

## LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

### VYUŽITÍ ELEKTROCHEMICKÉ IMPEDANČNÍ SPEKTROSKOPIE PRO HODNOCENÍ AUTENTICITY POMERANČOVÝCH ŠŤÁV

PETRA PRŮŠOVÁ<sup>a</sup>, VOJTĚCH KRUŽÍK<sup>a</sup>,  
JAROMÍR SEIDL<sup>b</sup> a HELENA ČÍŽKOVÁ<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ústav konzervace potravin, <sup>b</sup> Ústav fyziky a měřicí techniky, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 3, 166 28 Praha 6

petra.prusova@vscht.cz, helena.cizkova@vscht.cz

Došlo 25.5.16, přepracováno 30.11.16, přijato 3.1.17.

Klíčová slova: pomerančová šťáva, impedance, analýza potravin, falšování

#### Úvod

Ovocné šťávy patří k oblíbeným nealkoholickým nápojům. V roce 2014 bylo v ČR zkonsumováno 55 milionů litrů 100% ovocných šťáv; nejoblíbenějším ovocným druhem byl pomeranč (40 % výrobků). Průměrná spotřeba na osobu v rámci Evropské unie, kde bylo celkem zkonsumováno 6215 milionů litrů, je ještě cca 4× vyšší<sup>1</sup>. Tato skutečnost, společně s obecně vyšší cenou za litr oproti jiným nealkoholickým nápojům, má za následek, že ovocné šťávy patří podle zprávy Evropského parlamentu (o potravinové krizi, podvodech v potravinovém řetězci a jejich potírání) k rizikovým potravinám, které jsou často předmětem podvodného jednání<sup>2</sup>.

Hlavní způsob klamání spotřebitele v případě pomerančových, stejně jako jiných ovocných šťáv, spočívá ve snížení obsahu ovocného podílu, tj. v ředění vodou a případně v zamaskování tohoto ředění přidávkou cukrů a organických kyselin. Mezi další způsoby falšování patří vyšší podíl šťávy získaný extrakcí výlisků (tzv. pulpwash) nebo nepřiznaný přídatek jiného druhu ovoce (např. grapefruitové šťávy). Klamáním spotřebitele je i úplná nebo částečná záměna (přímé) šťávy a šťávy vyrobené z ovocného koncentrátu<sup>3,4</sup>.

Hodnocení autenticity pomerančových šťáv je standardně založeno na analýze vybraných parametrů (chemických markerů), jejichž hodnoty se porovnávají s dostupnými databázemi. Nejčastěji je využíván kodex, který byl vytvořen evropskou Asociací výrobců šťáv a nektarů (AIJN) *Code of Practice*<sup>5</sup>. V kodexu evropské Asociace výrobců šťáv a nektarů (AIJN) jsou pro pome-

rančové šťávy definované tzv. absolutní požadavky na kvalitu, které musí splnit každý výrobek. Dále jsou v kodexu uvedena doporučená kritéria pro hodnocení autenticity výrobků, která jsou vyjádřena buď formou koncentračních rozsahů, nebo minimální popř. maximální akceptovatelnou hodnotou spolu s doplňujícími informacemi (zahrnujícími často nejobvyklejší hodnoty markerů, případně možné odchylky apod.). Nejčastěji jsou u pomerančových šťáv stanovovány následující kvalitativní parametry: refraktometrická sušina, obsah a zastoupení typických kyselin, cukrů a aminokyselin a obsah vybraných minerálních látek. Pro prokázání nízkého přídatku cukrů a vody jsou doporučeny isotopové metody<sup>6</sup>.

Zatímco stanovením výše uvedených znaků lze relativně spolehlivě posoudit autenticitu výrobku, hodnoty jednotlivých parametrů mají s ohledem na vysokou přirozenou variabilitu ve složení suroviny ve většině případů jen velmi omezenou vypovídací schopnost. Časová náročnost měření všech potřebných chemických parametrů (analýza jednoho vzorku trvá přibližně šest pracovních hodin) a potřebnost rozmanité instrumentace tak vytváří silný tlak provozních i kontrolních laboratoří na vývoj a ověřování rychlých a jednoduchých screeningových technik. Obvykle jsou v odborné literatuře pro tento účel zmiňovány spektroskopické metody (UV-VIS a NIR)<sup>7</sup> a elektrochemické senzory (elektronické nosy a jazyky)<sup>8</sup>.

Elektrochemická impedanční spektroskopie (EIS), která měří závislost impedance na frekvenci střídavého proudu, je rozvíjející se metodou nacházející v posledních deseti letech také značné uplatnění při analýze potravin. Impedance je komplexní veličina, kterou lze popsat obecným vztahem  $Z = R + iX$ , kde  $R$  je reálná část (elektrický odpor) a  $X$  je imaginární část (reaktance); jednotkou impedance je ohm. Reálná část impedance se také nazývá „činná složka“, imaginární část „zdánlivá složka“.

Míru podílu jednotlivých částí na celkové impedanci je možno ovlivnit nastavením podmínek měření (geometrické uspořádání impedanční cely, charakter měřeného vzorku, frekvence střídavého signálu). Výhoda EIS spočívá v poskytnutí komplexní fyzikálně-chemické informace o vzorku a zároveň je to poměrně rychlá a nedestruktivní metoda. Měřené elektrochemické impedanční spektrum potraviny je ovlivňováno strukturou a chemickým složením, v odborné literatuře je popsán vliv obsahu vody, tuků, cukrů, minerálních látek, kyselin a stupně jejich disociace<sup>9,10</sup>.

V oblasti technologie zpracování ovoce a zeleniny našla EIS uplatnění jako rychlá metoda průkazu přídatku vody do ovocného pyré<sup>11</sup>, při hodnocení čerstvosti zeleniny<sup>12</sup> a při monitorování kvality jablečného koncentrátu<sup>13</sup> a citrusových plodů<sup>14</sup>. Dhiman a spol.<sup>15</sup> navrhli impedanční systém využívající různých druhů elektrod pro odhalení přídatků vybraných ochucovadel do pitné vody.

Cílem předložené práce bylo ověřit metodu EIS pro rychlé posouzení autenticity pomerančových šťáv. Nejprve byly určeny nejběžnější způsoby falšování (faktory), které nejvíce ovlivňují výsledné impedanční spektrum. Následně bylo použito dvou přístupů pro odhalení falšování reálných vzorků: 1) analýzy vícerozměrných dat pro určení struktury a vzájemných vazeb mezi analyzovanými vzorky a 2) vícenásobné lineární regrese pro analýzu vztahu mezi skutečným podílem ovoce ve výrobku a hodnotami vybraných impedančních spekter.

## Experimentální část

### Používané chemikálie a standardy

D-fruktosa, D-glukosa, sacharosa, kyselina citronová, kyselina sírová, kyselina chlorovodíková, hydroxid sodný, kyselina L-askorbová, molybdenan amonný, formaldehyd

a dihydrogen fosforečnan draselný (Lachner, ČR) hydrogenufát draselný (Sigma-Aldrich). Všechny použité chemikálie byly čistoty p.a.

### Analyzované vzorky

Experimenty byly prováděny na souboru modelových ( $n = 22$ ) a reálných vzorků ( $n = 10$ ) pomerančových šťáv. Označení a charakteristika modelových vzorků je uvedena v tab. I. Byly připraveny 3 série modelových vzorků; vzorky M9 až M14 byly pouze naředěny pitnou vodou, příprava vzorků M1 až M8 a M15 až M22 byla založena na postupu plánování experimentů DOE (design of experiment). Nejprve byly definovány 4 faktory: typ šťávy, ředění pitnou vodou, přidavek cukrů (glukosa, fruktosa a sacharosa v poměru 1:1,1:1) a kyseliny citronové, a připraven neúplný faktoriální experiment ( $2^{n-1}$ ). Koncentrace přidávaných látek byly voleny s ohledem na pravděpodobné hodnoty při falšování.

Tabulka I  
Charakteristika a složení modelových vzorků

Vzorek	Typ šťávy <sup>a</sup>	Obsah šťávy [%]	Přidaná voda [%]	Přidané cukry [%]	Přidaná kyselina citronová [%]	Rozpustná sušina [°Brix]	Titrační kyselost [g l <sup>-1</sup> ]	Formolové číslo [ml 0,1M NaOH/100 ml]
M1	K1	85,5	10	4	0,5	13,8	10,1	18
M2	K1	90,0	10	0	0	10,3	6,0	19
M3	K2	86,0	10	4	0	13,5	6,2	19
M4	K1	96,0	0	4	0	14,5	6,4	20
M5	K2	100,0	0	0	0	11,2	7,1	22
M6	K2	95,5	0	4	0,5	14,6	11,0	21
M7	K1	99,5	0	0	0,5	11,6	11,2	20
M8	K2	89,5	10	0	0,5	10,2	10,8	19
M9	K3	90,0	10	0	0	11,4	6,9	20
M10	K3	80,0	20	0	0	10,1	6,2	19
M11	K3	70,0	30	0	0	8,5	5,0	16
M12	K3	60,0	40	0	0	7,9	4,6	16
M13	K3	50,0	50	0	0	6,1	4,0	15
M14	K3	40,0	60	0	0	4,7	3,3	12
M15	P	76,5	15	8	0,5	16,6	11,5	12
M16	P	85,0	15	0	0	10	8,2	14
M17	K4	77,0	15	8	0	15,9	5,2	15
M18	P	92,0	0	8	0	17,9	8,8	15
M19	K4	100,0	0	0	0	11	6,5	19
M20	P	91,5	0	8	0,5	17,6	9,9	17
M21	K4	99,5	0	0	0,5	11,9	13,7	16
M22	P	84,5	15	0	0,5	9,7	9,7	16

<sup>a</sup> K – koncentrát (výrobce 1, 2, 3, 4), P – přímá šťáva

V případě reálných vzorků se jednalo o 100% pomerančové šťávy vyrobené z koncentrátu nakoupené na českém trhu (R23 až R32).

#### Měření elektrochemického impedančního spektra

Pro měření byl využit impedanční analyzátor Agilent 4294A Precision Impedance Analyzer, (Agilent Technologies Japan, Ltd.) používající 4-TP adapter s použitím software Agilent controller 2010.0, který je určen pro obsluhu, automatický sběr a zpracování dat na tomto analyzátoru.

Před vlastním měřením byly vzorky temperovány při teplotě 25 °C a důkladně promíchány. Byla použita cela s planárními elektrodami z nerezové oceli o rozměrech 50 × 51 mm, vzdálenost elektrod byla 61 mm. Cela byla umístěna ve vodní lázni (25 °C), bylo do ní dávkováno 80 ml vzorku šťávy. Elektrody byly v přímém kontaktu se vzorkem. Vzorek nebyl v impedanční cele během měření míchán. Měření probíhalo při následujících podmínkách: amplituda napětí 0,5 V, frekvenční rozsah: 50 Hz až 1 MHz, za stálé teploty (25 °C), 10 paralelních stanovení pro každý vzorek; z měřeného spektra bylo vybráno 8 hodnot frekvencí (60 Hz, 701 Hz, 105 361 Hz, 129 279 Hz, 215 598 Hz, 395 554 Hz, 441 175 Hz, 664 210 Hz). Průběh závislosti impedance na kmitočtu odpovídá obvodu složenému z kapacity  $C_{el}$  (elektrická dvojvrstva na elektrodách) a vlastního odporu elektrolytu  $R_{el}$  v objemu mezi elektrodami. Pro vyšší kmitočty je reaktance  $1/2\pi f C_{el}$  zanedbatelná vůči frekvenčně nezávislé odporové složce  $R_{el}$ .

#### Stanovení chemických markerů autenticity

Pro celý soubor vzorků byly stanoveny tři základní markery (rozpuštěná sušina, titrační kyselost a formolové číslo) definované v kodexu AIJN<sup>5</sup>. V reálných vzorcích (R23–R32) byl stanoven i popel a fosfor. Obsah rozpustné sušiny byl stanoven podle ČSN EN 12143 (cit.<sup>16</sup>) pomocí digitálního refraktometru Krüss DR301-95 a výsledky vyjádřeny v °Brix. Měření titrační kyselosti bylo provedeno volumetricky pomocí automatického titrátoru Mettler Toledo DL22 podle ČSN EN 12147 (cit.<sup>17</sup>) a formolového čísla podle metodiky definované ČSN EN 1133 (cit.<sup>18</sup>). Obsah popela byl určen dle normy ČSN EN 1135 (cit.<sup>19</sup>) gravimetricky a obsah fosforu spektrofotometrickou metodou na přístroji Spekol 1300 (Carl Zeiss, Jena) podle ČSN EN 1136 (cit.<sup>20</sup>).

### Výsledky a diskuse

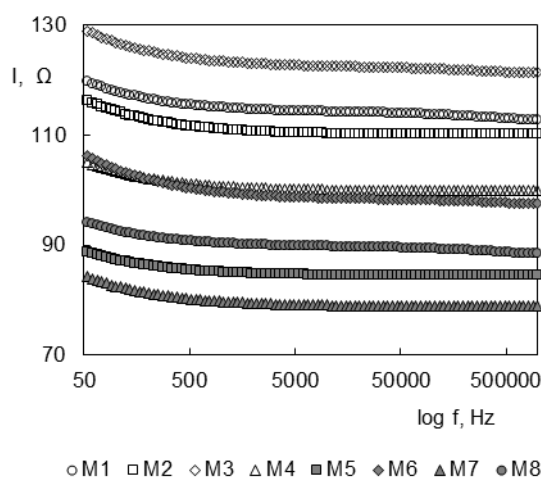
#### Nastavení podmínek měření impedančního spektra

Studie byla započata ověřením podmínek měření (vlivu míchání a teploty) na impedančním analyzátoru, jehož nastavení vycházelo ze studie Seidlové a spol.<sup>21</sup>. Bylo zjištěno, že míchání pomocí skleněného míchadla negativně ovlivňuje stabilitu impedančního spektra, proto

vzorek při měření míchán nebyl. Stanovení impedance musí však proběhnout do 10 min po umístění do cely, jinak naopak dochází ke změnám hodnot impedance vlivem sedimentace vzorku. Významný vliv měla také teplota měření. Změna teploty o  $\pm 5$  °C vyvolá změnu impedance o 10 %, proto bylo nutné udržovat při měření konstantní teplotu 25 °C. Pro vyhodnocování impedančních spekter byla využívána pouze reálná složka impedance ( $R$ ), protože imaginární složka nevykazovala potřebný rozptyl hodnot. Opakovatelnost (10 opakování) měření vyjádřená pomocí relativní směrodatné odchylky byla 1,5 %. Pro získání celkového obrazu elektrochemických vlastností<sup>14</sup> probíhalo měření v rozsahu frekvencí 50 Hz až 1 MHz, pro výpočty byly následně použity hodnoty impedance získané pro 8 frekvencí: 60 Hz a 701 Hz (nelineární oblast), 105 361 Hz, 129 279 Hz, 215 598 Hz, 395 554 Hz, 441 175 Hz, 664 210 Hz (lineární oblast).

#### Významnost faktorů, které ovlivňují elektrochemické impedanční spektrum šťáv

Z odborné literatury vyplývá, že elektrické vlastnosti a tedy i impedanční spektrum ovocných šťáv budou vedle experimentálních podmínek měření ovlivňovány především složením vzorku, tj. obsahem vody, cukrů, minerálních látek, kyselin a stupněm jejich disociace<sup>7,10,14,17</sup>. Z těchto složek (faktorů) byly pro ověření jejich významnosti vybrány ty, které mají nebo by mohly mít přímou souvislost s nejběžnějšími způsoby falšování ovocných šťáv, jako je ředění pitnou vodou a zamaskování tohoto ředění přídavkem cukrů a organických kyselin. Modelové vzorky byly připraveny na základě návrhu metody DOE, pro kterou byly zvoleny 4 faktory: typ/původ vzorku (– 100 % pomerančová šťáva z koncentrátu z ČR; + 100 % pomerančová šťáva z koncentrátu z Rakouska), ředění vodou (– žádné; + přídavek 10 % pitné vody), přídavek cukrů (– žádný; + 4 g/100 ml vzorku – směs glukosy, fruk-



Obr. 1. Impedanční spektra modelových vzorků pomerančových šťáv (M1–M8)

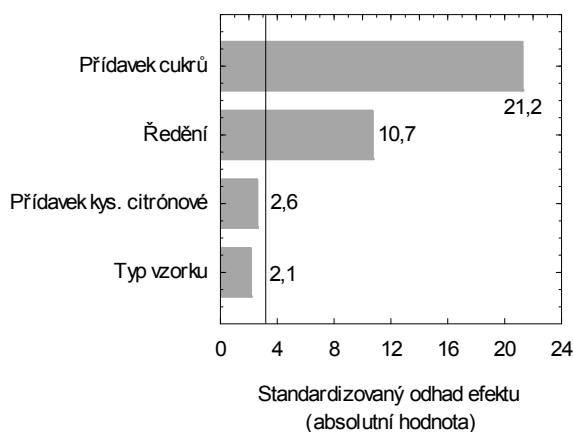
tosy a sacharosy v poměru 1:1,1:1). Složení modelových vzorků (M1–M8) je uvedeno v tab. I.

Elektrochemická impedanční spektra jednotlivých modelových vzorků jsou znázorněna na obr. 1. Mezi modelovými vzorky lze pozorovat zřejmé rozdíly, které odpovídají míře falšování. Nejvyšší hodnoty impedance v celém rozsahu měřené frekvence mají vzorky M3 a M1, které jsou jak naředěné vodou, tak s přidávkou cukru, nejnižší hodnoty má autentický vzorek M5 a vzorek M7 připravený s přidávkou kyseliny citronové.

Vliv jednotlivých faktorů na hodnotu impedance je vyjádřen Paretovým grafem (obr. 2). Z něho je zřejmé, že největší vliv na výslednou hodnotu impedance má přidávek cukru a ředění vzorku pitnou vodou, oba tyto úkony působí jako izolanty. Oproti literárním údajům<sup>21,14</sup> vykazuje statisticky nevýznamný vliv přidávek kyseliny citronové, vysvětlení v tomto případě spočívá v jejím relativně nízkém přidavku, který v daném prostředí způsobí změnu pH o cca 0,1. Z výše uvedeného je možné odvodit, že EIS napomůže odhalit přidávek vody a cukru, a naopak k původu a kyselosti pomerančové šťávy bude rezistentní.

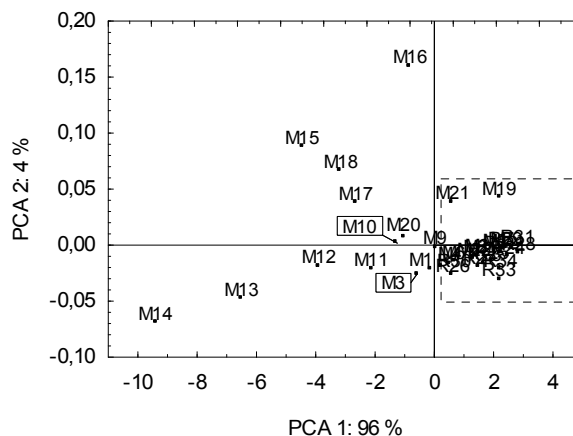
#### Vyhodnocení impedančních spekter šťáv

Pro vyhodnocení impedančních spekter byla použita analýza hlavních komponent (PCA), která umožnila určit strukturu a vzájemné vazby mezi jednotlivými modelovými (tj. autentickými i uměle naředěnými) a reálnými vzorky. Na obr. 3 je znázorněn graf componentního skóre pro 1. a 2. hlavní komponentu. První komponenta vyjadřuje 96 % proměnlivosti (rozptylu) původních dat a je v ní tedy soustředěna většina informace o charakteru vzorků, druhá hlavní komponenta vyjadřuje 4 % proměnlivosti. Autentické modelové a všechny reálné vzorky nabývají hodnot první hlavní komponenty v rozmezí od –2 do +3. Za odlehle objekty lze považovat modelové vzorky s přidávkou

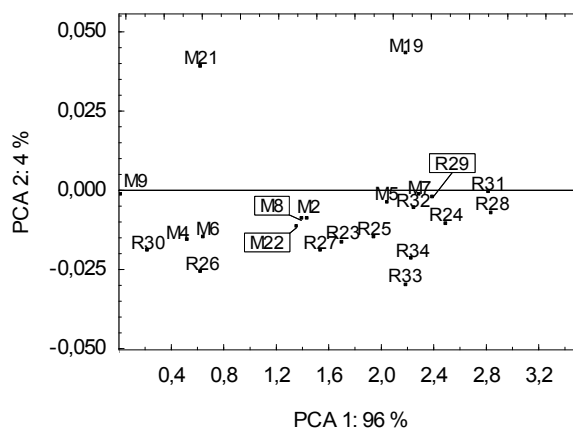


Obr. 2. Paretův graf standardizovaných efektů ( $P = 95\%$ ); vliv jednotlivých způsobů falšování (faktorů) na hodnotu impedance pomerančových šťáv

A



B



Obr. 3. Rozptylový diagram componentního skóre (1. a 2. hlavní komponenta); A) Projekce všech případů (reálných (R23–R32) a modelových vzorků (M1–M22) pomerančových šťáv) do komponentní roviny; B) detail uspořádání reálných vzorků (R23–R32) v prostoru

vody větším než 20 % (M11, M12, M13, M14), některé modelové vzorky připravené z přímé šťávy (M15, M16, M18) a objekt M17, který je charakteristický vysokým obsahem cukru. Tímto postupem bohužel nebylo možné identifikovat naředění a falšování vzorků na nízkých hladinách (10 % vody, 4 % cukru, 0,5 % kyseliny citronové). Dielektrické vlastnosti vzorků v tomto případě vypovídají významněji o přirozené variabilitě ve složení pomerančových šťáv než o přidavku nežádoucích složek.

## Odhad ovocného podílu a identifikace falšovaných výrobků

Pro posouzení ovocného podílu byla použita metoda vícenásobné lineární regrese, jako nezávisle proměnné byly vybrány hodnoty impedance analyzovaných 22 modelových vzorků při 2 frekvencích: 701 Hz z nelineární oblasti ( $I_{701 \text{ Hz}}$ ) a 441 175 Hz z lineární oblasti spektra ( $I_{441175 \text{ Hz}}$ ). Pro odhad ovocného podílu byla navržena tato regresní rovnice:

$$\begin{aligned} \text{Obsah ovocného podílu (\%)} &= \\ &= 147,61 + 10,69 \cdot I_{701 \text{ Hz}} - 11,46 \cdot I_{441175 \text{ Hz}} \end{aligned}$$

Důležitým ukazatelem vhodnosti modelu je koeficient determinace  $r^2$ , který bývá někdy interpretován jako shoda modelu s daty. Zde se rovná 90,2 %. Na základě tohoto koeficientu lze říci, že variabilita vysvětlované proměnné (ovocný podíl) je z 90 % vysvětlena modelem s dvěma výše uvedenými hodnotami impedance. Regresní rovnice byla použita pro zhodnocení reálných vzorků (tab. II), žádný ze vzorků nebyl odhalen jako falšovaný významným nařazením nebo přídavkem cukrů. Vypočtené hodnoty ovocného podílu v rozsahu 85 až 100 % je nutno s ohledem na výše zmiňovanou přirozenou variabilitu a výsledky analýzy hlavních komponent brát jako odpovídající autentickým neřazeným šťávám. Pro potvrzení výsledků byly u reálných vzorků stanoveny i vybrané chemické markery autenticity výrobků doporučené kodexem AIJN<sup>5</sup>, naměřená data se i v tomto případě vešla do doporučených koncentračních rozsahů, i když je zřejmé, že se pohybují převážně mezi střední hodnotou a spodní hranicí, a tudíž by při přepočtu na ovocný podíl<sup>22</sup> odpovídala opět rozsahu 85 až 100 %.

Tabulka II  
Charakteristika reálných vzorků pomerančových šťáv

Vzorek	Impedance při frekvenci 710 Hz [ $\Omega$ ]	Impedance při frekvenci 441 175 Hz [ $\Omega$ ]	Vypočtený ovocný podíl [%]	Rozpustná sušina [ $^{\circ}$ Brix]	Titrační kyselost [ $\text{g l}^{-1}$ ]	Formolové číslo [ml 0,1 M NaOH/100 ml]	Popel [ $\text{g l}^{-1}$ ]	Fosfor [ $\text{mg l}^{-1}$ ]
R23	83,0	82,2	92,8	11,6	6,6	21	4,2	281
R24	77,9	77,1	96,7	11,4	7,1	23	4,5	121
R25	81,5	80,7	93,9	11,4	6,6	20	4,3	140
R26	90,0	89,2	87,2	11,7	5,9	18	3,7	108
R27	84,1	83,3	91,5	11,2	6,8	18	3,9	108
R28	75,6	74,8	98,5	11,8	6,8	18	4,3	124
R29	78,5	77,7	96,5	11,4	7,0	21	5,9	250
R30	92,7	91,8	85,4	11,3	6,0	16	5,5	260
R31	75,9	74,9	99,9	11,8	6,9	19	4,0	196
R32	79,7	78,7	97,2	11,6	7,2	21	4,3	182
Rozsahy AIJN pro autentické šťávy <sup>5</sup>	–	–	–	min. 11,2	5,8–15,4	15–26	2,8–5,0	115–210

## Závěr

Elektrochemická impedanční spektroskopie má díky svým vlastnostem, jako jsou rychlost, nedestruktivnost, nízká cena, nenáročnost na laboratorní přípravu a obsluhu, velký potenciál v provozní analýze potravin i v kontrolní praxi. V rámci této práce byl ověřený postup měření impedančního spektra využit k hodnocení autenticity pomerančových šťáv. Byl zjištěn významný vliv přídavku vody a cukrů na hodnotu impedance v rozsahu frekvencí 50 Hz až 1 MHz, což po provedení statistické analýzy vícerozměrných dat umožnilo odhalení falšování vzorků nařazením vodou a přislazením. Pro praktické využití navržené metody je však současně třeba počítat s jistými omezeními, které spočívají především: 1) v nutnosti dodržení experimentálních podmínek analýzy, 2) v nízké specifitě získaného impedančního spektra, kdy je k interpretaci výsledků třeba kalibrace nebo srovnání s dříve změřenou databází autentických a falšovaných vzorků, 3) ve významném, ale těžko kvantifikovatelném vlivu vstupních surovin (odrůda, stupeň zralosti) a výrobních podmínek (použití postupy lisování, stabilizace a konzervace šťávy) na impedanční charakteristiku.

## LITERATURA

1. Association of the Industry of Juices and Nectars from Fruits and Vegetables (AIJN): *AIJN 2015 Liquid Fruit Market Report*, <http://www.aijn.org/publications/facts-and-figures/aijn-market-reports/>, staženo 18. března 2016.

2. Committee on the Environment, Public Health and Food Safety, Report on the food crisis, fraud in the food chain and the control thereof, <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2013-0434+0+DOC+XML+V0//EN>, staženo 8. prosince 2015.
3. Čížková H., Ševčík R., Rajchl A., Pivoňka J., Voldřich M.: Chem. Listy 106, 903 (2012).
4. Voldřich M., Skálová P., Kvasnička F., Cuhra P., Kubík M., Pyš P.: Czech J. Food Sci. 20, 83 (2002).
5. Association of the Industry of Juices and Nectars from Fruits and Vegetables (AIJN): Code of Practice AIJN, <http://www.aijn.org/pages/cop/intro.html>, staženo 8. prosince 2015.
6. Diaz-Garcia M., Castellar R. M., Obón J. M.: Comp. Anal. Chem. 60, 439 (2013).
7. Boggia R., Casolino M. Ch., Hysenaj V., Oliveri P., Zunin P.: Food Chem. 140, 735 (2013).
8. Kalivoda R.: Chem. Listy 94, 215 (2000).
9. Tatarovič M., Bronzová G., Krondřák M.: Chem. Listy 106, 1067 (2012).
10. Opekar F., Štulík K.: Chem. Listy 104, 1148 (2010).
11. Żywica R., Pierzynowska-Korniak G., Wójcik J.: J. Food Eng. 67, 413 (2005).
12. Wu L., Ogawa Y., Tagawa A.: J. Food Eng. 87, 274 (2008).
13. Pierzynowska-Korniak G., Żywica R.: Pol. J. Food Nutr. Sci. 13/54, 255 (2004).
14. Juansah J., Budiastira I. W., Dahlan K., Seminar K. B.: Int. J. Emerg. Tech. Adv. Eng. 2, 58 (2012).
15. Dhiman M., Kapur P., Ganguli A., Lal Singla M.: Int. J. Soft Comp. Eng. 2, 6 (2012).
16. ČSN EN 12143 (560414) Ovocné a zeleninové šťávy. Odhad obsahu nerozpustných látek - Refraktometrická metoda (1997).
17. ČSN EN 12147 (560418) Ovocné a zeleninové šťávy. Stanovení titrační kyselosti (1998).
18. ČSN EN ISO 1133 (560404) Ovocné a zeleninové šťávy. Stanovení formolového čísla (1996).
19. ČSN EN 1135 (560406) Ovocné a zeleninové šťávy. Stanovení popela (1996).
20. ČSN EN 1136 (560407) Ovocné a zeleninové šťávy. Stanovení obsahu fosforu. Spektrofotometrická metoda (1996).
21. Seidlová R., Poživil J., Seidl J., Ďaďo S., Průšová P., Malec I.: Chem. Papers 69, 938 (2015).
22. Státní zemědělská a potravinářská inspekce: *Normalizované metody pro stanovení ovocného podílu u ovoce a zeleniny*, <http://www.szpi.gov.cz/clanek/laboratorni-cinnost-szpi.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d>, staženo 18. března 2016.

**P. Průšová<sup>a</sup>, V. Kružík<sup>a</sup>, J. Seidl<sup>b</sup>, and H. Čížková<sup>a</sup>**  
<sup>a</sup>Department of Food Preservation, <sup>b</sup>Department of Physics and Measurements, University of Chemistry and Technology, Prague): **Use of Electrochemical Impedance Spectroscopy to Verify Orange Juice Authenticity**

Measuring electrical impedance enables characterisation of the studied matrix non-invasively and in real time. Our work was aimed to verify the method of electrochemical impedance spectroscopy for quick confirmation of orange juice authenticity. For the purpose of the experiment, the tested samples of orange juice were diluted with water and enriched by sugars and citric acid, as this type of adulteration and the chosen concentrations of the added substances correspond to the most likely means of misleading customers in the case of fruit juice. The analysis of the electrochemical parameters of the tested samples was carried out in an impedance cell with planar electrodes at a voltage of 0.5 V and the frequency ranging from 50 Hz to 1 MHz. The results of the measurements show that the method enables quick and simple screening of the quality of orange juice made from concentrate; more specifically, it enables one to detect dilution of 100 % juices with 20 or more per cent of water or the sugar addition. As such, the method can be recommended as another procedure of consumer protection and prevention of unfair competition among manufacturers.