová šťáva, černý sirob.

Literatura

1. KMÍNEK, M.; RYCHTERA, M.; ČERNÝ, V.: Řízení fermentace v lihovaru Tereos TTD a.s. Dobruška, s. 272–276. In: KADLEC, K.; KMÍNEK, M.; KADLEC, P.(eds.): *Technologie potravin – Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích*. Ostrava: KEY Publishing, s.r.o., 2015.
2. MELZICH, K.: Lihovarnictví a výroba lihovin, In KADLEC, P.; MELZICH, K.; VOLDŘICH, M. ET AL. (eds.): *Přehled tradičních potravinářských výrobců*, Ostrava: Key Publishing, s.r.o., 2012, s. 363–389.
3. EXNAR, P. ET AL.: *Libovarnická příručka*. Praha: Agrospoj, 1998.
4. RYCHTERA, M.; UHER, J.; PÁČA, J.: *Libovarnictví, drožďářství a vinařství*. II. část, Praha: Ediční středisko VŠCHT, 1992.
5. DYR J.: *Libovarnictví*. I.díl, Praha: SNTL, 1955.
6. DYR J., GRÉGR V., SEILER A.: *Libovarnictví*. II. díl, Praha: SNTL, 1963.
7. LYONS, T. P.; KELSALL, D. R.; MURTAGH, J. E. (EDS): *The Alcohol Textbook: Ethanol Production by Fermentation and Distillation*. Nottingham University Press, 1995.

Rychtera M., Kmínek M., Černý V.: Application of Control Systems in Fermentative Production of Ethanol

This article briefly describes a case of application of monitoring and control of ethanol fermentation installed in the distillery plant of Tereos TTD, a.s., in Dobruška, Czech Republic. The system developed to a large extent by the company ProjectSoft HK, a.s., was realized for fermentation processes both for raw juice and for various thick sugar juices (e.g. black syrup). Two flow charts briefly illustrate and the text describes the principle of ethanol production and the system of monitoring and control of the fermentation process. For such a big volume of treated raw material there would be no chance to reach the required production parameters without an optimal process control.

Key words: ethanol, ethanol yield, monitoring and control of fermentation, distillery Tereos TTD Dobruška, flow chart for fermentation control, raw juice, black syrup.

Kontaktní adresa – Contact address:

prof. Ing. Mojmir Rychtera, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Fakulta potravinářské a biochemické technologie, Ústav biotechnologie, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: mojmir.rychtera@vscht.cz

