

MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

Měření barvy

MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY:
COLOUR MEASUREMENT

Pavel Kadlec, Karel Kadlec – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

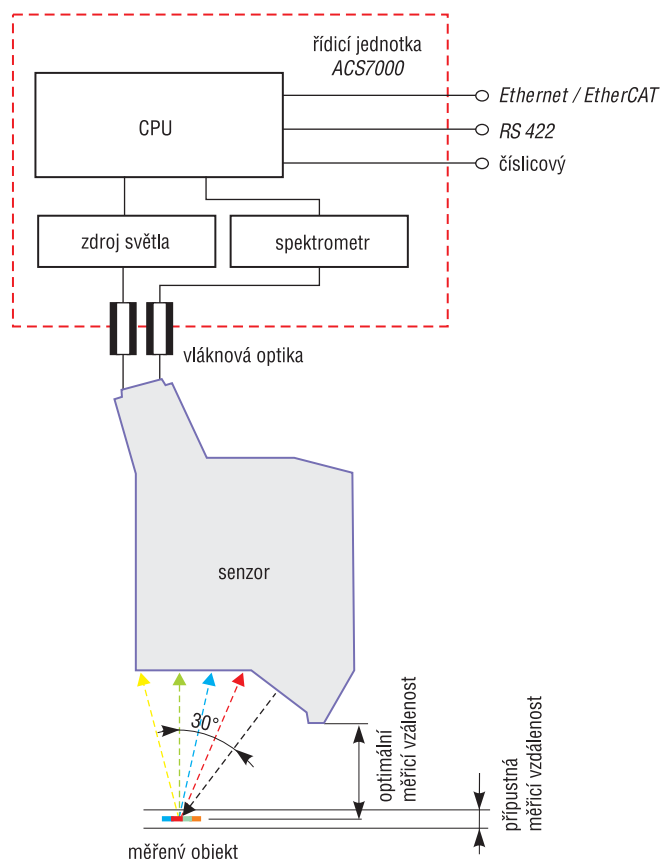
Měření barvy v reálném čase

Měření barvy látek a jakýchkoli produktů (potravin, cukru) v reálném čase umožňuje monitorovat kvalitu daného produktu, a tím pomáhat operátorům včas odhalit jakékoliv provozní závady způsobené lidskou obsluhou. Přesnost měření umožňuje, aby proces probíhal efektivně a ekonomicky při dosažení nejvyšší kvality a zachování co nejvyšší bezpečnosti. Není-li v provozu on-line zařízení na sledování kvality, tak se obvykle první informace o změně kvality získá až z laboratorních výsledků. Při kontinuální výrobě to znamená odebrat vzorky v pravidelných intervalech, což lze řešit přímým odbíráním vzorků z pásového dopravníku, nebo se vzorky odebírají automatickým vzorkovačem v přesném časovém intervalu. V obou případech ale dochází k podstatnému zpoždění, než se operátor dozví

výsledek analýzy z laboratoře. Je-li tímto způsobem zjištěno, že kvalita produktu neodpovídá standardu, tak se často dostane k zabalení nebo k uskladnění i několik tun zpracovávaných výrobků nestandardní kvality. Operátor pak obtížně hledá a identifikuje důvody, které danou závadu způsobily, neboť problém mohl vzniknout v jakékoli fázi výroby. Do té doby než operátor najde vlastní zdroj závady a laboratoř následně potvrdí, že závada je odstraněna, musí se veškerý vyrobený produkt vrátet do výroby, nebo je nutno jej vyřadit.

Jako příklady aplikací měření barvy v reálném čase lze uvést monitorování barvy potravin, nejčastěji za sušárnou (cukr), za pecí (pekařské výrobky), nebo za smažicí či pražicí pánví (bramborové lupínky, káva aj.). Systém detekuje a zaznamenává i velmi malé odchylky od standardní barvy výrobků na celé šířce dopravníku. Zajišťuje tak jejich žádanou kvalitu a minimalizuje odpady. Podrobnější údaje o měření barvy obecně a měření barvy potravin uvádí kniha (1).

Obr. 1. Blokové schéma přístroje colorCONTROL ACS7000 (upraveno podle www.micro-epsilon.cz)



Vyjádření barvy a přístroje pro její měření

V oblasti měření barev byla vytvořena řada standardů a byl definován matematický model pro přesný popis barev. Byly zavedeny pojmy (veličiny):

- **chromatičnost** pro vyjádření barevnosti světla, která je určena spektrálním složením a intenzitou vyzařovaného světla,
- **kolorita (barevnost)** pro vyjádření barvy objektů (předmětů), které představují pasivní druhotné zářiče a je rovněž určena spektrálním složením a intenzitou vyzařovaného světla a dále odrazivostí či propustností předmětů.

Obr. 2. Standardní senzor ACS systému colorCONTROL ACS7000 (upraveno podle www.micro-epsilon.cz)



Aby bylo možno kvantitativně vyjádřit chromatičnost a koloritu, vznikla **trichromatická měrná soustava**, která vychází z předpokladu, že aditivním mícháním tří vhodně zvolených barevných světél lze vyvolat vjem jakékoliv barvy. Obě veličiny se vyjadřují pomocí trichromatických souřadnic, označených X, Y, Z (2). Pro měření barvy objektů se používají přístroje označované jako:

- **kolorimetry (fotometry)**, které měří při jedné, nebo jen při několika přesně definovaných vlnových délkách monochromatického světla,
- **spektrofotometry**, které jsou technicky složitější a dokonalejší a umožňují libovolně nastavit vlnovou délku monochromatického světla, nebo měřit část absorpčního spektra v určitém úseku vlnových délek.

Principiálně se fotometr i spektrofotometr skládá ze čtyř částí: zdroje světla, monochromátoru, místa na umístění vzorku a detektoru. Jako zdroj světla slouží vhodná žárovka nebo výbojka.

Snímače pro inline měření barvy objektů

K detekci a měření barev lze použít nejrůznější snímače, které rozpoznávají barvu povrchu objektů a samostatně svítící objekty. Jako příklad je uveden snímač pro detekci barev od společnosti Micro-Epsilon, který je vhodný pro kontrolu kvality produktu, povrchové značení a další úkoly automatizační techniky.

Systém pro měření barev *colorCONTROL ACS7000* firmy Micro-Epsilon rozpozná referenční barvy při srovnání, ale také zřetelně identifikuje jednotlivé barvy od jejich souřadnic v barevném prostoru. Díky vysoké rychlosti měření je *colorCONTROL ACS7000* vhodný pro aplikace, kde se kontrolují a měří barvy a odstíny během výrobního procesu s požadavkem vysoké přesnosti. K řídicí jednotce je možno připojit tři typy senzorů – standardní, kruhový a pro transparentní materiály (3). Blokové schéma měřicího systému, který pracuje jako bezkontaktní, je znázorněno na obr. 1.

Pro běžné měřicí úkoly se používá standardní snímač *ACS1* (obr. 2.). Zdroj a detektor světla uvnitř snímače jsou k sobě uspořádány pod úhlem 45° nebo 30°/0° a v pracovní vzdálenosti 50 mm, měřicí bod má průměr 9 mm. K dispozici je volitelně adaptér, který umožňuje použití snímače i při dotykovém měření.

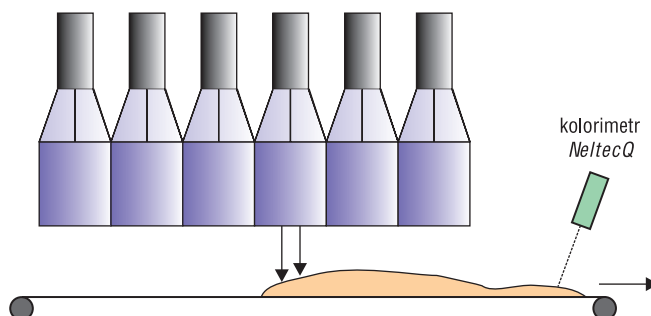
Snímače pro měření barvy kapalin

Jako příklad snímače vhodného pro měření barvy provozních kapalin je uveden absorpční fotometr SIGRIST *ColorPlus* (obr. 3.), jehož *In-line* verze se montují přímo na potrubí a měří bez potřeby odběru vzorku z potrubí. Při měření na úpravkách vody se většinou používají *By-pass* verze s průtočnou celou délkou 50 nebo 100 mm, které měří vzorek přiváděný odbočkou z hlavního potrubí. Typickou aplikací je měření barvy vody například vlnovou délkou 436 nm, což je důležité především při úpravě vod se zvýšeným obsahem huminových látek. Lze měřit jednotlivé kroky úpravy např. vstupní surovou vodu (pro upozornění na zhoršení kvality vstupní vody) a barvu upravené vody (pro kontrolu odstranění huminových látek) (4).

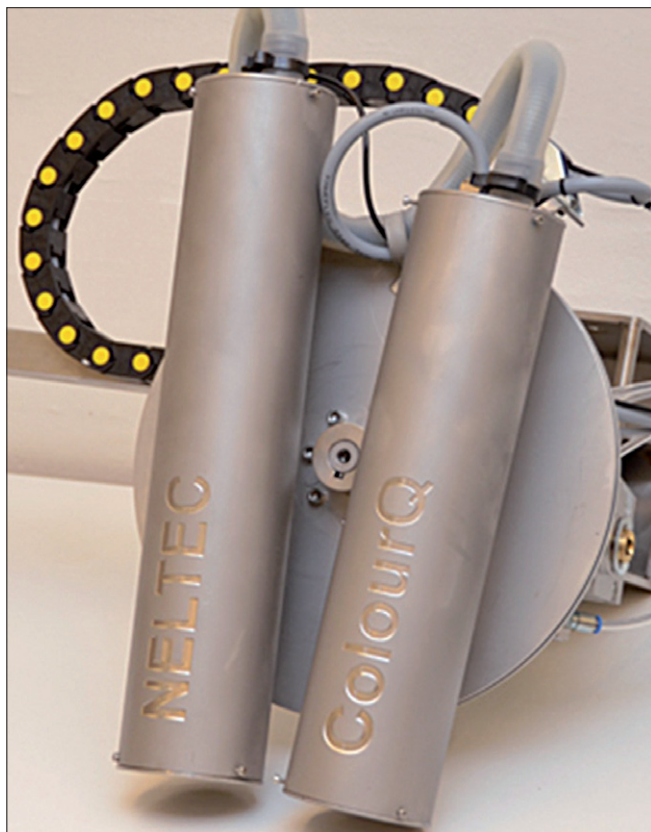
Obr. 3. Absorpční fotometr SIGRIST *ColorPlus 2* (www.photometer.com): a) *ColorPlus 2 By-pass*, b) *ColorPlus 2 In-line* (v ČR dodává TECHNO-PROCUR CZ, spol. s r. o., www.technoprocur.cz)



Obr. 4. Umístění kolorimetru Neltec ColourQ nad dopravním pásem cukru za odstředivkami (5)



Obr. 5. Kolorimetr Neltec ColourQ pro on-line monitorování barvy cukru (www.neltec.dk)



Obr. 6. Přístroj Colobserver® (Iteca Socadei, France) instalovaný nad pásový dopravník vlhkého cukru za odstředivkami



SIGRIST ColorPlus 2 (By-pass i In-line) může být osazen světelnými zdroji různých vlnových délek. Spektrum možných aplikací tohoto fotometru pro měření koncentrace různých

látek tlumících světlo při specifických vlnových délkách je tak velmi široké. Jeden přístroj navíc může být osazen světelnými zdroji až tří různých vlnových délek. Lze tak měřit například současně UV absorbanci (254 nm), barvu (436 nm) a současně provádět optickou kompenzaci vlivu zákalu třetí vlnovou délkou (546 nm).

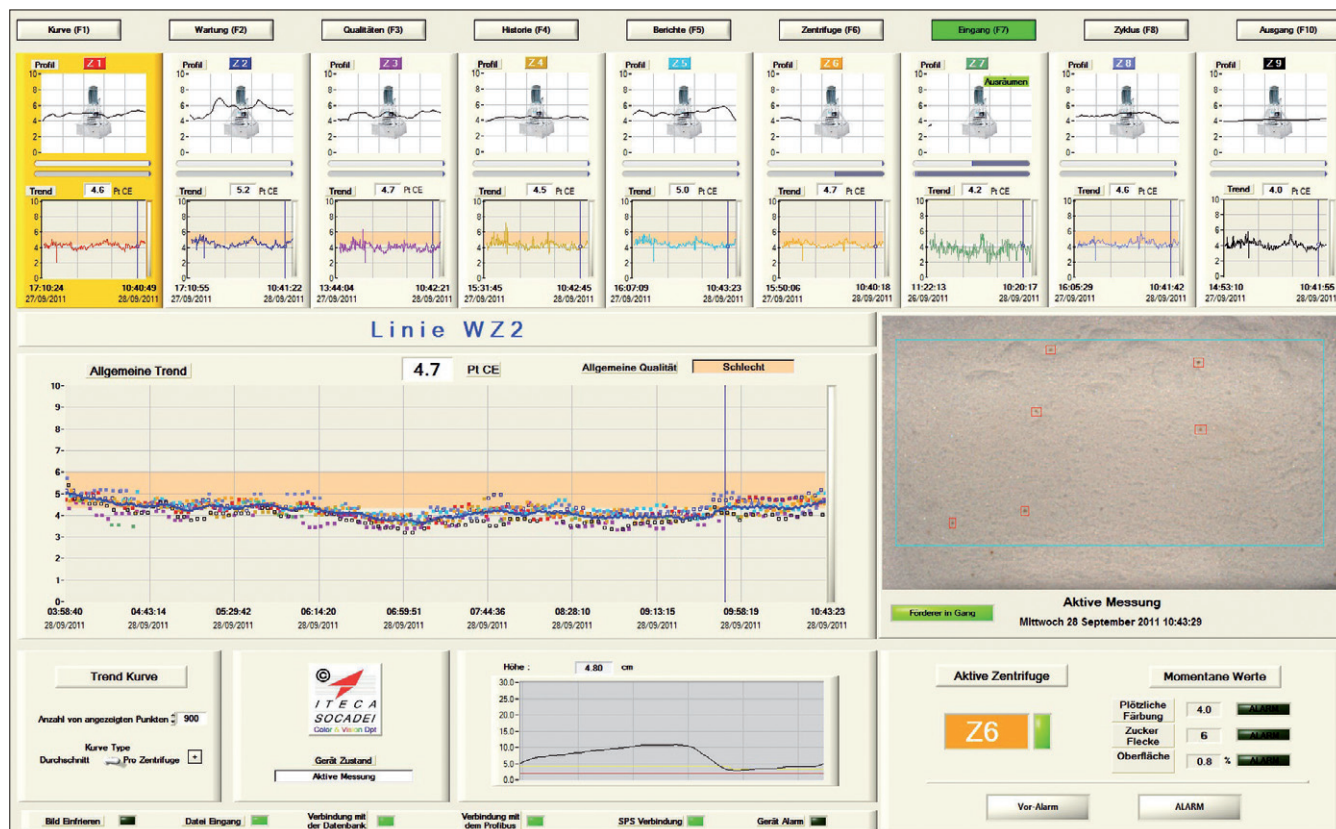
Měření barvy cukru v reálném čase

Je-li v provozu měřena barva cukru on-line za sušárnou, tak je kvalita cukru naskladňovaného do sila monitorována nepřetržitě. Zjistí-li operátor zhoršenou kvalitu cukru, okamžitě zasáhne a cukr místo do sila vrací do výroby k rozpouštění. Změna barvy se zaregistruje okamžitě, avšak měření neidentifikuje zdroj závady. Jedná-li se o rychlý skokový nárůst barvy cukru, pak je příčina pravděpodobně ve změně kvality zpracovávané cukroviny, která způsobila zhoršení barvy cukru.

Ke sledování změn barvy cukru hned za odstředivkami se v cukrovarnické praxi používají různé postupy a přístroje, z nichž zde uvedeme dva nejznámější: dánský systém Neltec ColourQ (5, 6) a francouzský systém Colobserver (7). Podobný systém nabízí i americká firma HunterLab Inc. (přístroj SpectraTrend HT). Pod pojmem barva cukru se vyjadřuje ve skutečnosti bělost cukru.

Je-li v provozu vždy pouze jedna odstředivka, může kolorimetr při snímání barvy cukru na dopravním pásu během vyprazdňování odstředivky vyhodnotit profil barvy cukru za každou odstředivkou a okamžitě identifikovat kolísání barvy odstředěného cukru (změny odstínu barvy cukru z bílé do žluté), které má zpravidla příčinu v nesprávném nastavení a dimenzi vykrývacích trysek a v seřízení doby vykrývání cukru v odstředivce. V tomto

Obr. 7. Záznam ze zrnače v reálném čase a ukázka programového vybavení Colobserver® (Iteca Socadei, France)



případě instalace čidla umožňuje okamžité zjištění technologické závady u dané odstředivky a operativní řešení problému bez ztráty času. Jednotlivě tak lze mechanicky optimalizovat chod každé odstředivky zvlášť, včetně optimalizace objemu vykrývací vody, což je spojeno s automatickým řízením vykrývání, které zajistí stabilní profil barvy odstředěného cukru (8).

Dalším přístrojem specializovaným na optimalizaci kvality bílého cukru je *Colobserver*[®] od francouzské firmy ITECA SOCADEI SAS. Jedná se o on-line kolorimetr s digitální kamerou s vysokým rozlišením, kterým se sleduje barva bílého cukru na dopravním pásu pomocí techniky odrazu (*reflectance technique*). *Colobserver*[®] provádí sběr a analýzu obrazu vlhkého nebo suchého cukru na dopravníku jakéhokoliv typu a především v celé šířce dopravníku, nejen v jednom místě. *Colobserver*[®] lze umístit nad dopravník cukru za odstředivky, kde měří barvu vlhkého cukru, jako je tomu např. v cukrovaru Uelzen společnosti Nordzucker (obr. 6.), nebo za sušárnu před tříděním cukru, nebo za cukerní silu. Průběžné hodnoty barvy cukru jsou udávány v jednotkách ICUMSA nebo v EU bodech, což umožňuje optimalizovat režim vykrývání cukru vodou nebo párou v odstředivkách. Výsledky on-line kolorimetru jsou porovnávány s údaji kontrolních vzorků, zjištěných laboratoří.

Díky analýze obrazu v reálném čase jsou funkční schopnosti systému *Colobserver* výrazně zvýšeny. Běžně měří barvu vlhkého nebo suchého cukru a detekuje přítomnost kusů hnědého cukru, ale také:

- spouští a zapisuje alarmy, upozorňující na produkt mimo technické podmínky a automaticky ovládá klapku, která odklání nestandardní cukr mimo výrobní linku,
- ukládá do paměti videosekvence alarmů,
- optimalizuje dobu vykrývání cukru v odstředivkách, a tím snižuje výrobní náklady,
- videozáznam zvyšuje zpětnou sledovatelnost a optimalizuje údržbu odstředivek (tj. obsluhu může přesně ukázat, zda má soustava vykrývacího potrubí ucpané trysky, nebo zda musí být vyměněna vyhmovací lopata),
- zaznamenává průběžně barevný profil odstředěného cukru z každé odstředivky během každé směny i celé kampaně (obr. 7.).

Pro zdokonalení procesu má obsluha k dispozici:

- barvu cukru v reálném čase (pro každou šarži a každou odstředivku) a barevné trendy (pro každou odstředivku a produkci jako celek),
- automatickou detekci nestandardního produktu pomocí zpracování obrazu a automatizaci, která preventivně zabrání kontaminaci cukru v sušárně a v síle,
- videozáznamy výstřah,
- dálkový přístup, což umožňuje, aby výrobní zařízení byla vždy k dispozici.

Souhrn

V příspěvku jsou popsány principy snímačů pro měření barvy objektů a jsou uvedeny dva příklady provozních on-line systémů sledování barvy bílého cukru. Oba systémy, jak *Neltec ColourQ*, tak i *Colobserver*[®] představují v současné době nejvýkonnější on-line zařízení pro sledování kvality a produkce cukru, což se významně projevuje v ekonomice výroby, zvýšení kvality bílého cukru, zpracovatelské kapacity, a tím i ve zvyšování zisku.

Klíčová slova: měření barvy, on-line kolorimetr, barva bílého cukru, analýza obrazu v reálném čase.

Literatura

1. KADLEC, K.; KMÍNEK, M.; KADLEC, P.: *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů*. Ostrava, KEY Publishing, 2017.
2. DANNHOFFEROVÁ, J.: *Velká kniha barev*. Brno: Computer Press, 2012.
3. *Instruction Manual color CONTROL ACS7000*. MICRO-EPSILON Eltrotec GmbH Udingen, 2008.
4. PIŠAN, J.: *Využití provozních fotometrů pro kontinuální měření parametrů vody*. 2017, [on-line] www.technoprocur.cz/underwood/download/files/SIGRIST_-_Vyuzeni_provoznich_fotometru.pdf.
5. NIELSEN, B. CH.: Reducción de costos eliminando color mediante su medición en tiempo real. In *30. Convención ATAM*, 4.–7. 9. 2007. World Trade Center, Veracruz, Mexico, 2007.
6. DIRINGER, T.; NIELSEN, B. CH.: *Collecting and using accurate real-time process information to troubleshoot and prevent problems in the sugar factory*. Neltec Denmark A/S Bevtøft, 2008.
7. *On-line Color Analyzer*. ITECA SOCADEI SAS: Firemní materiál Colobserver, Aix-en-Provence, 2015.
8. CHORAO, J. M.: A refiner's experience of on-line colour measurement. *Int. Sugar J.*, 114, 2012 (1367), s. 804–809.

Kadlec P., Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Colour Measurement

The paper describes the principles of sensors for colour measurement of objects and gives two examples of process systems on-line monitoring of white sugar colour. Both systems, *Neltec ColourQ* and *Colobserver*[®] belong among the most efficient contemporary on-line equipment used to track sugar quality and sugar production; this will have a significant impact on the production economy, quality of white sugar, and production capacity and will lead to increase in profits.

Key words: colour measurement, on-line colourimeter, white sugar colour, image analysis in real time.

Kontaktní adresa – Contact address:

prof. Ing. Pavel Kadlec, DrSc. Vysoká škola chemicko-technologická, Fakulta potravinářské a biochemické technologie Ústav sacharidů a cereálií, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika, e-mail: pavel.kadlec@vscht.cz

doc. Ing. Karel Kadlec, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Fakulta chemicko-inženýrská, Ústav fyziky a měřicí techniky, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: karel.kadlec@vscht.cz

ROZHLEDY

Getaz M.

Lamelové dekantéry v cukrovarnictví (*Lamella clarifiers in sugar processing*)

Lamelové dekantéry se používají v čistírnách odpadních vod od roku 1970, kromě cukrovarnického průmyslu se dále používají také v průmyslu papírenském a v hornictví. Při aplikacích v cukrovarnictví při čištění šťáv patří k výhodám lamelových dekantérů podstatné zkrácení doby zdržení šťávy v dekantéru, efektivnější čištění a nižší investiční náklady. V článku jsou popsány praktické provozní zkušenosti v plno-provozním měřítku.

Int. Sugar J., 120, 2018, 1436, s. 770–776.

Kadlec