

# NEDESTRUKTIVNÍ URČOVÁNÍ PARAMETRŮ KVALITY JABLEK ODRŮDY 'RED JONAPRINCE' POMOCÍ BLÍZKÉ INFRAČERVENÉ SPEKTROMETRIE

## NON-DESTRUCTIVE DETERMINATION OF APPLE QUALITY PARAMETERS OF VARIETY 'RED JONAPRINCE' USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

Martina Šubrtová<sup>1,2</sup>, Veronika Danková<sup>1</sup>, Pavol Suran<sup>1</sup>, Lubor Zelený<sup>1</sup>

<sup>1</sup>VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.,  
508 01 Holovousy

<sup>2</sup>Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové, Rokitanského 62, 500 03 Hradec Králové

e-mail: martina.subrtova@vsuo.cz

### ABSTRACT

Near-infrared spectroscopy can be also to determine the quality of fruits. We used it for non-destructive determination of soluble solid content, flesh firmness, pH, and acid content of apples of the variety 'Red Jonaprince'. The spectral data and values obtained by classical destructive methods were used to create calibration models for non-invasive measurements. The use of the laboratory instrument Antaris II produced more accurate results. In contrast, the MicroPhazir instrument is considerably less accurate, but its advantages are mobility and field measurement capability. The best determination coefficient  $R^2 = 0.960$  was obtained with the Antaris II for soluble solid content model. On the other hand, the least accurate was the determination of flesh firmness using MicroPhazir, featuring a determination coefficient of only 0.361.

**Keywords:** fruit, NIR, soluble solid content, flesh firmness, acidity

Spektrometrie v blízké infračervené oblasti spektra může být použita i pro účely určování kvality ovoce. Zde byla využita pro nedestruktivní určování obsahu pevných rozpustných látek, pevnosti dužniny, pH a obsahu kyselin u jablek odrůdy 'Red Jonaprince'. Ze spektrálních dat a hodnot získaných klasickými destruktivními metodami jsme vytvořili kalibrační modely pro následně neinvazivní měření. Bylo prokázáno, že použití laboratorního přístroje Antaris II poskytuje přesnější výsledky. Přístroj MicroPhazir je značně méně přesný, ale jeho výhoda spočívá v mobilnosti a možnosti orientačního měření v terénu. Nejvyšší získaný determinační koeficient, konkrétně  $R^2 = 0,960$ , byl získán s použitím modelu pro stanovení pevných rozpustných látek přístrojem Antaris II. Naopak nejméně přesnou metodou bylo stanovení pevnosti dužniny přístrojem MicroPhazir s determinačním koeficientem 0,361.

**Klíčová slova:** ovoce, NIR, pevné rozpustné látky, pevnost dužniny, kyselost

Určování kvality plodin je zásadní jednak pro samotné pěstitele, konzumenty, ale i potravinářský a zpracovatelský průmysl (De Oliveira *et al.* 2014; Escribano *et al.* 2017). Kvalita ovoce je nejčastěji hodnocena podle velikosti, barvy, pevnosti dužniny, chuti, obsahu pevných rozpustných látek a kyselosti (Bureau *et al.* 2009). Určování parametrů kvality ovoce je obvykle prováděno pomocí klasických destruktivních metod, které jsou však často časově náročné, je vyžadována zdlouhavá příprava vzorků, použití drahých chemikálií a v neposlední řadě provedením rozborů dochází ke znehodnocení testovaného ovoce (Escribano *et al.* 2017, De Oliveira *et al.* 2014, Bureau *et al.* 2009).

Spektrometrie v blízké infračervené oblasti záření (NIR, near infrared spectroscopy) je využívána v mnoha odvětvích průmyslu včetně potravinářství (Vittayapadung *et al.* 2008). Pomocí spektrometrie lze nedestruktivně určovat fyzikální a chemické vlastnosti a složení ovoce (De Oliveira *et al.*, 2014). V předchozích pracích byla tato metoda využita například pro analýzy cibule, broskví, mandarinek, jablek (Liu and Ying, 2004), rajčat, třešní, švestek a kiwi (Bureau *et al.* 2009). Jelikož je paprsek světla ze zdroje přístroje schopný dostat se maximálně do hloubky 4 mm, není tato technika vhodná pro všechny druhy ovoce nebo zeleniny, jako je například ananas nebo meloun (De Oliveira *et al.* 2014). Pomocí NIR spektrometrie lze dle předchozích autorů určovat parametry vnitřní kvality jako například obsah pevných rozpustných látek (SSC) (Manickavasagan *et al.* 2014), kyselost (Liu and Ying 2005), obsah cukrů a minerálů a pevnost dužniny (Vittayapadung *et al.* 2008, Lebot *et al.* 2013). Pomocí těchto parametrů lze určovat celkovou kvalitu ovoce (Escribano *et al.* 2017), botanický druh, geografický původ ovoce (Bizjak Bat *et al.* 2012), vliv sezóny a kultivaru (Viljevac Vuletić *et al.* 2017) a zralost (Li *et al.* 2018).

## MATERIÁL A METODY

Do pokusu byla zahrnuta jablka odrůdy 'Red Jonaprince' pocházející z pokusných výsadeb VŠÚO Holovousy. Sklizeň vzorků proběhla na podzim 2017 v době ideální zralosti plodů.

Jablka byla následně uskladněna v chlazeném skladu s normální atmosférou při teplotě 2 °C a druhá část vzorku byla uskladněna v chlazeném skladu s řízenou atmosférou – s použitím ULO technologie (ultra low oxygen). Z těchto skladů byly vyskladňovány vzorky vždy v měsíčním intervalu. Vyskladnění a následné analýzy probíhaly až do doby úplné degradace kvality plodů v daném typu skladu.

V druhé sezóně pokusu (2018) byly vzorky téže odrůdy jablek odebírány ze stromů ještě před dobou jejich ideální zralosti v definovaných termínech. U plodů byly provedeny vždy totožné rozborů jako v předchozím roce, vždy v den odběru vzorků. Při dosažení ideálního stupně zralosti této odrůdy byly plody sklizeny a uskladněny ve stejných podmínkách jako v předchozí sezóně. Rozborů byly provedeny v den sklizně a následně vždy v měsíčním intervalu po vyskladnění, při dodržení postupů totožných s minulým rokem. Analýzy byly opět prováděny do doby degradace kvality plodů v příslušném typu skladu.

Po odběru vzorků ze sadu nebo po vyskladnění byla jablka temperována na laboratorní teplotu a následně měřena pomocí dvou odlišných typů NIR spektrometrů využívající k měření paprsek světla s vlnovou délkou náležející do blízké infračervené oblasti spektra (near infrared, NIR). K měření byl použit laboratorní přístroj Antaris II (Thermo Fisher Scientific Inc., USA) a ruční přenosný MicroPhazir (Thermo Fisher Scientific Inc., USA). Na každém jablku byly vyznačeny 3 body v rovinné rovině na vrcholech pomyslného rovnostranného trojúhelníku, aby měření pokryla osluněnou i neosluněnou oblast jablka. Jelikož se NIR spektrometrie řadí mezi nedestruktivní metody, měření nepředcházela žádná úprava vzorku. Pro měření byla použita celá neporušená jablka. Měřicí software Omnic for Antaris (pro přístroj Antaris II) zaznamenal pro každý měřený bod vlastní spektrum a následně z nich vytvořil ještě jedno průměrné. Postup měření byl totožný pro oba typy přístrojů.

Po nedestruktivní spektrometrii následovaly klasické destruktivní analýzy. V označených bodech, kde byla snímána individuální spektra, byla měřena pevnost dužniny a obsah

pevných rozpustných látek (SSC, neboli obsah refraktometrické sušiny). Pevnost dužniny neboli penetrace byla měřena pomocí stolního penetrometru firmy LLOYD po odstranění slupky. Výsledek byl udáván v jednotce  $\text{kg/cm}^2$ , vyjadřující sílu nutnou na zavedení měřícího nástavce o průměru 13 mm do dužniny jablka do předem definované hloubky 5,9 mm. Následně byl z totožného místa určen i obsah pevných rozpustných látek pomocí digitálního refraktometru s označením ORD 45BM od firmy KERN optics. Na měřící okénko se aplikovala kapka uvolněné šťávy nebo dužniny a výsledek byl udáván v jednotce °Brix. U jablek sklizených před ideálním stupněm zralosti a plodů vyskladněných nejdéle 60 dnů po sklizni byl vždy proveden Lugolův škrobový test. Jód přítomný v Lugolově roztoku se váže na škrob v jablku a vytváří tak fialově zbarvené oblasti. S dozráváním se škrob přeměňuje na cukr, a jeho množství tedy klesá a stejně tak se i zmenšuje obarvená plocha na řezu jablka. Jód se na přítomný cukr neváže a zůstávají tak neobarvené zóny. Každé jablko bylo rozříznuto v rovníkové rovině a stopeční polovina jablka byla řezem ponořena na 10 s do Lugolova roztoku. Následně byla tato polovina jablka nechána 10 min na zaschnutí a na vybarvení se. Po tomto intervalu byly vzorky vizuálně hodnoceny podle stupnice, přičemž stupeň 1 bylo jablko celé modro-fialové a nezralé. Stupeň 10 byl naopak plně zralý plod a řez se vůbec roztokem nezbarvil a byl tedy světlý. Po delším skladování než 60 dnů bylo již bezpředmětné tento test provádět, jelikož se všechny testované plody dostaly na maximální stupeň 10. Druhá polovina jablek byla vždy nastrouhána a byla vymačkána šťáva. V této šťávě bylo změřeno pH pomocí pH elektrody a titračně za pomoci 0,1 mol/L hydroxidu sodného potenciometricky pomocí pH elektrody byl určen obsah přítomných kyselin udávaný v jednotce gram kyseliny jablečné na litr šťávy (g/L). V případě stanovení kyselin, pH a množství škrobu byl získán vždy jen jeden výsledek pro jedno jablko.

Ze změřených spekter a výsledků jednotlivých destruktivních metod byly následně tvořeny kalibrační modely, vždy pro každý parametr a přístroj zvlášť. Průběžně byla do modelů

přihrávána nová data a modely tak byly obohacovány. Kalibrační modely jednotlivých analytů pro přístroj Antaris II byly vyvinuty pomocí chemometrického programu TQ Analyst (Thermo Fisher Scientific Inc., USA). Na základě získané závislosti mezi spektrálními informacemi a složením vzorku byly vytvořeny modely pomocí algoritmu Partial Least Squares (PLS) s úpravou spektra pomocí 1. derivace a Norrisovým derivačním filtrem. Pro obsah pevných rozpustných látek a pevnost byla využita jednotlivá spektra měřená v různých místech každého jablka. Pro stanovení obsahu kyseliny jablečné a pH bylo pro kalibrace použito průměrné spektrum. Spektrálně odlišné vzorky, nebo pokud vzorky vykazovaly velkou odchylku mezi naměřenými a predikovanými hodnotami, byly z kalibračního souboru vyloučeny pomocí diagnostik Spectrum Outlier, Leverage a Principal Component Scores. V případě přístroje MicroPhazir byl pro tvorbu kalibračních modelů využit příslušný software MethodGenerator. Taktéž byl využit algoritmus PLS.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Práce s biologickým materiálem, jako je ovoce, je obtížná vzhledem k velké variabilitě parametrů kvality. Jak zmiňuje například Pissard *et al.* (2012) ve své práci, jsou rozdíly nejen v distribuci cukrů v rámci jednoho plodu, nýbrž větší rozdíly jsou patrné mezi plody na jednom stromě vzhledem k jejich pozici přivrácené ke slunci nebo naopak skryté v koruně nebo na odvrácené straně. Na kvalitu ovoce má značný vliv i konkrétní sezóna a její individuální přírodní podmínky. Vzhledem k těmto okolnostem je pro vytvoření funkčního modelu nutné do souboru dat zahrnout mnoho vzorků, a to i z více roků sklizní. Počet použitých měření do daného kalibračního modelu je uveden pro přístroj Antaris II v tabulce 1 a pro MicroPhazir v tabulce 2. U každého sledovaného znaku vnitřní kvality jsou v tabulce 1 a 2 vždy uvedeny parametry získaného kalibračního modelu pro vzorky pouze ze sklizně 2017 a v druhém sloupečku jsou data obohacena o novou sklizeň v roce 2018. Proto tyto modely obsahují zhruba dvojnásobné množství dat. Z uvedených výsledků je patrné, že nejlepší

kalibrační model byl získán pro parametr obsah pevných rozpustných látek (SSC) pro přístroj Antaris II, jak je uvedeno v tabulce 1. RPD faktor (ratio of prediction to deviation) vyšší než hodnota 3 značí velmi přesný model pro neinvazivní předpovídání výsledků SSC. Stejně tak koeficient determinace  $R^2 = 0,960$  udává velmi malý rozdíl v hodnotách reálně

změřených vzorků pomocí destruktivní klasické metody a hodnotou teoretickou předpovězenou na základě zmíněného kalibračního modelu pro daný přístroj. Tento vztah je zobrazen na grafu 1. Grafy 2, 3, 4 a 5 ukazují charakteristiky zmíněného modelu pro stanovení SSC pomocí přístroje Antaris II.

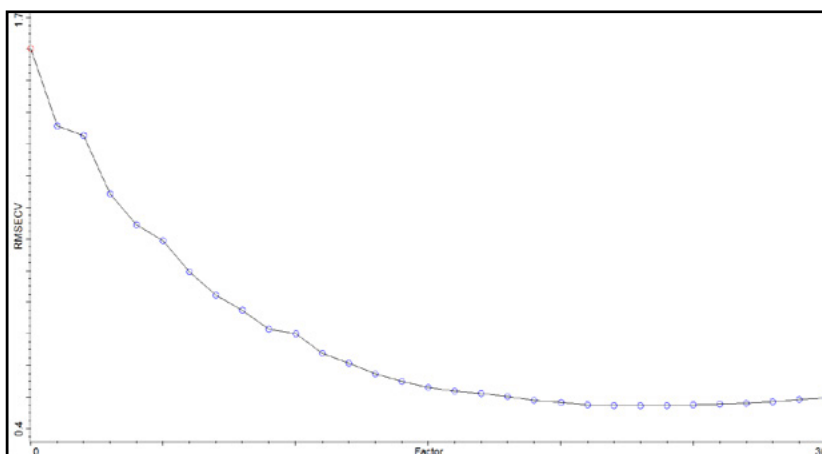
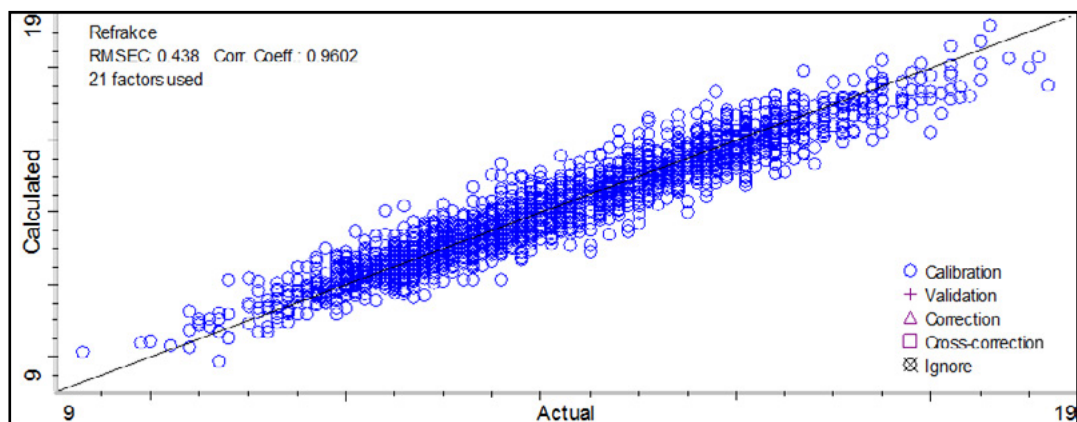
**Tabulka 1.** Přehled charakteristik kalibračních modelů pro jednotlivé testované parametry pro přístroj Antaris II: \*RMSECV = Střední kvadratická chyba predikce, RPD = Výběrová směrodatná odchylka / RMSECV,  $R^2$  = Koeficient determinace (kalibrace), RMSEC = Střední kvadratická chyba kalibrace,  $R^2$  Cross validace = koeficient determinace (cross validace)

**Table 1.** Overview of calibration model characteristics for each tested parameter using instrument Antaris II: 1) Fruit flesh firmness, 2) Soluble solid content, 3) Amount of malic acid (acidity), 4) Year of constructing the model, 5) Sample standard deviation, 6) RMSECV - Root Mean Squared Error of Cross-Validation, 7) RPD - the Ratio sample standard deviation / RMSECV, 8)  $R^2$  - Coefficient of determination, 9) RMSEC - Root Mean Square Error of Calibration, 10)  $R^2$  Cross-validation, 11) Number of factors used, 12) Deviation, 13) Number of points in calibration

Rok dokončení modelu <sup>4)</sup>	Pevnost dužniny [kg/cm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>		Obsah pevných rozpustných látek [°Brix] <sup>2)</sup>		Kyselost [g/L] <sup>3)</sup>		pH	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Výběrová směrodatná odchylka <sup>5)</sup>	0,963	1,731	0,858	1,569	1,160	1,592	0,219	0,239
RMSECV * <sup>6)</sup>	0,504	0,755	0,391	0,476	0,547	0,655	0,112	0,127
RPD * <sup>7)</sup>	<b>1,910</b>	<b>2,293</b>	<b>2,194</b>	<b>3,295</b>	<b>2,120</b>	<b>2,430</b>	<b>1,955</b>	<b>1,878</b>
$R^2$ * <sup>8)</sup>	<b>0,899</b>	<b>0,923</b>	<b>0,919</b>	<b>0,960</b>	<b>0,956</b>	<b>0,949</b>	<b>0,962</b>	<b>0,926</b>
RMSEC * <sup>9)</sup>	0,042	0,665	0,338	0,438	0,339	0,502	0,059	0,090
$R^2$ Cross validace * <sup>10)</sup>	0,852	0,900	0,891	0,953	0,882	0,912	0,858	0,846
Počet faktorů <sup>11)</sup>	17	19	19	21	18	21	20	20
Odchylka <sup>12)</sup>	0,330	0,521	0,256	0,336	0,269	0,398	0,047	0,072
Počet bodů v kalibraci <sup>13)</sup>	1203	2494	1235	2590	374	883	367	850

**Graf 1.** Kalibrační křivka pro stanovení obsahu pevných rozpustných látek (SSC, refrakce) s použitím přístroje Antaris II

**Figure 1.** Calibration curve for the determination of soluble solid content (refraction) using instrument Antaris II

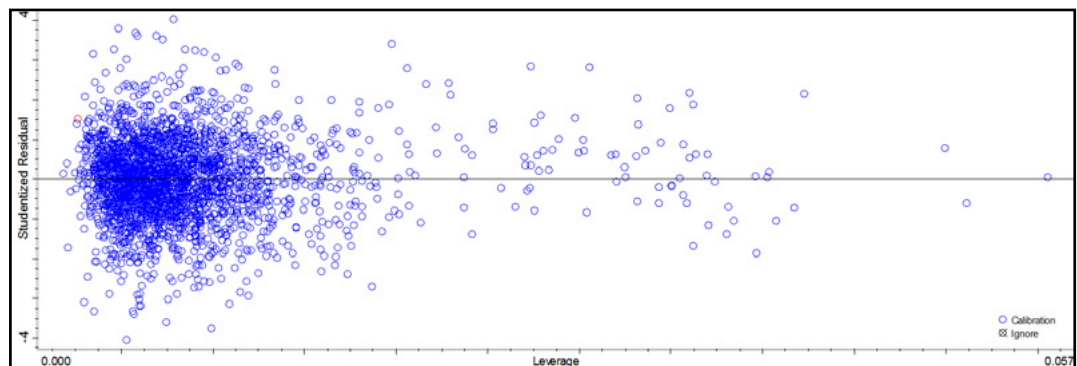


**Graf 2.** Diagnostika Press s počtem faktorů pro model stanovení SSC, Antaris II

**Figure 2.** Press diagnostic with number of factors for model SSC using Antaris II

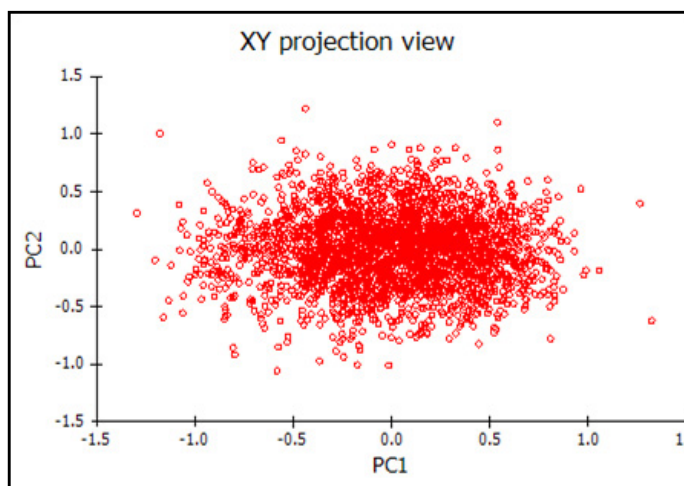
**Graf 3.** Diagnostika Leverage pro model stanovení SSC, Antaris II

**Figure 3.** Leverage diagnostic for model SSC using Antaris II



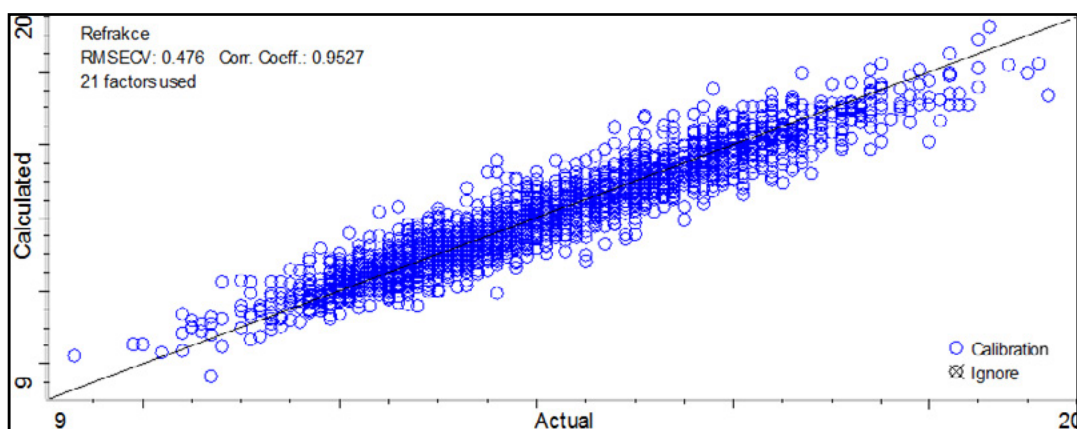
Graf 4. Rozložení jednotlivých použitých bodů kalibrace

Figure 4. Distribution of individual calibration points



Graf 5. Křivka diagnostiky Cross-Validace, SSC, Antaris II

Figure 5. Cross-Validation curve, SSC using Antaris II



Na rozdíl od námi získaného koeficientu determinace 0,960 s použitím 2590 měření a více než 860 plodů jablek, Liu and Ying (2005) prezentovali koeficient determinace  $R^2 = 0,91$  pro odrůdu 'Fuji', avšak do kalibračního modelu použili pouze 235 plodů. Moller *et al.* (2013) uvádí  $R^2 = 0,8$  a rozsah hodnot 10,5–18,3 °Brix. U našich vzorků se podařilo pokrýt zhruba o 2 °Brix širší rozsah, konkrétně 9,3–19,2 °Brix.

Dříve bylo provedeno mnoho studií na určení obsahu pevných rozpustných látek i v jiných druzích ovoce než jsou jablka. Například Bureau *et al.* (2009) použili NIR spektrometrii pro určování SSC u meruněk. Použili soubor

598 plodů a získali determinační koeficient 0,92. Stejný výsledek publikovali i McGlone *et al.* (2002) pro měření kiwi. O něco lepší výsledek ( $R^2 = 0,95$ ) publikoval Lu (2001) pro model sestavený z 374 vzorků třešňové odrůdy 'Hedelfinger'. Avšak výše determinačního koeficientu, respektive přesnosti metody, se liší podle odrůdy. Pro odrůdu 'Sam' bylo  $R^2$  pouze 0,89. Yongni *et al.* (2007) publikovali  $R^2 = 0,95$  pro stanovení SSC u rajčat. Naopak De Oliveira *et al.* (2014) výsledek  $R^2 = 0,525$  pro stanovení SSC taktéž u rajčat vyhodnotili závěrem, že NIR spektrometrie není vhodná pro rajčata. S námi srovnatelný výsledek ( $R^2 = 0,96$ ) prezentovali

Gomez *et al.* (2006) pro 'Satsuma' mandarinky a Slaughter *et al.* (2003) pro švestky 'French'. Lepší výsledky  $R^2 = 0,97$  publikovali Liu a Ying (2004) pro jablka odrůdy 'Fuji', avšak

do modelu zahrnuli pouze 46 jablek. Takto malý soubor vzorků nemůže postihnout variabilitu v rámci plodu natož mezi jednotlivými jablky.

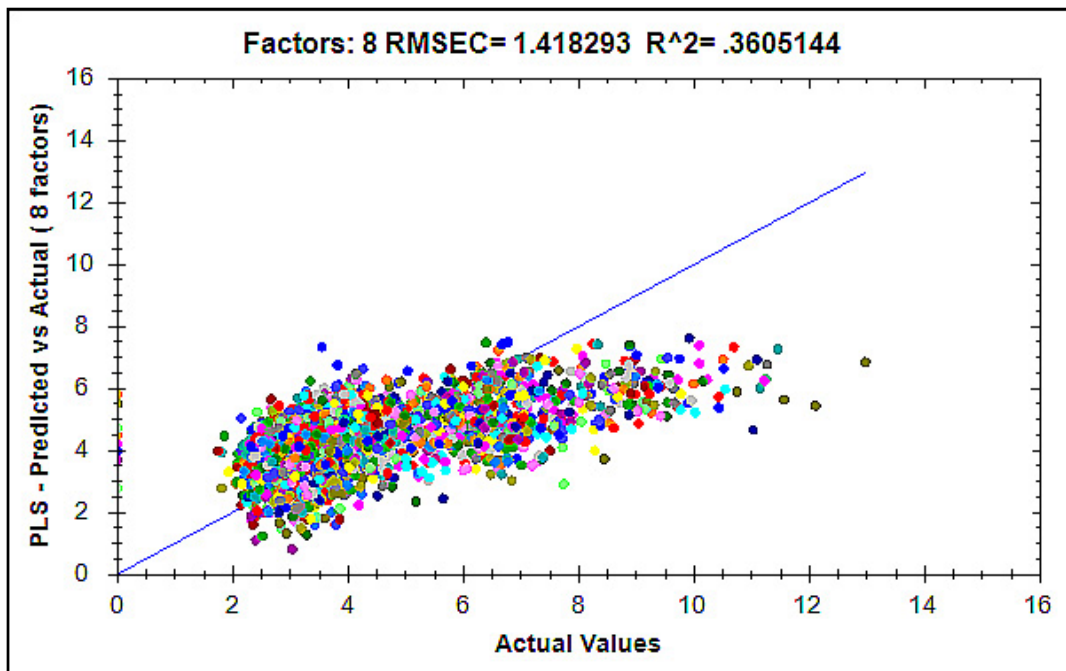
**Tabulka 2.** Přehled charakteristik kalibračních modelů pro jednotlivé parametry testované přístrojem MicroPhazir: \*RMSECV = Střední kvadratická chyba predikce, RPD = Výběrová směrodatná odchylka / RMSECV,  $R^2$  = Koeficient determinace (kalibrace), RMSEC = Střední kvadratická chyba kalibrace,  $R^2$  Cross validace = koeficient determinace (cross validace)

**Table 2.** Overview of calibration model characteristics for each tested parameter using instrument Antaris II: 1) Fruit flesh firmness, 2) Soluble solid content, 3) Amount of malic acid (acidity), 4) Year of construction the model, 5) Sample standard deviation, 6) RMSECV - Root Mean Squared Error of Cross-Validation, 7) RPD - the ratio sample standard deviation / RMSECV, 8)  $R^2$  - Coefficient of determination, 9) RMSEC - Root Mean Square Error of Calibration, 10)  $R^2$  Cross-validation, 11) Number of used factors, 12) Deviation, 13) Number of points in calibration

Rok dokončení modelu <sup>4)</sup>	Pevnost dužniny [kg/cm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>		Obsah pevných rozpustných látek [°Brix] <sup>2)</sup>		Kyselost [g/L] <sup>3)</sup>		pH	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Výběrová směrodatná odchylka <sup>5)</sup>	0,992	1,765	0,852	1,678	1,196	1,550	0,228	0,225
RMSECV * <sup>6)</sup>	0,809	1,456	0,681	1,074	0,769	1,194	1,163	0,176
RPD * <sup>7)</sup>	1,226	1,212	1,252	1,563	1,555	1,298	0,196	1,275
$R^2$ * <sup>8)</sup>	0,404	0,361	0,427	0,573	0,666	0,479	0,580	0,439
RMSEC * <sup>9)</sup>	0,766	1,418	0,645	1,049	0,691	1,117	0,148	0,166
$R^2$ cross validace * <sup>10)</sup>	0,337	0,327	0,364	0,552	0,588	0,409	0,492	0,371
Počet faktorů <sup>11)</sup>	8	8	8	8	8	8	8	8
Odchylka <sup>12)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Počet bodů v kalibraci <sup>13)</sup>	1147	2411	1185	2421	319	807	321	805

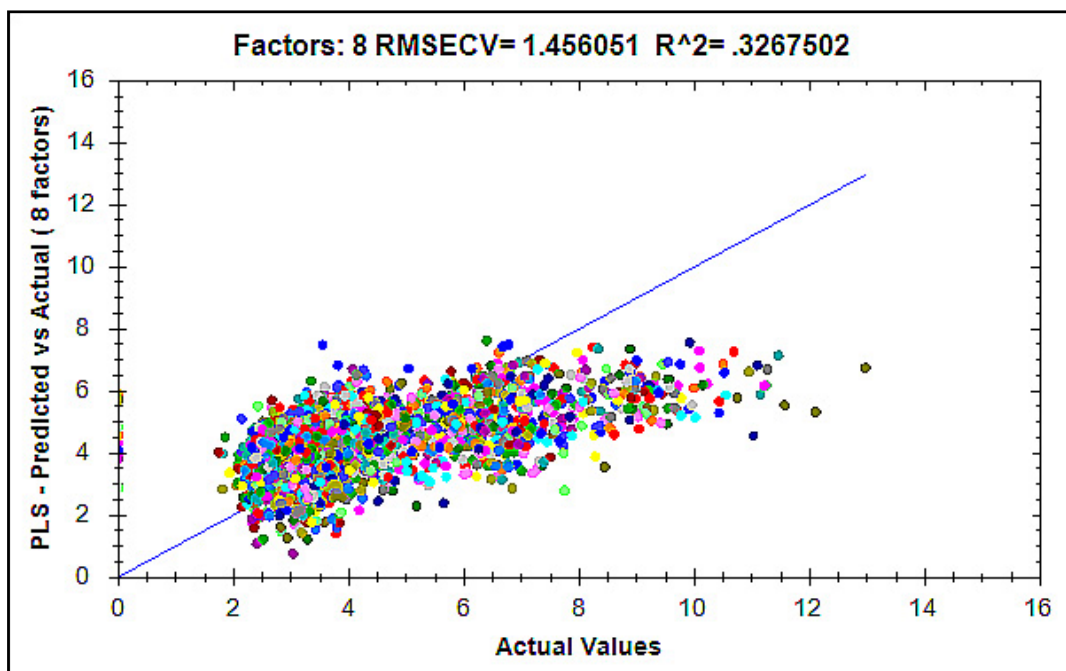
**Graf 6.** Kalibrační křivka pro stanovení pevnosti dužniny (penetrace) pro přístroj MicroPhazir

**Figure 6.** Calibration curve for determination of flesh firmness (penetration) using instrument MicroPhazir



**Graf 7.** Křivka diagnostiky Cross-Validace pro stanovení pevnosti dužniny přístrojem MicroPhazir

**Figure 7.** Cross-Validation plot for flesh firmness using instrument MicroPhazir



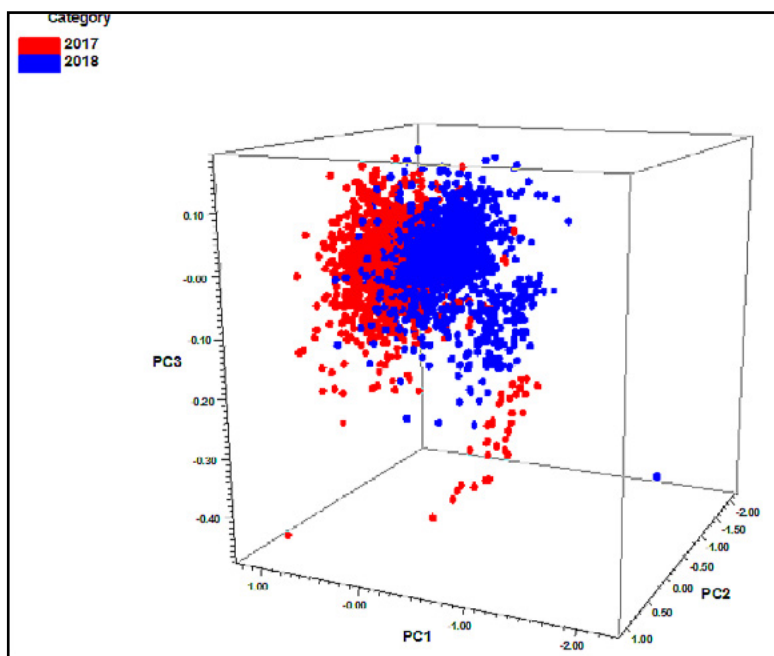
Z tabulky 2 je patrné, že přístroj MicroPrahiz není schopen při měření jablek poskytnout tak přesné modely jako přístroj Antaris II. Oba typy NIR spektrometrů pracují na různém principu a MicroPhazir má v porovnání s Antaris II i značně menší rozsah vlnových délek, ve kterých je schopen měřit. Stejně tak ovládací software nenabízí tolik detailních možností práce se spektry. Nicméně jeho velkou předností je mobilita a možnost orientačního měření v terénu. Pro přesné výsledky je pak nutné využít sofistikovanější laboratorní přístroje. Z tohoto důvodu je pro přístroj MicroPhazir nejlepší dosažený výsledek koeficientu determinace pouze  $R^2 = 0,573$  pro stanovení pevných rozpustných látek, stejně jako v případě přístroje Antaris II, kde byl ale  $R^2 = 0,960$ . Naopak nejnižší koeficient determinace pro MicroPhazir  $R^2 = 0,361$  byl získán pro stanovení pevnosti dužniny. Nepřesnost modelu je patrná i z kalibrační křivky v grafu 6, stejně jako křivka Cross-validace v grafu 7, který ukazuje přesnost teoretických přístrojem

předpovězených hodnot v porovnání s reálnými hodnotami získanými destrukčními metodami. Kalibrační model vytvořený přístrojem Antaris II vykazuje  $R^2 = 0,923$ , což je sice horší výsledek než v případě stanovení SSC, ale pro srovnání Vittayapadung *et al.* (2008) ve své publikaci uvádí koeficient determinace pro pevnost dužniny jen 0,7.

V grafu 8 je 3D model znázorňující rozložení jednotlivých bodů (spekter) pro jednotlivá jablka s ohledem na rok sklizně. Stejně tak graf 9 ukazuje 2D model pro tatáž data. Je patrné, že vliv ročníku není zanedbatelný. Body se od sebe vzájemně odlišují, ale zároveň nejsou natolik jiné, aby nešlo vytvořit souhrnný model. Zároveň je z grafů patrné, že se vždy část vzorků odlišuje od většiny patřící do dané kategorie. V roce 2017 (červená barva) se jedná o dlouho skladované vzorky (zejména o variantu skladovanou 270 dní v běžném chlazeném skladu). V případě roku 2018 (modrá) jde naopak o vzorky sklizené před stupněm ideální zralosti této odrůdy.

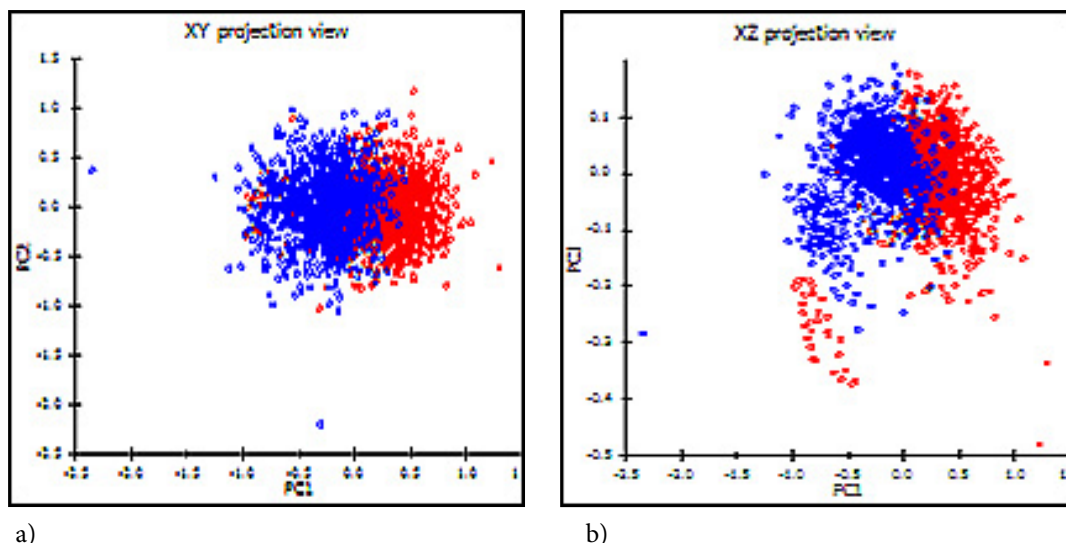
**Graf 8.** Diagnostika Principal component scores 3D a zobrazení rozložení vzorků pocházejících ze sklizně 2017 (červená barva) a sklizně 2018 (modrá barva)

**Figure 8.** Diagnostics Principal component scores 3D and distribution of samples from harvests in 2017 (red) and 2018 (blue)



**Graf 9.** Diagnostika Principal component scores 2D a zobrazení rozložení vzorků a) v osách XY a b) v osách XZ pocházejících ze sklizně 2017 (červená barva) a sklizně 2018 (modrá barva)

**Figure 9.** Diagnostics Principal component scores 2D and distribution of samples a) axes XY and b) axes XZ from harvests in 2017 (red) and 2018 (blue)



## ZÁVĚR

Jak bylo prezentováno, nejen našimi výsledky, NIR spektrometrie může být vhodnou alternativou pro určování vnitřní kvality ovoce. Avšak velice záleží na typu použitého přístroje. Ruční mobilní NIRS MicroPhazir je vhodnou variantou pro orientační měření přímo v terénu, bez nutnosti utržení plodu ze stromu. Nicméně získané výsledky jsou značně méně přesné než u laboratorního přístroje Antaris II. Nelepším získaným kalibračním modelem je stanovení pevných rozpustných látek (SSC) pro přístroj Antaris II s koeficientem determinace 0,960. Naopak nejhorším výsledkem je model pro stanovení pevnosti dužniny pomocí přístroje MicroPhazir s  $R^2 = 0,361$ . U ovoce se projevují

značné meziroční rozdíly v parametrech kvality, které se následně promítnou nejen do konzumních vlastností ovoce, ale jsou patrné i v kalibračních modelech. Získaná variabilita dat může zdanlivě zhoršit kvalitu získaných modelů. Koeficienty determinace sice klesnou, ale o to širší rozsah hodnot daného parametru model zahrnuje. Tento jev je patrný u dat pro stanovení kyselosti a pH šťávy. U obou testovaných přístrojů je patrný pokles hodnoty koeficientu determinace se zahrnutím dat ze sklizně z roku 2018. Z důvodu velké variability parametrů kvality s ohledem na klimatické podmínky daného roku je nutné pokračovat s analýzami a tvorbou modelů i v další sezóně pro získání robustních metod.

## PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla v rámci projektu TJ01000175 “Stanovení stupně zralosti plodů pomocí NIR spektroskopie“ z programu TAČR ZĚTA Technologické agentury ČR a díky infrastruktuře projektu NPU LO1608 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR.

## LITERATURA

- BIZJAK BAT, K., R.VILDRIH, M. NEČEMER, B. MOZETIČ VODOPIVEC, I. MULIČ, P. KUMP and N. OGRINC. Characterization of Slovenian Apples with Respect to Their Botanical and Geographical Origin and Agricultural Production Practice. *Food Technol. Biotechnol.* 2012, **50**(1): 107–116.
- BUREAU, S., D. RUIZ, M. REICH, B. GOUBLE, D. BERTRAND, J.M. AUDERGON and C.M.G.C. RENARD. Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-nearinfrared spectroscopy. *Food Chemistry*. 2009, (113): 1323–1328.
- DE OLIVEIRA, G.A., S. BUREAU, C.M.G.C. RENARD, A.B. PEREIRA-NETTO and F. DE CASTILHOS Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species. *Food Chemistry*. 2014, (143): 223–230.
- ESCRIBANO, S., W.V. BIASI, R. LERUD, D.C. SLAUGHTER and E.J. MITCHAM. Non-destructive prediction of soluble solids and dry matter content using NIR spectroscopy and its relationship with sensory quality in sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology*. 2017, (128): 112–120.
- GOMEZ, A.H., Y. HE and A.G. PEREIRA. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*. 2006, **77**(2): 313–319.
- LI, X., Y. WEI, J. XU, X. FENG, F. WU, R. ZHOU, J. JIN, K. XU, X. YU and Y. HE. SSC and pH for sweet assessment and maturity classification of harvested cherry fruit based on NIR hyperspectral imaging technology. *Postharvest Biology and Technology*. 2018, (143): 112–118.
- LIU, Y. and Y. YING. Measurement of sugar content in Fuji apples by FT-NIR spectroscopy. *Journal of Zhejiang University Science*. 2004, **5**(6): 651–655.
- LIU, Y. and Y. YING. Use of FT-NIR spectrometry in non-invasive measurements of internal quality of 'Fuji' apples. *Postharvest Biology and Technology*. 2005, **1**(37): 65–71.
- LU, R. Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using nearinfrared diffuse reflectance spectroscopy. *Transactions of the ASAE*. 2001, **44**(5): 1265–1271.
- MANICKAVASAGAN, A., K. GANESHMOORTHY, M.R. CLAEREBOUDT, R. AL – YAHYAI and L. KHRIJI. Non-destructive measurement of total soluble solid (TSS) content of dates using near infrared (NIR) imaging. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2014, **26**(11): 970–976. ISSN: 2079-052X.
- MCGLONE, V.A., R.B. JORDAN, R. SEELYE, and P.J. MARTINSEN. Comparing density and NIR methods for measurement of kiwi dry matter and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*. 2002, **26**(2), 191–198.
- MOLLER, S., S. TRAVERS, H.C. BERTRAM and M.G. BERTELSEN. Prediction of postharvest dry matter, soluble solids content, firmness and acidity in apples (cv. Elshof) using NMR and NIR spectroscopy: a comparative study. *Eur. Food Res. Technol.* 2013, (237): 1021– 1024.
- PISSARD, A., V. BEATEN, J.M. ROMNÉE, P. DUPONT, A. MOUTEAU and M. LATEUR. Classical and NIR measurements of the quality and nutritional parameters of apples: a methodological study of intra-fruit variability. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2012, **16**(3): 294–306.
- SHAO, Y., Y. HE, A.H. GÓMEZ, A.G. PEREIR, Z. QIU and Y. ZHANG. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 2007, **81**(4): 672–678.
- SLAUGHTER, D.C., J.F. THOMPSON and E.S. TAN. Nondestructive determination of total and soluble solids in fresh prune using near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 2003, (28): 437–444.

- VILJEVAC VULETIĆ, M., K. DUGALIĆ, I. MIHALJEVIĆ, V. TOMAŠ, D. VUKOVIĆ, Z. ZDUNIĆ, B. PUŠKAR and Z. JURKOVIĆ. Season, location and cultivar influence on bioactive compounds of sour cherry fruits. *Plant Soil Environ.* 2017, **63**(9): 389–395.
- VITTAYAPADUNG, S., Z. JIEWEN, CH. QUANSHENG and R. CHUAVIROJ. Application of FT-NIR spectroscopy to the measurement of fruit firmness of 'Fuji' apples. *Maejo International Journal of Science and Technology.* 2008, **2**(1): 13–23.