

BLÍZKÁ INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE JAKO POMOCNÍK PŘI KONTROLE KVALITY POTRAVIN

LUKÁŠ DVOŘÁK^a, KVĚTOSLAVA ŠUSTOVÁ^a
a JIŘÍ MLČEK^b

^a Ústav technologie potravin, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, ^b Ústav analýzy a chemie potravin, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Náměstí T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín
xdvora57@seznam.cz

Došlo 2.11.15, přepracováno 27.6.16, přijato 1.8.16.

Klíčová slova: jakost, instrumentální analýza, spektrum, technika

Obsah

1. Úvod
2. Historie použití blízké infračervené spektroskopie
3. Infračervené záření
 - 3.1. Princip NIR spektroskopie
 - 3.2. Infračervený spektroskop
 - 3.3. Techniky měření v NIR spektroskopii
4. Příklady použití FT-NIR spektroskopie v potravinářství
 - 4.1. Hodnocení hlavních složek potravin
 - 4.2. Hodnocení vedlejších složek potravin
 - 4.3. Sledování falšování potravin
 - 4.4. Sledování mikrobiologických procesů
 - 4.5. Sledování senzorických parametrů
5. Výhody a nevýhody FT-NIR spektroskopie
6. Závěr

1. Úvod

Jakost a kvalita potravin se stala velmi diskutovaným tématem, což je nepochybně dobře. Vzdávající tlak na ceny a zisk nutí podniky ke stále větší rentabilitě. Zákazníci požadují stále se zvyšující kvalitu, bezpečnost a pestrou nabídku potravin, ale není vždy jednoduché zajistit rychlé a efektivní analýzy pro kontrolu požadovaných parametrů kvality. Klasické metody jsou přesné a reprodukovatelné, ale mnohdy časově velmi náročné. Přesto ale tyto metody nelze opomenout, protože se používají jako standardizační metody ke kontrole správnosti a přesnosti výsledků získaných instrumentálními metodami nebo se jimi doplňují. V poslední době se stále více prosazuje použití metod, které jsou dostatečně vhodné pro rutinní analýzy, avšak

časově nenáročné, a proto je lze použít přímo v potravinářských provozech při výrobě potravin on-line. K těmto metodám patří nesporně metoda blízké infračervené spektroskopie.

2. Historie použití blízké infračervené spektroskopie

Vlastní historie blízké infračervené (NIR – near infrared) spektroskopie začíná v Anglii v roce 1800 (cit.¹). Díky pokusům astronoma Frederika Williama Herschla byl podán vůbec první důkaz o existenci této části elektromagnetického spektra. Za hranici viditelné oblasti, za červenou složkou světla, ve svých pokusech naměřil nejvyšší teplotu, čímž tak objevil novou oblast, která byla nazvána infračervená².

Oblast NIR se pro spektroskopii nepovažovala za užitečnou až do začátku 2. světové války, protože pásy v NIR oblasti se překrývají a bylo obtížné a složité je interpretovat. Prvotní studie v oblasti NIR spektroskopie se rozvíjely od roku 1938, kdy bylo popsáno stanovení obsahu vody v želatině, následně byla tato technika analytickými chemiky po dlouhou dobu nepovšimnuta. Zájem o analýzu v oblasti NIR vzrostl v 50. letech minulého století po zjištění, že vodíkové vibrace jsou odpovědné téměř za všechny absorpční pásy v NIR oblasti². Většina infračervených spektroskopů používaných do roku 1970 využívala jako monochromátor hranol nebo mřížku. Zásadním průlomem v infračervené technologii bylo zavedení infračervených spektroskopů s Fourierovou transformací (FT-IR). K významným osobnostem této doby tedy patří Jean Baptiste Joseph Fourier a následně i Albert Abraham Michelson, který v roce 1881 zkonstruoval interferometr³.

3. Infračervené záření

Infračervené záření je elektromagnetické záření v rozsahu vlnočtů 12500–20 cm⁻¹ a vlnových délek 800 až 0,5 mm. Oblast infračerveného záření navazuje na jedné straně na záření viditelné a na druhé straně na záření mikrovlnné. Energie fotonů infračerveného záření je dostatečná ke změně vibračního či rotačního potenciálu molekuly, ale nepostačuje pro excitaci elektronů v molekulových orbitalech⁴. Mění-li se při vibraci především délka vazby, hovoříme o vibraci valenční, která se dále ještě klasifikuje jako symetrická a asymetrická.

Nejvýznamnější absorpční pásma, která se vyskytují v NIR oblasti, se týkají svrchních tónů (700–1800 nm) a kombinačních přechodů (1800–2700 nm) způsobených

vibrační vazeb molekul, které obsahují zejména -CH, -NH, -OH a -SH funkční skupiny. Z tohoto důvodu je NIR metoda velmi často volena pro analýzy všech hlavních parametrů potravin, tj. stanovení vlhkosti, tuku, bílkovin, škrobu, či aminokyselin⁵.

3.1. Princip NIR spektroskopie

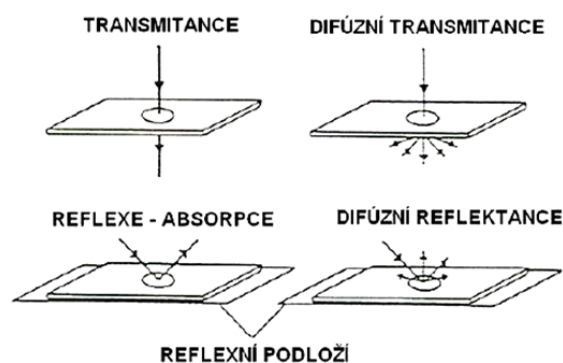
Metoda infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací je založena na spojení interferometru s citlivým detektorem a počítačem. Michelsonův interferometr zeslabuje, resp. zesiluje záření z polychromatického zdroje. Tento interferometr se skládá ze tří aktivních komponent – dvou na sebe kolmých zrcadel (pohyblivého a fixního) a tzv. beamsplitteru, tj. polopropustného děliče svazku paprsků, který je umístěn mezi těmito zrcadly na linii 45° (cit.⁶). Jedním ze základních součástí v interferometrických spektroskopech je zdroj záření, což bývá keramická tyčinka např. z karbidu křemíku, anebo žárovka s wolframovým vláknem či halogenová žárovka, které při zahřátí emitují spojité záření v infračervené oblasti⁴. K detekci je používáno různých typů detektorů, ale z důvodu neschopnosti infračerveného záření excitovat elektrony nejsou fotodetektory pro přímou detekci použitelné. Mezi nejčastěji se používané detektory patří PbS, PbSe, InSb nebo InGaAs (cit.⁷). Dojde-li ke vložení květy s absorbujícím vzorkem do dráhy paprsku, dochází k zeslabení záření charakteristických vlnových délek. Za komorou se vzorkem je umístěn detektor vhodný pro daný spektrální obor záření. V detektoru je umístěn fotočlánek, který mění dopadající světlo na elektrický signál.

3.2. Infračervený spektroskop

V současné době se k získávání spekter využívají spektroskopy s Fourierovou transformací, které pracují na principu interference záření, kdy se získaný signál převede na infračervené spektrum matematickou operací, které se nazývá Fourierova transformace. Tyto spektroskopy nahradily vývojově nejstarší skupinu přístrojů, což byly filtrové přístroje, které pracovaly pouze s určitými vlnovými délkami. Dále se v NIR spektroskopii používají disperzní spektroskopy, které obvykle zároveň pokrývají oblast viditelnou, případně i ultrafialovou, ale i tyto přístroje jsou nahrazovány spektroskopy s Fourierovou transformací. FT-NIR spektroskopy jsou užívány posledních 20 let. Díky interakci mezi vzorkem, referencí a optickými komponenty (zrcadly) jsou nastaveny energetické modely, vyvolávající interferogramy, které jsou použity k výpočtu absorpce vzorku⁸.

3.3. Techniky měření v NIR spektroskopii

Podle využívaných fyzikálních jevů lze techniky měření NIR spekter rozdělit na dvě skupiny (obr. 1)⁹ podle toho, zda je měřena absorpce záření po odrazu nebo po průchodu vzorkem, a od kterých se dále odvíjejí ještě další



Obr. 1. Fyzikální jevy – transmittance a reflektance

různé metody měření, tj. spektakulární či difuzní reflektance, refrakce, rozptyl, transflektance nebo interaktance.

4. Příklady použití FT-NIR spektroskopie v potravinářství

4.1. Hodnocení hlavních složek potravin

První úspěšná aplikace NIR v analýze zemědělských produktů a potravinářských surovin se týkala stanovení obsahu vody v potravinách jako je mléko, maso, brambory nebo ovoce, kde se obsah vody pohybuje v rozmezí 70 až 90 %. U těchto potravin se absorpční pásy vody objeví při vlnových délkách mezi 1400–1410 nm, což bylo pozorováno i u vzorků čisté vody. Čistá voda má ve svém spektru pět absorpčních pasů (s maximy při 1940, 1450, 1190, 970 a 760 nm při 20 °C)¹⁰. Ostré absorpční pásy vzniklé z C-H skupin lze pozorovat při vlnových délkách 2310, 2350 nm a při 1730 nm. Vlnová délka 1730 nm se překrývá s absorpčním pásem bílkovin¹¹. V současné době se v praxi běžně využívá ke stanovení obsahu vody v mléčných produktech, tj. v jogurtech¹², sýrech^{12,13} nebo sušeném mléce^{13,14}, dále v obilí a mlýnských produktech^{15–17}, ale také v ovoci^{18,19}.

Sacharidy jsou skupina látek, které se v potravinách vyskytují velice hojně a v nejrůznějších kombinacích. Protože všechny obsahují C-H a O-H skupiny, jejich spektra jsou si velice podobná. U přírodních ovocných šťáv se NIR spektroskopie nejčastěji využívá ke stanovení jednotlivých sacharidů. Celkový obsah sacharidů v ovocných šťávách může být měřen pomocí transmittance při 2200 nm. Pomocí NIR techniky je možné sacharosu stanovit ve víně, čokoládě, v pekařském zboží, velmi často je analyzován obsah laktosu v mléce¹¹.

NIR technika se běžně používá i ke stanovení obsahu tuku, kdy mezi nejčastěji hodnocenými vzorky jsou výrobky z brambor^{20,21}, maso, mléko a výrobky z nich.

4.2. Hodnocení vedlejších složek potravin

Mimo základního složení potravin se mnoho autorů zabývalo také měřením jiných složek, které jsou v potravinách obsaženy. Po stanovení celkového obsahu tuku se FT-NIR spektroskopie začala používat také k analýze mastných kyselin v mléce různých druhů^{22,23}, ale i v dalších potravinách, např. v olivovém oleji²⁴ či králičím mase²⁵. NIR technika byla použita také k hodnocení rozpustné a nerozpustné vlákniny^{26,27}, obsahu škrobu^{27,28} a β -glukanů²⁹ v cereáliích a jejich produktech. Velmi častým použitím NIR spektroskopie je sledování chemického složení masa^{30–32}, aktivity vody či obsahu NaCl³³ v masných výrobcích. Někteří autoři se věnovali měření obsahu hořkých kyselin chmele³⁴, alkoholu^{35,36} v pivu a v destilátech³⁷ či polyfenolů ve víně³⁸. Mimo základního složení mléka a mléčných výrobků lze pomocí FT-NIR techniky sledovat také obsah kaseinu a jeho frakcí^{39,40}, titrační kyselost, kolagenní částice či pH⁴¹ a také obsah somatických buněk⁴². Přesto, že tato technika není vhodná pro hodnocení minoritních látek, je použitelná k sledování obsahu některých minerálních látek v sýrech^{43,44}. Časté je také sledování HMF (hydroxymethylfurfuralu) v medu^{45–47}. FT-NIR spektroskopii lze sledovat nejen látky, které jsou brány jako pozitivní, ale je možné hodnotit látky nebezpečné lidskému zdraví. Mezi takové látky patří např. pesticidy^{48,49} a toxiny^{50,51} v rostlinných produktech či antibiotika v živočišných produktech po nedodržení ochranných lhůt^{52,53}. FT-NIR spektroskopie je nástrojem hojně využívaným při hodnocení obsahu alkaloidů v čaji a kávě, mezi nejčastěji stanovované patří mimo kofeinu^{54–57} také teobromin a theofilin⁵⁵. V kávových zrnech se vyskytují látky, které jsou termolabilní a jsou tedy při pražení kávy degradovány. Technika FT-NIR je vhodná i pro hodnocení chlorogenové kyseliny obsažené v kávových zrnech, právě před jejich pražením⁵⁸. Mimo zkoumání chemického složení kávy je možné FT-NIR spektroskopii využít také ke stanovení optimálního stupně pražení či složení směsi druhů káv⁵⁹. Autoři se u hodnocení kávy zabývali i mnoha dalšími parametry, jejichž přehled ve své práci uvádí Barbin a spol.⁶⁰.

4.3. Sledování falšování potravin

Velmi často se technika FT-NIR používá při odhalování původu, stáří či falšování potravin. Autoři se zabývali odhalováním původu ať už sýrů^{61,62}, medů^{63,64}, ale i dalších potravin⁶⁵. U medů je také často hodnocen přídavek cukerných sirupů⁶⁶. Velmi důležitými možnostmi využití této techniky jsou možnosti detekce náhrady dražší složky za složku levnější, což je také jedna z častých metod falšování potravin. FT-NIR technika je schopna detegovat např. přídavek kravského mléka do kozího při výrobě kozích sýrů, kdy bylo zjištěno, že NIR technika je natolik citlivá, že dokáže odhalit i pouhé 1 % přídavku kravského mléka⁶⁷. Jiné studie hovoří např. o detekci náhrady cibulového prášku kukuřičným škrobem⁶⁸, nahrazování mletého hovězího masa masem krutím⁶⁹, nebo také nahrazení mléčného

tuku^{70,71}, kdy první aplikace k detekci náhrady tuku v mléce byla provedena v r. 1990 (cit.⁷²). NIR spektroskopie byla použita také při kontrole falšování sýrů rostlinnými tuky⁷³. Byly hodnoceny tzv. analogy sýrů, určené k zapékání a smažení. Výsledky studie poukázaly na vhodnost použití NIR spektroskopie pro rozpoznávání sýrů od jejich imitací. Další aplikací NIR techniky byla zkoumána možnost detekce sušené syrovátky přidané do sušeného mléka⁷⁴.

V poslední době hrají v rozhodování se o koupi výrobku také aditiva použitá ve výrobě. I tyto látky je možné pomocí FT-NIR kontrolovat^{75,76}. Diskutovaným tématem byl také přídavek melaminu do sušeného mléka, který byl pomocí FT-NIR techniky velmi spolehlivě zachycen⁷⁷.

4.4. Sledování mikrobiologických procesů

Při výrobě a skladování některých potravin hraje pro získání ideálních vlastností velmi velkou roli přítomnost mikroorganismů, které mají podíl na fermentačních procesech. Mikroorganismy se podílí na tvorbě charakteristických vlastností masných výrobků³⁰, je možné sledovat změnu fyzikálních vlastností, jako např. aktivitu vody či pH⁷⁸. Mikroorganismy mají velký vliv na změny probíhající při procesu zrání sýrů⁷⁹, kdy lze např. identifikovat a selektovat volné aminokyseliny během zrání⁸⁰, podílí se na správné fermentaci piva^{81,82}, čímž ovlivňují pH či tvorbu ethanolu. Sledováním tvorby ethanolu a obsahu cukrů je FT-NIR spektroskopie vhodná také při kontrole správné fermentace vína⁸³. Mikroorganismy ovšem nepůsobí jen pro dosažení optimálních vlastností, na druhé straně působí jako hlavní faktor kažení potravin. NIR technika byla použita např. ke sledování napadení jablek *Gloeosporiovou* hnilobou⁸⁴.

4.5. Sledování senzorických parametrů

Velmi zajímavou možností využití NIR techniky je hodnocení senzorických vlastností potravin. Tato technika je schopna predikovat některé mechanické parametry, jako je křehkost či tuhost^{85,86}. Některé studie se také zabývají stanovením jiných senzorických vlastností, jako je např. šťavnatost⁸⁷, žvýkatelnost⁸⁶, chuť, textura a přijatelnost⁸⁸ především u hovězího a skopového masa.

FT-NIR technika je použitelná také při hodnocení senzorických vlastností sýrů. Byla použita k hodnocení konzistence a chuti a mezi texturní vlastnosti byly zařazeny pružnost, lepivost, soudržnost, měkkost a tvrdost⁸⁹.

Jiné studie pracovaly se senzorickými atributy jako drobitost, rozpadavost, pevnost, gumovitost, zrnitost, vlhkost, ulpívání v ústech, mazlavost, tavitelnost či formování hmoty⁹⁰. Na základě senzorických vlastností měřených technikou FT-NIR je možné řadit vzorky masa do jakostních tříd^{91,92}. Autoři uvádějí, že byli schopni rozlišovat mezi nejextrémnějšími vzorky, což by mohlo mít praktické důsledky pro třídění masa do tříd kvality.

5. Výhody a nevýhody FT-NIR spektroskopie

Nespornou výhodou infračervené spektroskopie je, že se jedná o metodu nedestruktivní, tj. vzorek se není, ani ho není třeba upravovat přidávkou chemikálií a k analýzám je vyžadováno jen malé množství vzorku. Po proměření ho lze bez problémů zkonsumovat, jedná-li se o potravinu, či jinak dále používat. Velkými výhodami jsou také rychlost, protože spektrum lze naměřit během několika málo minut či dokonce desetin sekund, dále mnohonásobná analýza s použitím jednoho spektra, tj. skutečnost, že při jednom měření lze zjistit současně několik parametrů najednou, přičemž k úspěchu pro vývoj kalibračního modelu je třeba změřit minimálně trojnásobek kalibračních standardů než je počet hledaných komponent⁹³. Výhodou je i snadná obsluha přístroje. V porovnání s infračervenou spektroskopií ve střední oblasti lze pomocí NIR měřit přes transparentní obaly⁹⁴, a tudíž je možno tuto metodu zařadit do on-line kontroly kvality surovin, mezi produktů i finálních výrobků. Metoda se hodí k analýze vzorků s vysokou vlhkostí, ale také pro látky pevné a sypké. V porovnání s referenčními metodami, podle kterých je NIR analyzátor kalibrován, poskytuje NIR velmi podobné výsledky, co se týče přesnosti⁹⁵. Vytvořená kalibrace na jednom přístroji může být přenesena k měření a získávání výsledků na jiném přístroji bez úprav.

Přes velké množství výhod má ale i tato technika své nevýhody. Zanedbatelná není vysoká pořizovací cena přístroje⁹⁶. Spektra získaná na NIR spektrometru jsou obtížněji interpretovatelná, a proto je nutné tato spektra zpracovávat příslušným programem. Technika NIR se nehodí pro stanovení minoritních látek ve směsích, není tedy schopna detekce např. použití konzervačních látek na anorganické bázi v mléce⁹⁷. Přesnost vytvořených metod může být ovlivněna použitou referenční metodou. Pro získávání kalibrační závislosti je potřeba použít velké množství vzorků, s čímž jsou spojeny vyšší náklady na vytvoření kalibračního modelu⁹⁸. Na druhé straně jsou vyšší náklady na kalibraci vyváženy skutečností, že takový model přináší dostatečnou informaci pro identifikaci odlehklých výsledků a zjištění interferujících látek ve vzorcích⁹⁴. Velkou nevýhodou je také ovlivnitelnost měření aktuální teplotou měřeného vzorku⁹⁹ a také změnou metodiky¹⁰⁰. Proto je dobré, aby po vytvoření kalibračního modelu pro měření např. syrového kravského mléka při 20 °C byla modelem hodnocena spektra získaná měřením právě takových vzorků.

6. Závěr

Budoucnost širokého uplatnění FT-NIR spektroskopie v potravinářství je zcela zřejmá. Lze předpokládat rozsáhlejší využití v kontrole jakosti zemědělských materiálů a finálních produktů, nejenom při analýzách chemického složení, ale také při sledování jednotlivých technologických kroků ve výrobě. A to zejména v provozech, kde je rychlost měření důležitější než jeho přesnost. Řada stále nově vznikajících vědeckých prací ukazuje, že metoda

FT-NIR může být také velmi rychlým a účinným nástrojem k odhalení falšování potravin a následně ve spojení s dalšími přesnějšími analýzami účinnou ochranou spotřebitelů.

Tato práce byla spolufinancována ze zdrojů projektu NAZV KUS QJ1230044.

LITERATURA

- Hart–Davis A. (ed.): *Věda*. Euromedia Group, k.s., Stochov 2011.
- Pasquini C.: *J. Braz. Chem. Soc.* 14, 198 (2003).
- Valníček B., v knize: *Dějiny vědy a techniky* (Folta J., ed.), sv. XIV. Národní technické muzeum, Praha 2006.
- http://www.vscht.cz/anl/lach1/7_IC.pdf, staženo 2.4. 2016.
- Irudayaraj J., Reh C. (ed.): *Nondestructive Testing of Food Quality*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford 2008.
- http://tp.zcu.cz/files/pdf/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf, staženo 2. 3. 2016.
- Klouda P.: *Moderní analytické metody*. Nakladatelství Pavel Klouda, Ostrava 2003.
- Ozaki Y., McClure W. F., Christy A. A. (ed.): *Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. J. Wiley, New York 2007.
- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NS-mCM_mnW8J:chemistry.ujep.cz/download.php%3Fsoubor%3Dtext-predn-techniky-mereni-ir-spekter.pdf+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz, staženo 1. 3. 2016.
- Benito J. M. T., Ojeda B. C., Rojas S. F.: *Appl. Spectrosc. Rev.* 43, 452 (2008).
- Nielsen S. S. (ed.): *Food Analysis*. Springer, Berlín 2010.
- Adam M., Dobiáš P., Bajerová P., Ventura K.: *Food Chem.* 115, 1069 (2009).
- Büning-Pfaue H.: *Food Chem.* 82, 107 (2003).
- Nagarajan R., Singh P., Mehrotra R.: *J. Autom. Methods Manage. Chem.* 2006, 1.
- Hell J., Prückler M., Danner L., Henniges U., Apprich S., Rosenau T., Böhmendorfer S.: *Food Control* 60, 365 (2016).
- Manley M., Van Zyl L., Osborne B. G.: *J. Near Infrared Spectrosc.* 10, 71 (2002).
- Armstrong P. R., Maghirang E. B., Xie F., Dowell F. E.: *Appl. Eng. Agric.* 22, 453 (2006).
- Blakey R. J., van Rooyen Z.: *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 34, 9 (2011).
- Cayuela J. A., García J. M., García J. M., Caliani N., Caliani N.: *Grasas Aceites* 60, 194 (2009).
- Shiroma C., Rodriguez-Saona L.: *J. Food Compos. Anal.* 22, 596 (2009).
- Mazurek S., Szostak R., Kita A.: *J. Mol. Struct.*

- 1126, 213 (2016).
22. Lužová T., Šustová K., Kuchtík J., Mlček J., Vorlová L., Sumczynski D.: *Acta Veterinaria Brno* 83, 27 (2014).
 23. Núñez-Sánchez N., Martínez-Marín A. L., Polvillo O., Fernández-Cabanás V. M., Carrizosa J., Urrutia B., Serradilla J. M.: *Food Chem.* 190, 244 (2016).
 24. Laroussi-Mezghani S., Vanloot P., Molinet J., Dupuy N., Hammami M., Grati-Kamoun N., Artaud J.: *Food Chem.* 173, 122 (2015).
 25. Zomeño C., Juste V., Hernández P.: *Meat Sci.* 91, 155 (2012).
 26. Kays S. E., Barton F. E.: *J. Agric. Food Chem.* 50, 3024 (2002).
 27. Osborne B. G.: *J. Near Infrared Spectrosc.* 4, 195 (1996).
 28. Orman B. A., Schumann Jr. R. A.: *J. Agric. Food Chem.* 39, 883 (1991).
 29. Schmidt J., Gergely S., Schönlechner R., Grausgruber H., Tömösközi S., Salgó A., Berghofer E.: *Cereal Chem.* 86, 398 (2009).
 30. Maja P., Martin Š., Dejan Š., Marjeta Č. P.: *Technol. Mesa* 51, 133 (2010).
 31. Mlček J., Rop O., Šustová K., Simeonovová J., Gál R.: *Chem. Listy* 104, 855 (2010).
 32. Mlček J., Šustová K., Simeonovová J.: *Czech J. Anim. Sci.* 51, 361 (2006).
 33. Collell C., Gou P., Picouet P., Arnau J., Coaposada J.: *Meat Sci.* 85, 325 (2010).
 34. Garden S. W., Prunedá T., Irby S., Hysert D. W.: *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 58, 73 (2000).
 35. Engelhard S., Löhmansröben H. G., Schael F.: *Appl. Spectrosc.* 58, 1205 (2004).
 36. Castritius S., Kron A., Schäfer T., Rädle M., Harms D.: *J. Agric. Food Chem.* 58, 12634 (2010).
 37. Nordon A., Mills A., Burn R. T., Cusick F. M., Littlejohn D.: *Anal. Chim. Acta* 548, 148 (2005).
 38. Martelo-Vidal M. J., Vázquez M.: *Food Chem.* 158, 28 (2014).
 39. Laporte M. F., Paquin P.: *J. Agric. Food Chem.* 47, 2600 (1999).
 40. Šustová K., Růžičková J., Kuchtík J.: *Czech J. Anim. Sci.* 52, 284 (2007).
 41. De Marchi M., Fagan C. C., O'donnell C. P., Cecchinato A., Dal Zotto R., Cassandro M., Bittante G.: *J. Dairy Sci.* 92, 423 (2009).
 42. Tsenkova R., Atanassova S., Kawano S., Toyoda K.: *J. Anim. Sci.* 79, 2550 (2001).
 43. González-Martín I., Hernández-Hierro J. M., Revilla I., Vivar-Quintana A., Ortega I. L.: *Food Chem.* 127, 147 (2011).
 44. Lucas A., Andueza D., Rock E., Martin B.: *J. Agric. Food Chem.* 56, 6801 (2008).
 45. Ruoff K., Luginbühl W., Bogdanov S., Bosset J. O., Estermann B., Ziolk T., Amad R.: *Eur. Food Res. Technol.* 225, 415 (2007).
 46. Cozzolino D., Corbella E.: *J. Apic. Res.* 42, 16 (2003).
 47. Pataca L. C., Neto W. B., Marcucci M. C., Poppi R. J.: *Talanta* 71, 1926 (2007).
 48. Sánchez M. T., Flores-Rojas K., Guerrero J. E., Garrido-Varo A., Pérez-Marín D.: *Pest Manage. Sci.* 66, 580 (2010).
 49. Moros J., Armenta S., Garrigues S., de la Guardia M.: *Anal. Chim. Acta* 579, 17 (2006).
 50. Tripathi S., Mishra H. N.: *Food Control* 20, 840 (2009).
 51. Gaspardo B., Del Zotto S., Torelli E., Cividino S. R., Firrao G., Della Riccia G., Stefanon B.: *Food Chem.* 135, 1608 (2012).
 52. Sivakesava S., Irudayaraj J.: *J. Dairy Sci.* 85, 487 (2002).
 53. Dračková M., Navrátilová P., Hadra L., Vorlová L., Hudcová L.: *Acta Veterinaria Brno* 78, 685 (2009).
 54. Sinija V. R., Mishra H. N.: *Food Sci. Technol.* 42, 998 (2009).
 55. Huck C. W., Guggenbichler W., Bonn G. K.: *Anal. Chim. Acta* 538, 195 (2005).
 56. Pizzaro C., Esteban-Díez I., González-Sáiz J. M., Sáenz-González C.: *Talanta* 71, 221 (2007).
 57. Zhang X., Li W., Yin B., Chen W., Kelly P. D., Wang X., Zheng K., Du Y.: *Spectrochim. Acta, Part A* 114, 350 (2013).
 58. Shan J., Suzuki T., Suhandy D., Ogawa Y., Kondo N.: *EAEF* 7, 139 (2014).
 59. Bertone E., Venturello A., Giraud A., Pellegrino G., Geobaldo F.: *Food Control* 59, 683 (2015).
 60. Barbin D. F., Souza Madureira Felicio A. L., Sun D.-W., Nixdorf S. L., Hirooka E. Y.: *Food Res. Int.* 61, 23 (2014).
 61. Pillonel L., Luginbühl W., Picque D., Schaller E., Tabacchi R., Bosset J.: *Eur. Food Res. Technol.* 216, 174 (2003).
 62. Cevoli C., Gori A., Nocetti M., Cuius L., Caboni M. F., Fabbri A.: *Food Res. Int.* 52, 214 (2013).
 63. Escuredo O., González-Martín M. I., Rodríguez-Flores M. S., Seijo M. C.: *Food Chem.* 170, 47 (2015).
 64. Liang X. Y., Li X. Y., Wu W. J.: *Adv. Mater. Res.* 605-607, 905 (2012).
 65. Luykx D. M., Van Ruth S. M.: *Food Chem.* 107, 897 (2008).
 66. Bázár G., Romvári R., Szabó A., Somogyi T., Éles V., Tsenkova R.: *Food Chem.* 194, 873 (2016).
 67. Dvořák L., Mlček J., Šustová K.: *J. AOAC Int.* 99, 180 (2016).
 68. Lohumi S., Lee S., Lee W. H., Kim M. S., Mo C., Bae H., Cho B. K.: *J. Agric. Food Chem.* 62, 9246 (2014).
 69. Alamprese C., Casale M., Sinelli N., Lanteri S., Casiraghi E.: *Food Sci. Technol.* 53, 225 (2013).
 70. Sato T., Kawano S., Iwamoto M.: *J. Dairy Sci.* 73, 3408 (1990).
 71. Carl R. T.: *J. Anal. Chem.* 339, 70 (1991).
 72. Sato T., Kawano S., Iwamoto M.: *J. Dairy Sci.* 73, 3408 (1990).

73. Lužová T.: *Disertační práce*, Mendelova univerzita v Brně, Brno 2011.
74. Murray I., Cowe I. A. (ed.): *Making Light work: Advances in Near Infrared Spectroscopy*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 1991.
75. Huang Y., Min S., Duan J., Wu L., Li Q.: *Food Chem.* 145, 278 (2014).
76. Křiváková L.: *Bakalářská práce*, Mendelova univerzita v Brně, Brno 2011.
77. Lu C., Xiang B., Hao G., Xu J., Wang Z., Chen C.: *J. Near Infrared Spectrosc.* 17, 59 (2009).
78. Procházková Z., Dračková M., Saláková A., Gallas L., Pospiech M., Vorlová L., Buchtová H.: *Acta Veterinaria Brno* 79, 101 (2010).
79. Atanasova S., Naydenova N., Kolev T., Iliev T., Mihaylova G.: *J. Agric. Sci. Technol.* 3, 390 (2011).
80. Skeie S., Feten G., Almøy T., Østlie H., Isaksson T.: *Int. Dairy J.* 16, 236 (2006).
81. Grassi S., Amigo J. M., Lyndgaard C. B., Foschino R., Casiraghi E.: *Food Chem.* 155, 279 (2014).
82. Giovenzana V., Beghi R., Guidetti R.: *J. Food Eng.* 142, 80 (2014).
83. Di Egidio V., Sinelli N., Giovanelli G., Moles A., Casiraghi E.: *Eur. Food Res. Technol.* 230, 947 (2010).
84. Růžičková J., Lužová T., Němcová A., Mýlová P., Šustová K.: *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* 54, 53 (2006).
85. Venel C., Mullen A. C., Downey G., Troy D. J.: *J. Near Infrared Spectrosc.* 9, 185 (2001).
86. Rødbotten R., Nilsen B. N., Hildrum K. I.: *Food Chem.* 69, 427 (2000).
87. Liu Y. L., Lyon B. G., Windham W. R., Realini C. E., Pringle T. D. D., Duckett S. D.: *Meat Sci.* 65, 45 (2003).
88. Byrne C. E., Downey G., Troy D. J., Buckley D. J.: *Meat Sci.* 49, 399 (1998).
89. Sørensen L. K., Jepsen R.: *Int. Dairy J.* 8, 863 (1998).
90. Downey G., Sheehan E., Delahunty C., O'Callaghan D., Guinee T., Howard V.: *Int. Dairy J.* 15, 701 (2005).
91. Andrés S., Murray I., Navajas E. A., Fisher A. V., Lambe N. R., Bünger, L.: *Meat Sci.* 76, 509 (2007).
92. Kamruzzaman M., ElMasry G., Sun D. W., Allen P.: *Food Chem.* 141, 389 (2013).
93. NICOLET CZ: *TQ Analyst – spektroskopický software, stručný návod*. Nicolet CZ, Praha 2011.
94. Šikola J.: *Kvalita Potravin* 2, 18 (2002).
95. Míka V., Kohoutek A., Nerušil P.: *Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIR) – Výběr praktických aplikací v zemědělství*. Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i., Praha 2008.
96. Centner V.: *Chemagazín I*, 22 (1999).
97. Jankovská R.: *Disertační práce*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno 2004.
98. Blanco M., Villarroya I.: *Trends Anal. Chem.* 21, 240 (2002).
99. Šustová K.: *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* 55, 95 (2007).
100. Dračková M., Hadra L., Janštová B., Navrátilová P., Přidalová H., Vorlová L.: *Acta Veterinaria Brno* 77, 415 (2008).

L. Dvořák^a, K. Šustová^a, and J. Mlček^b
^aDepartment of Food Technology, Mendel University in Brno, ^bDepartment of Food Analysis and Chemistry, Tomas Bata University in Zlin): **Near Infrared Spectroscopy as an Aid in the Food Quality Control**

This paper summarizes the application of FT-NIR spectroscopy to assess the whole range of food. It deals with the use of this technique for an evaluation of the basic chemical composition of food, as well as minor components found therein. An assessment of microbial processes, a detection of food adulteration and possibilities of FT-NIR spectroscopy for sensory evaluation of food are also discussed.