

## MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

## Měření optických vlastností kapalin (část 2.)

MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY:  
MEASUREMENT OF OPTICAL PROPERTIES OF LIQUIDS (PART 2)

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

## Polarimetry

Polarimetry umožňují kvantitativní stanovení koncentrace opticky aktivních látek, které mají schopnost otáčet rovinu polarizovaného světla. Využití polarimetrie je zvláště výhodné v případech, kdy se určuje jedna opticky aktivní látka ve směsi látek opticky neaktivních. V takovém případě se jedná o stanovení selektivní. Polarimetry se uplatňují jak v laboratoři, tak při provozním měření, zejména v cukrovarnictví, ale i v dalších odvětvích potravinářského a chemického průmyslu. V cukrovarnictví se polarimetry využívají při měření obsahu cukru v cukrové řepě, v provozních šťávách, meziproduktech a i v konečných výrobcích.

## Princip činnosti polarimetru

Některé krystaly a některé kapaliny mají schopnost stáčet polarizační rovinu lineárně polarizovaného světla. Tento jev se nazývá **rotační polarizace** a příslušné látky se nazývají **opticky aktivní**. Opticky aktivními jsou například roztoky sacharidů, bílkoviny, oleje a další. Každou opticky aktivní látku charakterizuje fyzikální konstanta, tzv. **měrná (specifická) otáčivost**  $[\alpha]$ . Pro roztoky opticky aktivní látky je měrná otáčivost definována jako úhel, o který se otočí rovina polarizovaného světla při jednotkové tloušťce (délce kyvety)  $L = 1$  dm a jednotkové koncentraci  $c = 1$  g·ml<sup>-1</sup>. Hodnota závisí na teplotě  $t$  a vlnové délce  $\lambda$  a zpravidla se udává pro čáru sodíkového dubletu  $D(\lambda = 589,3$  nm) a teplotu 20 °C. Mezi úhlem stočení  $\alpha$  a koncentrací látky  $c$  platí lineární vztah:

$$\alpha = c \cdot [\alpha]_i \cdot L \quad (1)$$

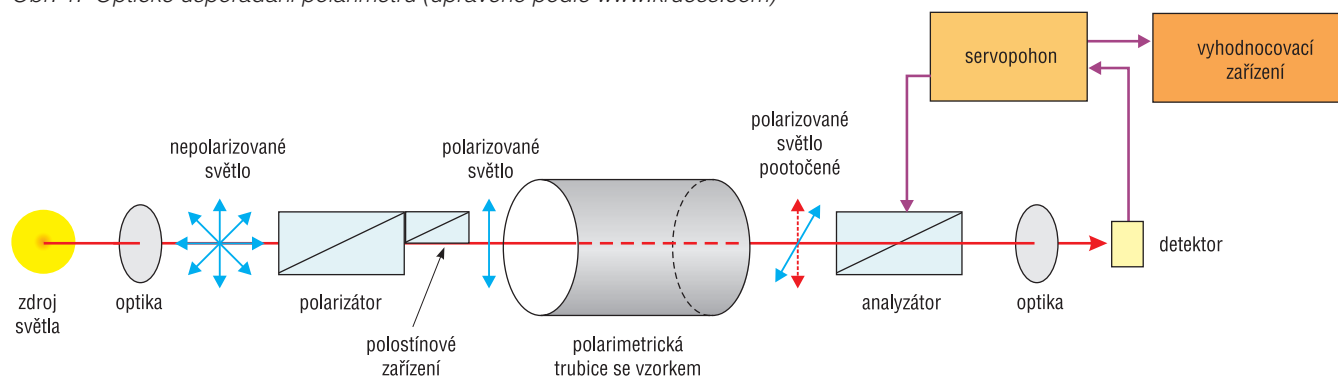
K měření optické otáčivosti látek nebo jejich roztoků se používají **polarimetry**, na nichž lze pomocí srovnávacích měření nepřímo zjišťovat i jiné chemické a fyzikální parametry látek a jejich roztoků, např. hustotu, čistotu, koncentraci apod.

Princip polarimetrické metody měření optické aktivity (stáčivosti) látek je znázorněn na obr. 1. Zdrojem světla emitujícím nepolarizované světlo se vytvoří rovnoběžný svazek paprsků. Podstatnou částí polarimetru jsou polarizátor a analyzátor, většinou realizované Nicolovými hranoly. Jsou to speciálně upravené krystaly dvojlomného islandského vápence, který rozkládá paprsek normálního záření na řádný (*ordinarius*) a mimořádný (*extraordinarius*). Po průchodu polarizátorem se získá lineárně polarizované světlo, které se šíří měřeným vzorkem. V důsledku optické aktivity látky vzorku dojde ke stočení roviny polarizovaného světla o úhel  $\alpha$ . Pro stanovení tohoto úhlu slouží tzv. analyzátor (druhý lineární polarizátor), jehož natočením se stanoví úhel  $\alpha$  (1, 2, 3, 4).

U nejjednodušších ručních polarimetrů je detektorem okulár a lidské oko. Paprsek může být také rozdělen na dva (jeden prochází vzorkem, druhý „standardem“) a okem se porovnává jejich intenzita. Moderní přístroje jsou vybaveny vhodným detektorem světla a motorovým pohonem spojeným s vyhodnocovacím zařízením.

Pro přesnější měření bývají polarimetry vybaveny polostínovým zařízením, které rozdělí zorné pole (podle konstrukce přístroje) na dvě nebo tři části. Otáčením analyzátoru se mění vzájemný poměr osvětlení v jednotlivých částech a nastavuje se tak, aby bylo osvětlení pole homogenní. Zorné pole polarizátoru rozdělené do tří částí je nakresleno na obr. 2. Toto rozdělení umožní přesnější měření úhlu  $\alpha$ , který se odečítá, když je pole stejnoměrně osvětlené. Při správném nastavení jsou všechny plochy zorného pole stejně osvětleny, zatímco při nepřesném nastavení je jedna z plošek tmavší nebo světlejší.

Obr. 1. Optické uspořádání polarimetru (upraveno podle www.kruess.com)

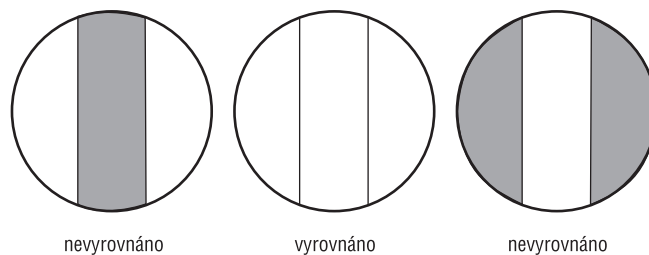


## Laboratorní a provozní polarimetry

Nová generace polarimetrů, např. polarimetry MCP dodávané firmou Anton Paar, (obr. 3.a) využívá koncepci, která umožňuje specifické uživatelské konfigurace a poskytuje řadu možností pro budoucí rozšíření, umožňuje volbu správné kombinace typu měřicí cely a vlnové délky. Vedle standardní vlnové délky sodíkové výbojky 589 nm lze podle požadované aplikace zařadit další vlnové délky, které je možné přidat kdykoliv během provozu polarimetru. Zařazení termostatu s Peltierovými články umožňuje aplikace s vysoce přesným řízením teploty. Přístroj se ovládá pomocí dotykového displeje; při provádění kalibrace naviguje uživatele ovládací software. Polarimetry jsou vybaveny komunikačním rozhraním (RS-232, USB, Ethernet, CAN, a VGA rozhraním pro připojení čtečky čárových kódů). Polarimetry MCP měří optickou aktivitu přesně v celém rozsahu měření, eliminují chyby obsluhy a pro kalibraci a nastavení polarimetru již nejsou zapotřebí tabulky a manuálně vkládané hodnoty teploty.

Pro provozní on-line a in-line měření koncentrace opticky aktivních látek nabízí firma Anton Paar automatický **provozní polarimetr Propol** (obr. 3.b). Vysokou přesnost měření umožňuje využití Faradayova efektu, na jehož základě dochází při působení podélného magnetického pole ke stáčení roviny lineárně polarizovaného světla. Měřicí rozsah lze nastavit např. pro koncentraci sacharosy nebo glukosy od 0 do 65 % hm. na 0,1 %, 0,01 % nebo 0,001 %. Přístroj nemá žádné pohyblivé části. Může spolehlivě měřit i silně barevné roztoky při dvou vlnových délkách 589 nm nebo 546 nm. Je ideální pro instalaci v náročných provozních podmínkách, řídicí jednotka může být umístěna mimo provoz ve velínu. Obecné využití tohoto provozního polarimetru Propol je při sledování extrakce nebo

Obr. 2. Detail třídílného zorného pole polarimetru během měření



syntézy sacharidů, aminokyselin, vitamínů, steroidů, antibiotik, enzymů, barevných látek, aromatických látek, herbicidů, pesticidů aj. V cukrovarnictví se využívá *Propol* k měření koncentrace sacharosy provozních šťáv a sirobů a při kontrole kvality odpadních vod.

Další výrobce, německá firma Schmidt+Haensch GmbH & Co., dále jen Schmidt+Haensch nabízí novou řadu polarimetrů *Polartronic* (obr. 4.). Přístroj využívá jako světelné zdroje monochromatické LED diody. Klasické sodíkové a rtuťové lampy se nabízejí jako alternativa i nadále pro speciální účely. Samozřejmostí je dotykový displej, trubice s Peltierovým článkem, výkonný procesor s mnoha kompenzačními a korekčními funkcemi a všechny typy výstupů. Stále se ale nabízí u všech modelů i verze se standardní klávesnicí, která je vhodnější pro výrobní prostředí. Firma Schmidt+Haensch má patentovaný unikátní systém křemenného lineárního neotočného analyzátoru, kdy namísto otočného prvku je použit klínový křemenný výbrus, zasouváný do cesty měřicímu paprsku. Tato konstrukce je používána u nejpřesnějších cukrovarnických polarimetrů Schmidt+Haensch.

## ROZHLEDY

**Verstejl A., Pötzl J.**  
**Modifikace a expanze cukrovaru z hlediska legislativy – Na příkladu cukrovaru Anklam v Meklenburgsku-Předním Pomoránsku** (*Modification and expansion of a sugar production plant from a legal point of view – Demonstrated with the example of the Anklam sugar factory in Mecklenburg-Vorpommern*)

Rozšíření cukrovaru vyžaduje kromě jiného vyrovnat se s požadavky legislativy na imise. Článek objasňuje základní legislativní hlediska, která je nutno respektovat jak ve stadiu projekčních prací, tak při vlastním stavbě a provozu rozšířeného cukrovaru.

*Zuckerind. / Sugar Ind., 142, 2017, č. 10, s. 584–588.*

*Kadlec*

**Liu Y., Liang D. Lin R., Chang G., Ma B., Liu G.**  
**Aplikace detekčního setu na dextran a použití dextranasy v čínských řepných a třtinových cukrovarech** (*Solution for dextran problem with applications of dextran detection kit and dextranase in China cane/beet sugar factories*)

V čínských řepných i třtinových cukrovarech se používají k monitoringu dextranu detekční sety (anti-dextran monoklonální

protílátky v immuno-nefelometrickém setu) a k odstranění dextranu pak enzym dextranasa. Obsah dextranu v řepě nebo ve třtině, v meziproduktech a finálních výrobcích se zjišťuje pomocí detekčního setu. K eliminaci dextranu byla aplikována dextranasa v množství 15 g.t<sup>-1</sup> řepy nebo třtiny. Ekonomická analýza ukázala, že v třtinových cukrovarech je poměr nákladů na použití dextranasy k benefitu 1:5,7. U řepných cukrovarů byl vyhodnocen zisk (benefit) v hodnotě cca 1,5 mil. USD za jednu kampaň.

*Int. Sugar J., 120, 2018, č. 1432, s. 296–298.*

*Kadlec*

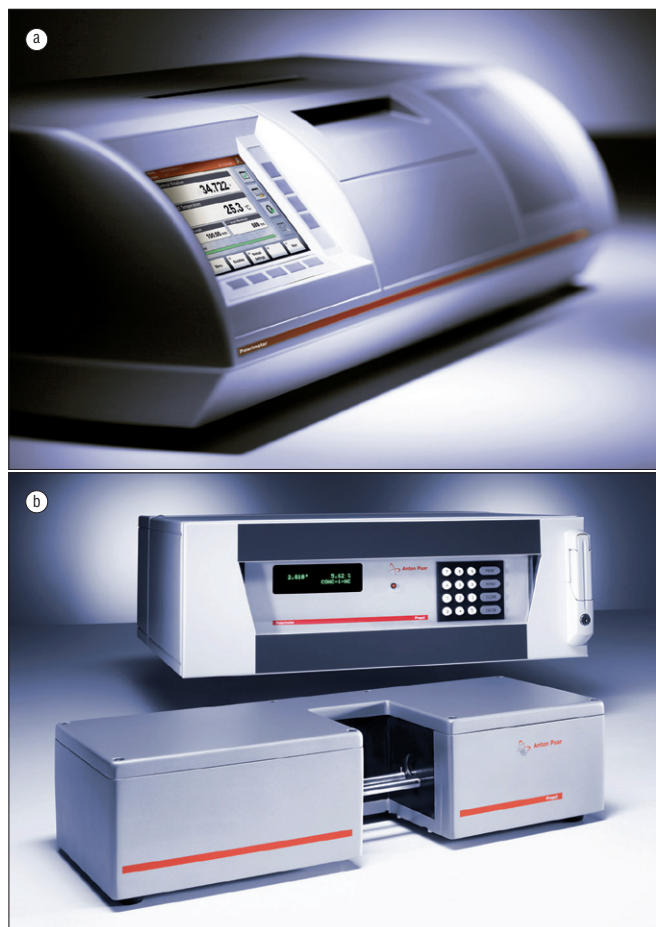
**Wojtczak M., Papiewska A.**  
**Mikrobiologická čistota surového a rafinovaného bílého třtinového cukru** (*Microbiological purity of raw and refined white cane sugar*)

Studie uvádí hodnocení mikrobiologické čistoty surového třtinového cukru, rafinovaných třtinových cukrů a různých obchodních hnědých cukrů pro lidskou spotřebu. Článek poukazuje na potřebu vypracovat mikrobiologické standardy pro hnědé cukry, které se používají pro přímou lidskou spotřebu.

*Zuckerind. / Sugar Ind., 139, 2014, č. 9, s. 555–558.*

*Kadlec*

Obr. 3. Polarimetry dodávané firmou Anton Paar: a) laboratorní polarimetr MCP, b) automatický provozní polarimetr Propol



### Použití polarimetrů

Nejběžnějším použitím polarimetru v potravinářství je měření **koncentrace** vhodných látek (např. sacharosy, fruktosy, glukosy) nebo jejich **čistoty** a při kontrole kvality. Zejména aplikace v cukrovarnictví při měření obsahu cukru v cukrové řepě i v konečných produktech jsou pro výrobce určujícím ekonomickým faktorem. Díky přesnosti stanovení lze platby dodavatelům i odběratelům cukrovarů velmi přesně kalkulovat, což vede k optimalizaci ekonomického výsledku.

Donedávna se používal pro většinu polarimetrů jako jediný zdroj světla sodíková výbojka o vlnové délce 589 nm, což ovšem

Obr. 4. Polarimetr Polartronic firmy Schmidt+Haensch GmbH & Co.



vyžadovalo např. při stanovení sacharosy předchozí úpravu vzorků čiřením roztokem octanu olovnatého, při němž se odstranily látky ovlivňující vlastní polarimetrické stanovení včetně barevných látek. U analytických metod používajících čiření mohou být však filtrované roztoky natolik zabarveny, že není možné je měřit ve viditelné oblasti spektra, při vlnových délkách v oblasti IČ jsou však transparentní.

Nové polarimetry umožňující měření při různých vlnových délkách tak rozšiřují nejen aplikační možnosti stanovení, ale i podstatně zjednodušují předchozí úpravu vzorků před stanovením. Pro stanovení obsahu sacharosy, zvláště u silně zbarvených vzorků hnědé a žluté barvy, doporučila mezinárodní organizace pro analytiku cukrů ICUMSA jako nejvhodnější použití **NIR polarimetrů** s vlnovou délkou 880 nm, kdy stačí vzorek před měřením jen zfiltrovat s použitím běžných pomocných filtračních prostředků bez čiření octanem olovnatým, což je velký přínos z hlediska toxikologického a ekologického. Měření v infračervené oblasti je vhodné pro všechny surové cukry, bílé cukry a cukry vyžadující čiření.

### Stanovení čistoty cukrovarnických meziproductů a produktů

Čistota (dříve též kvocient čistoty)  $Q$  (%) vyjadřuje procentický obsah sacharosy v sušině a je definována vztahem:

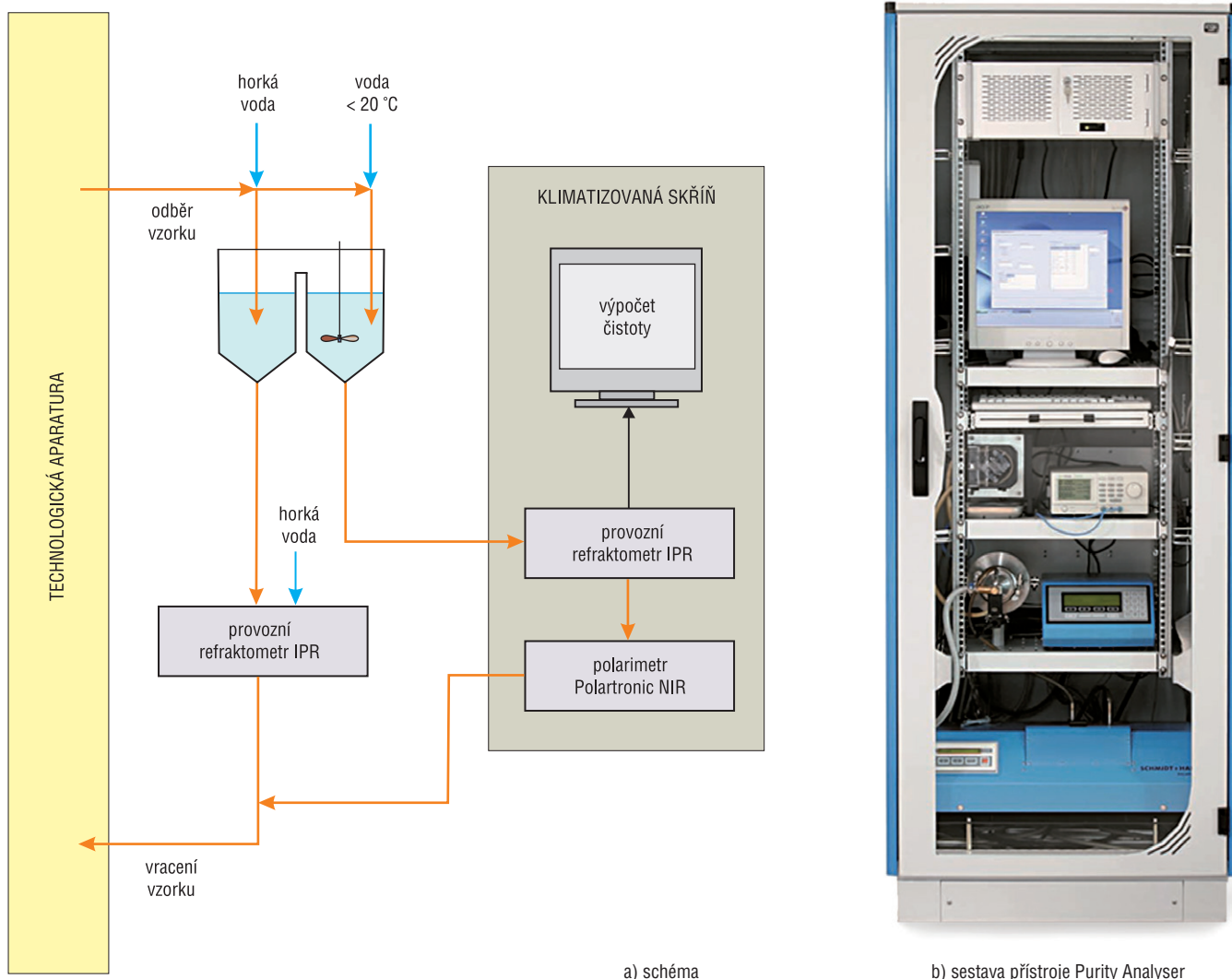
$$Q = \frac{P}{S} \cdot 100 \quad (2),$$

kde  $P$  (% hm.) je koncentrace sacharosy ve vzorku změřená polarimetrem (tzv. polarizace),  $S$  (% hm.) koncentrace sušiny ve vzorku stanovená refraktometrem (tzv. sacharizace).

Při stanovení čistoty cukru a cukrovarnických meziproductů lze automatický polarimetr kombinovat s provozním refraktometrem. Automatizovaný laboratorní modulární systém *Purity Analyser (Sugar Purity Analyser)*, skládající se z automatického refraktometru a polarimetru, tiskárny a PC, nabízí např. firma Schmidt+Haensch GmbH & Co. Systém umožňuje jak přímé, tak i nepřímé stanovení čistoty v cukrovce, cukrové třtině a cukrovarnických produktech a meziproductech (obr. 5.).

Automatický systém *Purity Analyser* umožňuje nahradit dosavadní časově i manipulačně náročné laboratorní analýzy, slouží k on-line měření čistoty cukrovarnických šťáv, sirobů a mezivýrobků a poskytuje tak operativní data v reálném čase. Automatický vzorkovač může odebírat k analýze až 6 vzorků různých provozních šťáv, které jsou dopraveny do směšovače, kde se zředí vodou v poměru 1:4 a ochladí se. Vzorky jsou odebírány v 10min intervalech. Provozním refraktometrem IPR je změřena refraktometrická sušina  $S$  a NIR polarimetrem *Polartronic* je měřen obsah sacharosy  $P$ . Z naměřených hodnot je vypočítána čistota  $Q$ . Změřené vzorky se vracejí zpět do výroby. Veškerá činnost analyzátoru včetně potřebného čištění a dezinfekce je automatická a programovatelná. Naměřená data se bezprostředně zobrazí na monitoru ve velínu, kde jsou data archivována a porovnána s hodnotami zjištěnými

Obr. 5. Automatický systém Purity Analyser firmy Schmidt+ Haensch GmbH &amp; Co



a) schéma

b) sestava přístroje Purity Analyser

provozní laboratoří. Druhý provozní refraktometr, který je umístěn mimo vlastní analyzátor čistoty (obr. 5.), slouží ke kontinuálnímu měření obsahu sušiny originální provozní šťávy.

### Souhrn

V příspěvku je vysvětlen princip funkce polarimetru a je popsáno uspořádání měřicího zařízení. Jsou ukázány příklady laboratorních a provozních polarimetrů, uvedeny jejich vlastnosti a možnosti použití. Zvláštní pozornost je věnována využití polarimetru při stanovení čistoty cukru.

**Klíčová slova:** polarimetr, rotační polarizace, měrná otáčivost, provozní polarimetr, čistota cukru; využití polarimetrů.

### Literatura

1. McMURRY, J.: *Organická chemie*. VŠCHT Praha, 2007.
2. KLOUDA, P.: *Moderní analytické metody*. Ostrava: Nakladatelství Pavel Klouda, 2003.
3. ZÝKA, J. ET AL.: *Analytická příručka 2*. SNTL/ALFA Praha, 1980.
4. KADLEC, K.; KMÍNEK, M.; KADLEC, P. (EDIT.): *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů*. Ostrava: KEY Publishing, 2017.

### Kadlec P., Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Measurement of Optical Properties of Liquids (Part 2)

The paper explains the principle of polarimeter function and describes the configuration of the measuring device. It provides examples of laboratory and process polarimeters and discusses their properties and application. Particular attention is paid to using the polarimeter to determine sugar purity.

**Key words:** polarimeter, rotary polarization, specific rotation, process polarimeter, sugar purity; application of polarimeters.

### 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