

# Validacija spektroskopskih i kromatografskih metoda za određivanje polifenolnih spojeva

---

Sabljić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:145977>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**Marija Sablić**

**VALIDACIJA SPEKTROSKOPSKIH I KROMATOGRFSKIH METODA ZA  
ODREĐIVANJE POLIFENOLNIH SPOJEVA**

Diplomski rad

Osijek, rujan 2016.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek  
Zavod za primijenjenu kemiju i ekologiju  
Katedra za primijenjenu kemiju i instrumentalne metode  
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti  
**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija  
**Nastavni predmet:** Instrumentalne metode II  
**Tema rada** je prihvaćena na X sjednici Odbora za završne i diplomske ispite Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 18. 06. 2015. godine.  
**Mentor:** izv.prof.dr.sc. *Lidija Jakobek*  
**Pomoć pri izradi:** *Petra Krivak*, dipl.ing.

### VALIDACIJA SPEKTROSKOPSKIH I KROMATOGRAFSKIH METODA ZA ODREĐIVANJE POLIFENOLNIH SPOJEVA

*Marija Sablić, 269/DI*

#### Sažetak:

U ovom radu provedena je validacija spektroskopskih metoda (metoda za ukupne polifenole (Folin-Ciocalteu metoda), metoda za ukupne flavonoide, metoda za ukupne antocijanine (pH-diferencijalna metoda)) i kromatografske metode za određivanje polifenolnih spojeva. Parametri validacije koji su se određivali bili su: linearnost, granica detekcije, granica kvantifikacije, preciznost, točnost te osjetljivost. Folin Ciocalteu metoda validirana je za galnu kiselinu, (+)-katehin i kvercetin-3-rutinozid, metoda za ukupne flavonoide za (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid i kvercetin, a metoda za ukupne antocijanine za cijanidin-3-galaktozid i cijanidin-3-glukozid. Kromatografska metoda validirana je za sve spomenute polifenole. Utvrđeno je da su spektroskopske metode linearne, s prihvatljivim granicama detekcije i kvantifikacije te s prihvatljivom preciznošću i točnošću. Osjetljivost je bila najbolja za standarde polifenola koji se uobičajeno koriste kao standardi: galna kiselina za ukupne polifenole, (+)-katehin za ukupne flavonoide, cijanidin-3-glukozid za ukupne antocijanine. Kromatografska metoda je također dovoljno precizna i točna, s dobrim granicama detekcije, kvantifikacije, linearnošću te s prihvatljivom osjetljivošću.

**Ključne riječi:** *Validacija, ukupni polifenoli, ukupni flavonoidi, ukupni antocijanini, kromatografska metoda*

**Rad sadrži:** 33stranice  
14slika  
6tablica  
0 priloga  
25literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

#### Sastav Povjerenstva za obranu:

- |    |   |               |
|----|---|---------------|
| 1. | prof. dr. sc. <i>Daniela Čačić Kenjeric</i> | predsjednik   |
| 2. | izv. prof. dr. sc. <i>Lidija Jakobek</i>    | član-mentor   |
| 3. | doc. dr. sc. <i>Ivana Flanjak</i>           | član          |
| 4. | doc. dr. sc. <i>Mirna Habuda-Stanić</i>     | zamjena člana |

**Datum obrane:** 16. rujna 2016.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Food Technology Osijek**  
**Department of Applied Chemistry and Ecology**  
**Subdepartment of Applied Chemistry and Instrumental Methods**  
FranjeKuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

**Scientific area:** Biotechnical sciences

**Scientific field:** Food technology

**Course title:** Instrumental MethodsII

**Thesis subject** was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. X held on June 18<sup>th</sup>, 2015.

**Mentor:** *Lidija Jakobek*, PhD, Associate professor

**Technical assistance:** *Petra Krivak*, BSc

### VALIDATION OF SPECTROSCOPIC AND CHROMATOGRAPHIC METHODS FOR POLYPHENOLIC COMPOUND DETERMINATION

*Marija Sabljčić*, 269/DI

#### Summary:

In this paper, the validation of spectroscopic methods (method for total polyphenols (Folin-Ciocalteu method), method for total flavonoids, method for total anthocyanins (pH differential method)) and chromatographic method for the determination of polyphenol compounds was carried out. Validation parameters which were determined were: linearity, limit of detection, limit of quantification, precision, accuracy and sensitivity. Folin-Ciocalteu method was validated for gallic acid, (+) - catechin and quercetin-3-rutinoside, methods for the total flavonoid content for (+) - catechin, quercetin-3-rutinoside and quercetin and method for total anthocyanins for cyanidin-3- galactoside and cyanidin-3-glucoside. Chromatographic method was validated for all of these polyphenols. It has been shown that spectroscopic methods are linear, with acceptable limits of detection and quantification and with acceptable precision and accuracy. The sensitivity was the best for the polyphenol standards which are commonly used: gallic acid for total polyphenols, (+) - catechin for total flavonoids, cyanidin-3-glucoside for total anthocyanins. Chromatographic method was also sufficiently precise and accurate, with good limits of detection, quantification, linearity and with reasonable sensitivity.

**Key words:** *Validation, total polyphenols, total flavonoids, total anthocyanins, chromatographic method*

**Thesis contains:** 33pages  
14 figures  
6tables  
0 supplements  
25references

**Original in:** Croatian

#### Defense committee:

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. <i>Daniela Čačić Kenjerić</i> , PhD, full professor   | chair person |
| 2. <i>Lidija Jakobek</i> , PhD, associate professor      | supervisor   |
| 3. <i>Ivana Flanjak</i> , PhD, assistant professor       | member       |
| 4. <i>Mirna Habuda-Stanić</i> , PhD, assistant professor | stand-in     |

**Defense date:** 16 September, 2016.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of the Faculty of Food Technology Osijek, FranjeKuhača 20, Osijek.

Zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Lidiji Jakobek na predloženoj temi, stručnoj pomoći, savjetima i strpljivosti tijekom provedbe analiza i izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem dipl. ing. Petri Krivak na utrošenom vremenu i strpljivosti tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem voditeljici studija, svim profesorima i asistentima, kolegama i svojoj obitelji na pruženoj potpori i pomoći tijekom studija.

## Sadržaj

<b>1.</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>TEORIJSKI DIO .....</b>	<b>2</b>
2.1.	OSIGURANJE KVALITETE U LABORATORIJU .....	3
2.2.	VALIDACIJA ANALITIČKIH METODA.....	4
2.3.	KRITERIJI VALIDACIJE METODE .....	7
2.3.1.	Kalibracija i linearnost .....	7
2.3.2.	Područje linearnosti .....	9
2.3.3.	Granica detekcije (LOD) .....	9
2.3.4.	Granica kvantifikacije (LOQ).....	10
2.3.5.	Točnost (istinitost) metode.....	10
2.3.7.	Preciznost.....	12
2.3.8.	Osjetljivost metode .....	13
<b>3.</b>	<b>EKSPERIMENTALNI DIO.....</b>	<b>13</b>
3.1.	ZADATAK RADA.....	14
3.2.	MATERIJALI I METODE .....	15
3.2.1.	Kemikalije.....	15
3.2.2.	Plan istraživanja .....	15
3.2.3.	Priprema standarda i uzoraka .....	16
3.2.4.	Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih polifenola (Folin-Ciocalteu metoda) .....	16
3.2.5.	Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih flavonoida .....	17
3.2.6.	Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih antocijanina (pH-diferencijalna metoda) .....	17
3.2.7.	Reverzno-fazna visokodjelotvorna tekućinska kromatografija .....	18
3.2.8.	Validacija metoda.....	19
3.2.9.	Statistička obrada podataka.....	20
<b>4.</b>	<b>REZULTATI .....</b>	<b>20</b>
4.1.	KALIBRACIJSKE KRIVULJE STANDARDA ZA SPEKTROSKOPSKE METODE.....	21
4.2.	PARAMETRI VALIDACIJE SPEKTROSKOPSKIH METODA .....	25
4.3.	PARAMETRI VALIDACIJE KROMATOGRFSKE METODE .....	27
<b>5.</b>	<b>RASPRAVA .....</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>ZAKLJUČCI.....</b>	<b>30</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>31</b>

## Popis oznaka, kratica i simbola

$r^2$	Koeficijent determinacije
T	Točnost
I	Iskorištenje
KV	Koeficijent varijacije
SD	Standardno odstupanje
LOD	Granica detekcije (engl. <i>Limit of detection</i> )
LOQ	Granica kvantifikacije (engl. <i>Limit of quantification</i> )
DF	Faktor razrjeđenja (engl. <i>Dilution Factor</i> )
A	Apsorbancija
$\epsilon$	Molarni ekstinkcijski koeficijent
MW	Molekulska masa (engl. <i>Molecular Weigh</i> )
HPLC	Visokodjelotvorna tekućinska kromatografija (engl. <i>High Performance Liquid Chromatography</i> )
PTFE	Politetrafluoretilen

## **1. UVOD**



Polifenolni spojevi su sekundarni biljni metaboliti koji se mogu podijeliti prema razlici u kemijskoj strukturi na flavonoide, fenolne kiseline, stilbene i lignane (Manach i sur., 2004). Njihova količina u uzorcima ili model otopinama može se odrediti spektroskopskim metodama kao što su Folin-Ciocalteu metoda za ukupne polifenole, metoda s kompleksacijom flavonoid – aluminijev klorid za ukupne flavonoide te pH-diferencijalna metoda za ukupne antocijanine.

Prednost ovih metoda je što su brze, jednostavne i jeftine pa se često upotrebljavaju za određivanje polifenolnih spojeva. No nedostatak je što spektroskopske metode nisu specifične te se njima određuje količina cijele skupine polifenola u uzorcima, a ne količina pojedinih polifenola. Nadalje, kvantitativni podaci dobivaju se upotrebom kalibracijske krivulje standarda polifenola te se količina polifenola (skupine polifenola) izražava kao ekvivalentna količina tog standarda. Npr. ukupna količina polifenola najčešće se izražava u ekvivalentima galne kiseline, ukupna količina flavonoida u ekvivalentima katehina, a ukupna količina antocijanina u ekvivalentima cijanidin-3-glukozida. Pošto se u ovu svrhu mogu upotrijebiti različiti polifenolni standardi, to može dovesti do razlike u rezultatima te do nemogućnosti usporedbe rezultata. Osim u različitim uzorcima, spektroskopske metode mogu se upotrijebiti i za određivanje količine polifenolnih spojeva u model otopinama npr. u modelu u kojem se prati reakcija jednog polifenolnog spoja. U tom slučaju se za određivanje količine kao standard mora upotrijebiti standard polifenola čija se količina prati. U ovakvoj vrsti mjerenja, spektroskopske metode mogu biti vrlo korisne jer mogu dati precizne podatke, a metode su relativno jednostavne za izvođenje. Da bi se utvrdilo da li su spektroskopske metode pogodne za mjerenje polifenola u uzorcima ili model otopinama, potrebno ih je vrednovati (validirati).

Za razliku od spektroskopskih metoda, metode visokodjelotvorne tekućinske kromatografije služe za određivanje pojedinih spojeva u uzorku, specifične su i osjetljivije, ali najčešće skuplje i vremenski zahtjevnije. Koriste se kada je potrebno izvesti specifična mjerenja ili identifikaciju pojedinih spojeva u uzorku ili u model otopinama. Kod kromatografskih tehnika, najuobičajenije je odrediti količinu pojedinog polifenola upotrebivši kalibracijsku krivulju istog polifenolnog spoja. I kromatografske metode se moraju validirati da bi se osigurala točnost dobivenih podataka.

Prilikom validacije spektroskopskih i kromatografskih metoda određuju se parametri kao što su linearnost, granica detekcije, granica kvantifikacije, preciznost, točnost i osjetljivost metode (Taverniers i sur., 2004).

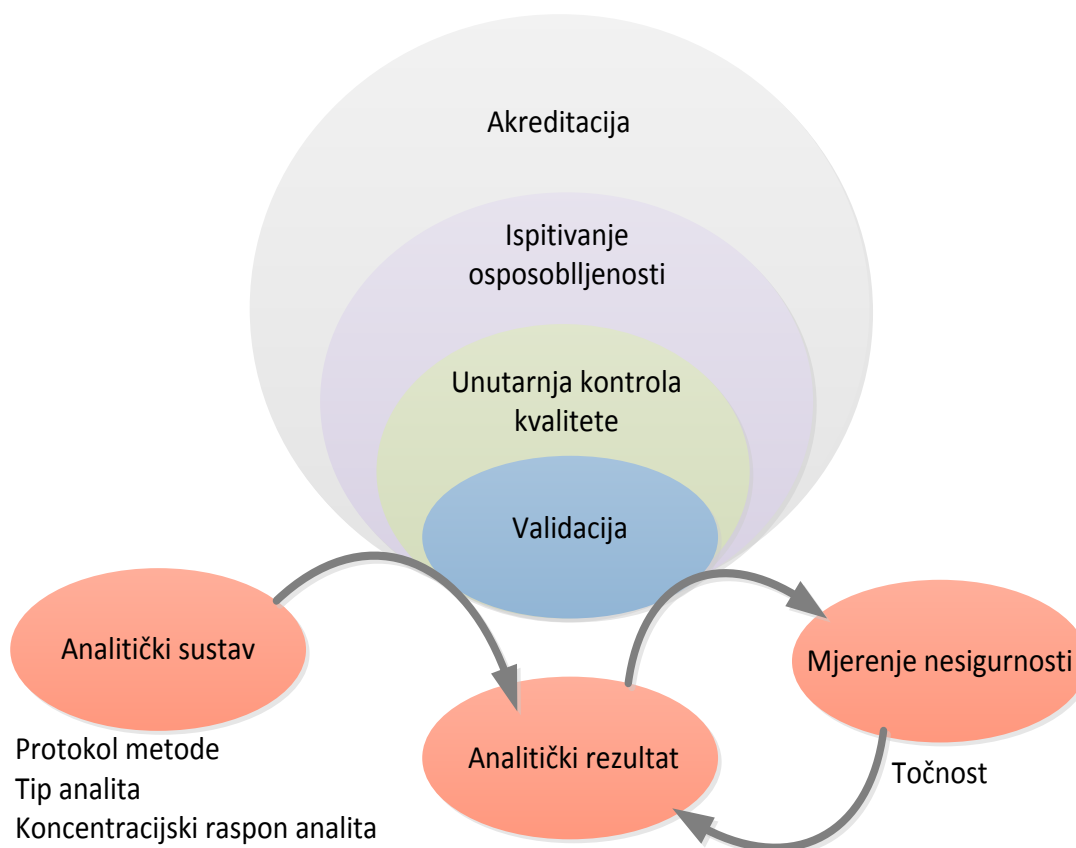
U ovom radu cilj je bio validirati spektroskopske metode i kromatografsku metodu za više polifenolnih spojeva (standarda) s ciljem utvrđivanja njihove pogodnosti za određivanje polifenola u uzorcima ili model otopinama. Validirane su tri različite spektroskopske metode (za određivanje ukupnih polifenola - Folin-Ciocalteu metoda, ukupnih flavonoida, ukupnih antocijanina - pH-

diferencijalna metoda)) te jedna kromatografska metoda. Određeni su linearnost, granica detekcije i granica kvantifikacije, preciznost i točnost za više različitih polifenolnih spojeva.

## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. OSIGURANJE KVALITETE U LABORATORIJU

Kako bi laboratorij mogao osigurati kvalitetu dobivenih podataka te kako bi mogao dokazati svoju kompetenciju i izvrsnost, potrebno je validirati analitičke metode koje se izvode u laboratoriju. Validacija metode čini prvi korak u osiguranju kvalitete laboratorija. Osim validacije metoda, u laboratoriju se može provesti i unutarnja kontrola kvalitete pomoću referentnih materijala, a može se organizirati i sudjelovanje u programu osposobljenosti te akreditacija prema međunarodnim standardima, uglavnom prema ISO/IEC 17025 kao što je prikazano na **Slici 1**. Ove različite razine osiguranja kvalitete laboratorij mora poduzeti kako bi bio kvalificiran i kompetentan za provođenje različitih analiza. Validacija metode je potrebna da bi se dokazalo da analitički sustav koji se sastoji od protokola metode, tipa analita i koncentracijskog raspona analita u uzorku odgovara dobivenom analitičkom rezultatu s određenom točnošću (mjerjenje nesigurnosti) (Taverniers i sur., 2004).



**Slika 1** Različite razine osiguranja kvalitete u laboratorijima (Taverniers i sur., 2004)

U **Tablici 1** nabrojana su regulatorna tijela, agencije za standardizaciju i radne skupine ili povjerenstva koje daju smjernice za različite razine osiguranja kvalitete (Taverniers i sur.,2004).

**Tablica 1** Pregled europskih i međunarodnih regulatornih tijela(Taverniers i sur.,2004)

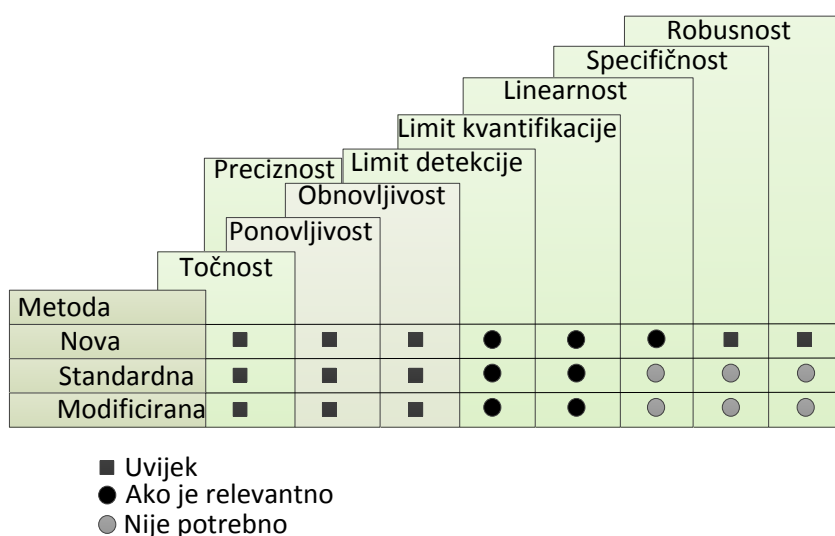
TIJELO	PUNI NAZIV
<b>Eurachem</b>	Europska udruga kemijskih laboratorija
<b>CITAC</b>	Suradnja na međunarodnoj sljedivosti u analitičkoj kemiji
<b>EA</b>	Europska organizacija za akreditaciju
<b>CEN</b>	Europski odbor za normizaciju
<b>IUPAC</b>	Međunarodna unija za čistu i primijenjenu kemiju
<b>ISO</b>	Međunarodna organizacija za normizaciju
<b>AOAC</b>	Međunarodno udruženje službenih analitičkih kemičara
<b>FDA</b>	Američka agencija za hranu i lijekove
<b>USP</b>	Američka farmakopeja
<b>ICH</b>	Međunarodna konferencija o harmonizaciji
<b>FAO/WHO</b>	Organizacija za hranu i poljoprivredu/Svjetska zdravstvena organizacija
<b>Codex/CCMAS</b>	Codex odbor za metode analize i uzorkovanja
<b>ILAC</b>	Međunarodnaorganizacija za akreditaciju laboratorija

## 2.2. VALIDACIJA ANALITIČKIH METODA

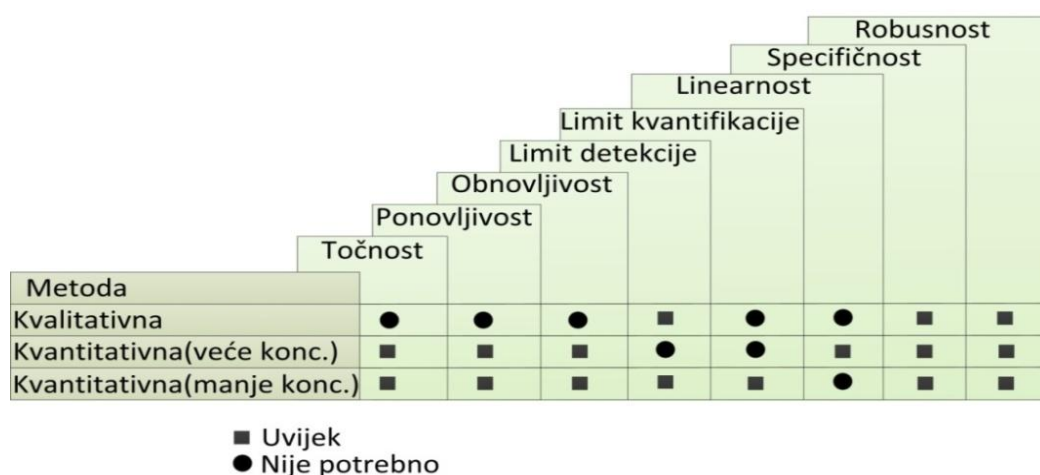
Prema ISO/IEC 17025 standardu validacija se definira kaopostupak pružanja objektivnih dokaza da su zahtjevi koji se stavljaju pred određenu analitičku metodu ispunjeni. Validacija metode je potrebna da bi se potvrdila prikladnost analitičke metode te da bi se dobili kvalitativni i/ili kvantitativni rezultati s prihvatljivom razinom nesigurnosti. U praksi, validacija metode obuhvaća niz kriterija kao što su preciznost, točnost (istinitost), selektivnost/specifičnost, linearnost,granica detekcije (engl. limit of detection, LOD), granica kvantifikacije (engl. limit of quantification, LOQ), osjetljivost, robusnost te kalibracija (Taverniers i sur., 2004). Validacija metode, također, omogućuje laboratorijima i njihovim zaposlenicima veću sigurnost u dobivene rezultate (Magnusson i Örnemark, 2014).

Validacija se provodi kod nenormiranih metoda, metoda koje je razvio laboratorij, kod normiranih metoda koje se koriste izvan predviđenog područja primjene te kod izmjene

normirane metode (Magnusson i Örnemark, 2014). Ona podrazumijeva procjenu učinka metode, različita međulaboratorijska ispitivanja i kontrolu kvalitete kako bi se potvrdila valjanost rezultata ispitivanja. Kriteriji validacije mogu se mijenjati ovisno o namjeni i prirodi metode. Za primjer se može spomenuti „standardne“ i „modificirane“ metode te potpuno nove metode, za koje parametri validacije koje je potrebno ispuniti nisu jednaki što je prikazano na **Slici 2**. Osim toga, parametri serazlikuju ukoliko se radi o kvalitativnoj ili kvantitativnoj metodi (Van Zoonen i sur., 1999).



a)



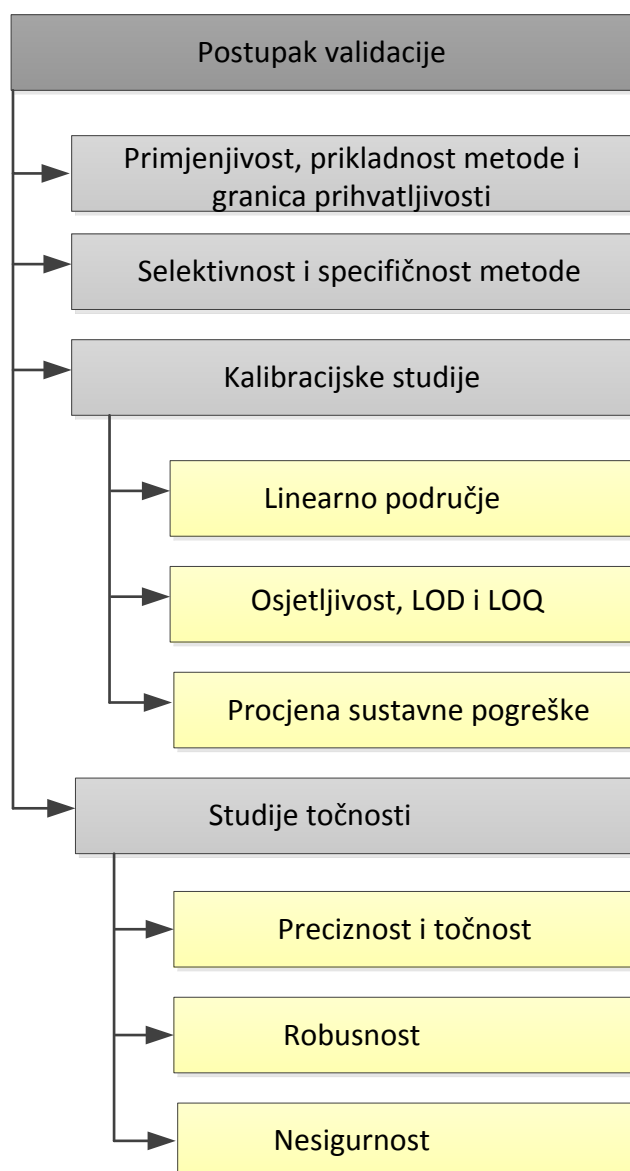
b)

**Slika 2** Parametri validacije metoda. a) nova, standardna i modificirana metoda; b) kvalitativna i kvantitativna metoda (Van Zoonen i sur.,1999)

Postupak validacijemože se podijeliti na četiri koraka:

1. određivanje primjenjivosti i prikladnosti metode,
2. određivanje selektivnosti i specifičnosti metode,
3. kalibracijske studije (određivanje linearnog područja, osjetljivosti, LOD, LOQ) i
4. studije točnosti (određivanje preciznosti i točnosti, robusnosti i nesigurnosti),

kao što je prikazano na **Slici 3**.



**Slika 3** Postupak validacije metode(Gonzalez i Herrador, 2007)

„Zlatnim standardom“ za validaciju analitičkih metoda smatra se norma ISO 5725, a govori o osnovnim metodama procjene istinitosti i preciznosti (Van der Voet i sur., 1999).

## 2.3. KRITERIJI VALIDACIJE METODE

Kriteriji za validaciju metode su sljedeći:

- kalibracija i linearnost,
- područje linearnosti,
- granica detekcije,
- granica kvantifikacije,
- točnost (istinitost),
- preciznost i
- osjetljivost (Thompson i sur., 2002; Taverniers i sur., 2004; Huber, 2007).

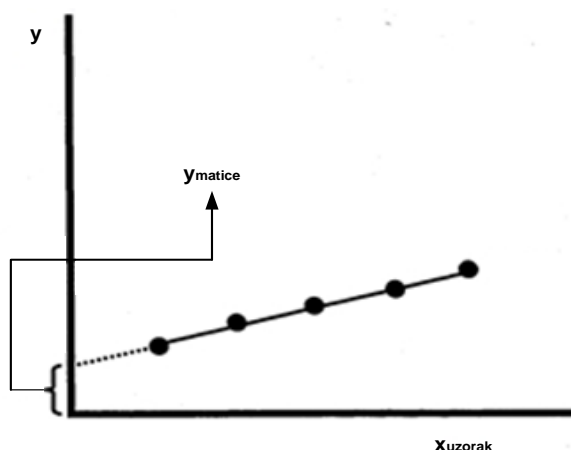
### 2.3.1. Kalibracija i linearnost

Cilj kalibracije je uspostava odnosa između nekoliko poznatih koncentracija standarda ili referentnog materijala i njihovih odgovarajućih signala, čime se kao odgovor dobije kalibracijska krivulja (**Slika 4**) (Cuadros-Rodriguez i sur., 2001).

Kalibracijska krivulja, prema tome, predstavlja odnos analitičkog signala (odgovora) i koncentracije standarda (González i Herrador, 2007). Može se koristiti za dobivanje koncentracije analita u realnim uzorcima (Cuadros-Rodriguez i sur., 2001.). Kalibracija se provodi upotrebom standarda kojemu su poznate vrijednosti koncentracije i mjerenjem odziva instrumenta (González i Herrador, 2007).

Kalibracijska krivulja može biti linearna ili nelinearna. U analitičkim istraživanjima odziv je najčešće linearan te se dobije linearna kalibracijska krivulja (González i Herrador, 2007).





**Slika 4** Kalibracijska krivulja uzorka (Cuadros-Rodriguez i sur., 2001)

Linearnost je mogućnost metode da unutar određenog područja daje rezultate proporcionalne koncentraciji analita u uzorku. Na dijagram se ucrtava analitički signal ( $y$ -os) i odgovarajuća koncentracija ( $x$ -os) (González i Herrador, 2007). Linearnost se procjenjuje metodom najmanjih kvadrata preko koeficijenta determinacije  $r^2$ . Ako je  $r^2$  blizu 1, to znači da točke savršeno pristaju pravcu (Araujo, 2009). Time se dobiva jednadžba pravca prikazana u **formuli 1**:

$$y = \alpha x + \beta \quad (1)$$

gdje je:  $y$  – analitički signal,

$x$  – koncentracija standarda ili referentnog materijala,

$\alpha$  – nagib i

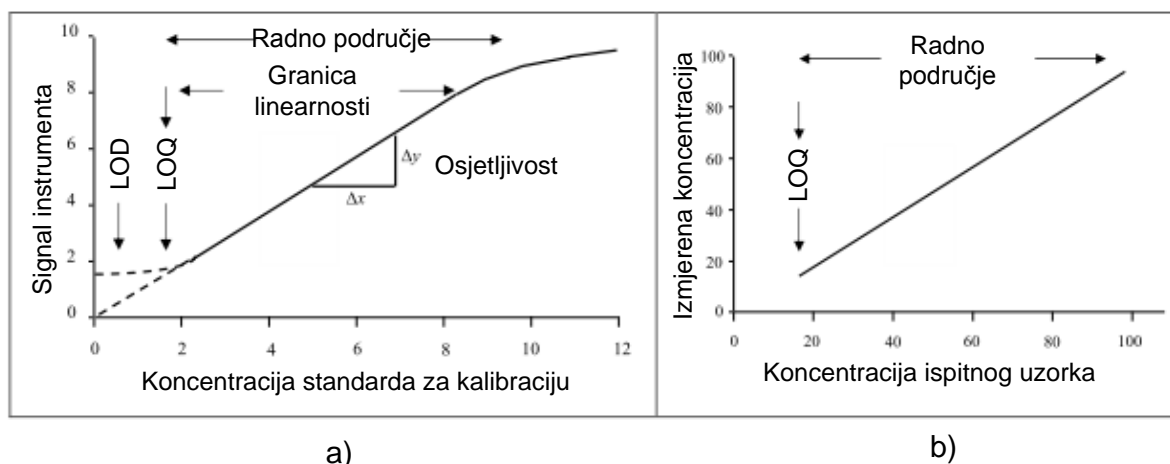
$\beta$  – odsječak na  $y$  – osi (Zwanziger i sur., 1998; Araujo, 2009; González i Herrador, 2007).

Standardi koji se koriste za kalibraciju analitičkih metoda su najčešće referentni materijali koji moraju biti homogeni i stabilni (Cuadros-Rodriguez i sur., 2001). Podaci dobiveni kalibracijskom krivuljom mogu se koristiti za određivanje preciznosti, granice detekcije i granice kvantifikacije (Ahuja i Seypinski, 2011).

### 2.3.2. Područje linearnosti

Područje linearnosti je raspon koncentracija/količine analita u kojem metoda daje odziv proporcionalan koncentraciji analita tj. linearan odziv, ili u kojem se linearna kalibracijska krivulja može primijeniti s poznatom razinom sigurnosti. Područje linearnosti kreće se od granice kvantifikacije (LOQ) do granice u kojem odnos koncentracije i odziva više nije linearan kao što je vidljivo na **Slici 5 (a)**.

Radni raspon je područje unutar kojega metoda daje rezultate s prihvatljivom razinom nesigurnosti. Radno područje instrumenta prikazano je na **Slici 5 (a)**, a podrazumijeva ovisnost koncentracije kalibracijskih standarda i signala koje daje instrument, dok radno područje metode (**Slika 5b**) prikazuje grafičku ovisnost koncentracije poznatog uzorka za ispitivanje i izmjerene koncentracije (Magnusson i Örnemark, 2014).



**Slika 5** Raspon područja linearnosti. a) krivulja odziva dobivena instrumentalnom metodom; b) pravac dobiven mjernim postupkom (Magnusson i Örnemark, 2014)

### 2.3.3. Granica detekcije (LOD)

LOD se definira kaonajmanja količina analita u uzorku koja se može detektirati (Taverniers i sur.,2004.), a izražava se u jedinicama u kojima je izražen i analit (AOAC, 1998). LOD se može izračunati preman **formuli (2)**:

$$LOD = 3,3 \frac{SD}{S} \quad (2)$$

gdje je:  $LOD$  – granica detekcije ( $\text{mg dm}^{-3}$ ),

$SD$  – standardna devijacija odsječka na y-osi i

$S$  – nagib kalibracijske krivulje (AOAC, 1998).

LOD se može izračunati i na temelju omjera signala i šuma. On se može primijeniti za analitičke postupke sa baznom linijom pri čemu se uspoređuju signali uzorka poznate koncentracije analita sa signalom slijepog pokusa. Pri tome se određuje minimalna koncentracija pri kojoj se analit može detektirati (Lazarić, 2002).

### 2.3.4. Granica kvantifikacije (LOQ)

LOQ je najmanja količina analita u uzorku koja se može kvantificirati uz odgovarajuću točnost i preciznost, a kao i LOD se izražava se u jedinicama u kojima je izražen i analit (AOAC, 1998). LOQ se može odrediti prema **formuli (3)**:

$$LOQ = 10 \frac{SD}{S} \quad (3)$$

gdje je:  $LOQ$  – granica kvantifikacije ( $\text{mg dm}^{-3}$ ),

$SD$  – standardna devijacija odsječka na y-osi i

$S$  – nagib kalibracijske krivulje (AOAC, 1998).

LOQ je po svojem iznosu uvijek veća od LOD (Taverniers i sur., 2004).

LOQ se također kao i LOD može izračunati i na temelju omjera signala i šuma za analitičke postupke sa baznom linijom. Pri tome se uspoređuju signali uzorka poznate koncentracije analita sa signalom slijepog pokusa, te se određuje minimalna koncentracija pri kojoj se analit može detektirati (Lazarić, 2002).

### 2.3.5. Točnost (istinitost) metode

Točnost (istinitost) metode se definira kao podudarnost između srednje vrijednosti dobivene iz velikog broja rezultata ispitivanja i prihvaćene referentne vrijednosti. Točnost se smanjuje ukoliko dolazi do povećanja sustavnih pogrešaka. Sustavne pogreške (**Slika 6**) se određuju usporedbom odgovora metode na referentni materijal poznate vrijednosti, a one mogu biti laboratorijske pogreške i/ili pogreške metode te pogreške zbog utjecaja matice (Wood i sur., 1999).

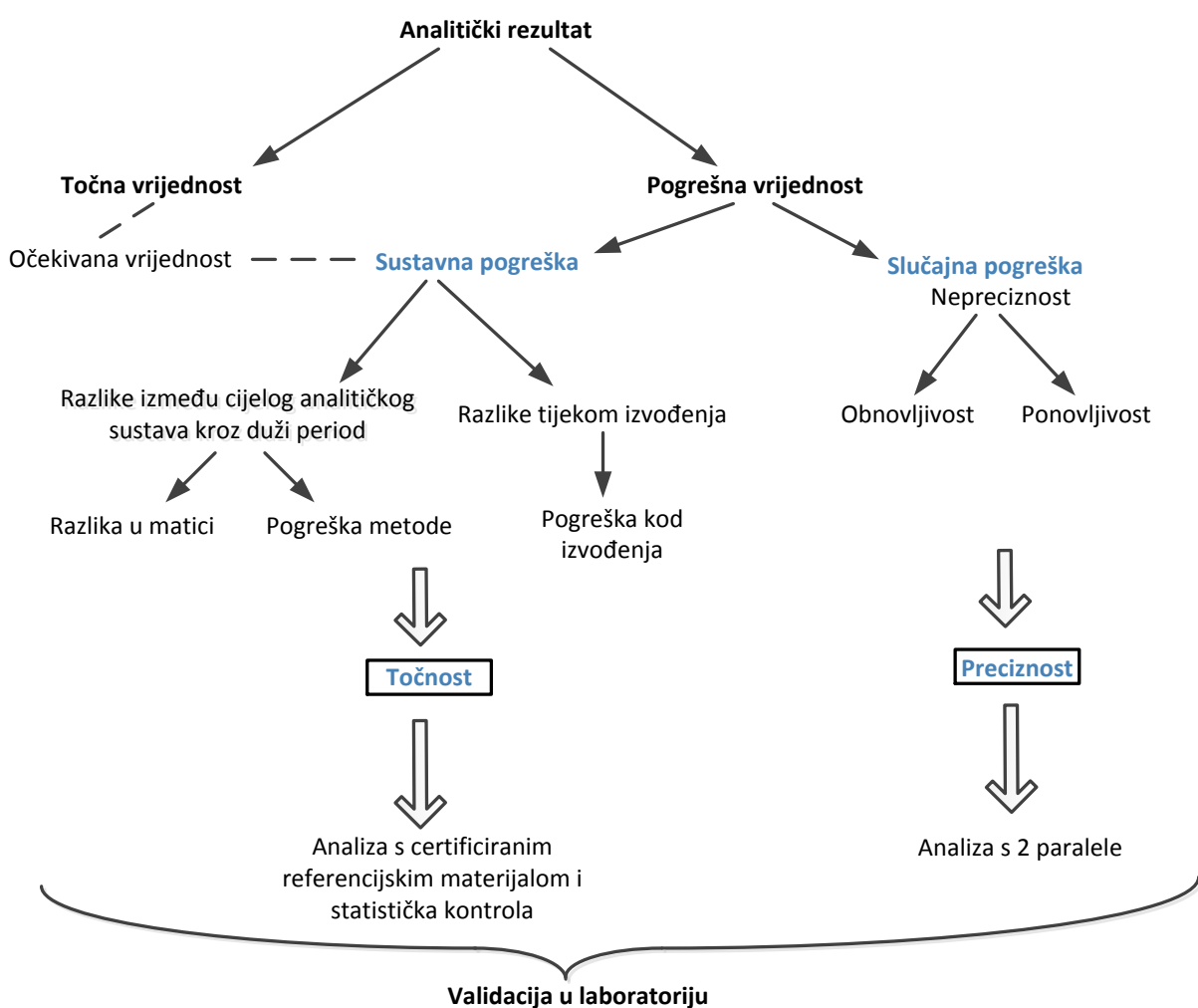
Točnost se može izračunati prema **formuli (4)**:

$$T = \frac{\gamma_c}{\gamma_r} \times 100 \quad (4)$$

gdje je:  $T$  – točnost (%),

$\gamma_c$  – izmjerena koncentracija standarda ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) i

$\gamma_r$  – stvarna koncentracija standarda ( $\text{mg dm}^{-3}$ ).



**Slika 6** Moguće pogreške kod dobivanja analitičkog rezultata (Taverniers i sur., 2004)

Ako se točnost ne određuje s referentnim materijalima, tada se ona izražava kao iskorištenje. Iskorištenje se definira kao postotak stvarne koncentracije analitakoja je izmjerenas

analitičkom metodom. Može se definirati i kao procjena sustavne pogreške analitičkog procesa (Gonza'lez i Herrador, 2007).

Iskorištenje se često primjenjuje kao zaseban parametar validacije. Kod mjerenja iskorištenja dobivene vrijednosti trebaju biti u skladu s prihvatljivim postotkom iskorištenja koje je propisano od strane „Međunarodnog udruženja službenih analitičkih kemičara“ (Taverniers i sur., 2004).

Iskorištenje se može odrediti prema **formuli (5)**:

$$I = \left( \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_3} \right) \times 100 \quad (5)$$

gdje je:  $I$  – iskorištenje (%)

$\gamma_1$  – izmjerena koncentracija analita u uzorku s dodanim analitom ( $\text{mg dm}^{-3}$ ),

$\gamma_2$  – izmjerena koncentracija analita u uzorku bez dodanog analita ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) i

$\gamma_3$  – poznata koncentracija dodanog analita u uzorak ( $\text{mg dm}^{-3}$ ).

### 2.3.7. Preciznost

Preciznost se definira kao slaganje između niza mjerenja izvedenih iz istog homogenog uzorka pod propisanim uvjetima. Ovisno o uvjetima u kojima se određuje, razlikuju se:

- ponovljivost,
- međupreciznost i
- obnovljivost (Currie i Svehla, 2004).

Ponovljivost podrazumijeva izvođenje analize unutar jednog laboratorija, s istim analitičarom i aparaturom, kroz kraće vremensko razdoblje. Međupreciznost se ostvaruje unutar istog laboratorija u duljem vremenskom razdoblju uz očekivane promjene nekih uvjeta (analitičari, instrumenti, reagensi). Obnovljivost uključuje izvođenje analiza u više različitih laboratorija s različitim instrumentima i analitičarima.

Preciznost se izražava pomoću standardne devijacije, relativne standardne devijacije, koeficijenta varijacije, granice ponovljivosti ili intervala pouzdanosti (Taverniers i sur., 2004).

Koeficijent varijacije može se odrediti prema **formuli(6)**:

$$KV = \frac{SD}{X} \times 100 \quad (6)$$

gdje je:  $KV$  - koeficijent varijacije (%),  
 $SD$  – standardna devijacija rezultata mjerenja i  
 $x$  – srednja vrijednost mjerenja.

### 2.3.8. Osjetljivost metode

Osjetljivost metode predstavlja nagib kalibracijske krivulje. Ona se koristi kod izračuna LOD i LOQ. Metoda se smatra osjetljivom ukoliko mala promjena u koncentraciji ili količini analita uzrokuje značajne promjene u mjernom signalu. Osjetljivost se ne spominje uvijek kao parametar validacije jer obično ovisi o postavkama instrumenta (Taverniers i sur., 2004).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### 3.1. ZADATAK RADA

U ovom radu zadatak je bio validirati spektroskopske metode za određivanje ukupnih polifenola (Folin-Ciocalteu metoda), ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina te kromatografsku metodu za određivanje polifenola. Parametri validacije koji su se određivali su:

- linearnost,
- granica detekcije,
- granica kvantifikacije,
- točnost (istinitost),
- preciznost i
- osjetljivost.

Metoda za ukupne polifenole validirana je za standarde galnu kiselinu, (+)-katehin i kvercetin-3-rutinozid, metoda za ukupne flavonoide za (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid i kvercetin, a metoda za ukupne antocijanine za cijanidin-3-galaktozid i cijanidin-3-glukozid. Reverzno-fazna visokodjelotvorna tekućinska kromatografija (RP-HPLC) validirana je za galnu kiselinu, (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid, kvercetin, cijanidin-3-galaktozid i cijanidin-3-glukozid.

Osim toga, zadatak je bio usporediti spektroskopske i kromatografske metode sa stajališta validacijskih parametara te utvrditi da li su spektroskopske metode pogodne za određivanje pojedinih polifenolnih spojeva u model otopinama.



## 3.2. MATERIJALI I METODE

### 3.2.1. Kemikalije

U istraživanju su korišteni polifenolni standardi proizvođača Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA) (galna kiselina ( $\geq 98\%$ ), (+)-katehin hidrat ( $\geq 98\%$ ), kvercetin-3-rutinozid ( $\geq 95\%$ ), kvercetin dihidrat ( $\geq 98\%$ )), te proizvođača Extrasynthese (Genay, Francuska) (cijanidin-3-galaktozid klorid (ideain chloride,  $\geq 97\%$ ), cijanidin-3-glukozid klorid (kuromanin chloride,  $\geq 96\%$ )). Ostale kemikalije proizvedene su u Kemika (Zagreb, Hrvatska) (aluminijev klorid, Folin-Ciocalteu reagens, natrijev hidroksid, natrijev nitrit, natrijev karbonat, kalijev klorid, natrijev acetat). Korišteni metanol je HPLC čistoće.

### 3.2.2. Plan istraživanja

Spektroskopske metode koje su odabrane za validaciju su: metoda za ukupne polifenole (Folin-Ciocalteu metoda), metoda za ukupne flavonoide te metoda za ukupne antocijanine. Polifenolni standardi su analizirani ovim spektroskopskim metodama u određenom rasponu koncentracija te su pripremljene kalibracijske krivulje i određeni su linearnost, granica detekcije, granica kvantifikacije i osjetljivost. Za određivanje preciznosti i točnosti korišteni su uzorci vina koji su mjereni više puta sa sve tri spektroskopske metode kako bi se dobili rezultati za određivanje preciznosti. U vino su dodavane poznate količine polifenolnih standarda, uzorci su mjereni spektroskopskim metodama, a rezultati su korišteni za određivanje točnosti.

Metoda za reverzno-faznu visokodjelotvornu tekućinsku kromatografiju (RP-HPLC) kojom se polifenolni spojevi iz jabuke i vina mogu razdvojiti (Jakobek i i Barron, 2016), validirana je za nekoliko polifenolnih standarda. Polifenolni standardi su analizirani u određenom rasponu koncentracija te su pripremljene kalibracijske krivulje. Određena je linearnost, granica detekcije, granica kvantifikacije i osjetljivost. RP-HPLC metodom mjereni su ekstrakti kore jabuka i vina u više ponavljanja, a rezultati su korišteni za dobivanje preciznosti. U ekstrakt kore jabuka i vina dodavani su standardi polifenola, uzorci su analizirani RP-HPLC metodom, a rezultati su upotrijebljeni za određivanje točnosti metode.

### 3.2.3. Priprema standarda i uzoraka

Pripremljene su stock otopine polifenolnih standarda u metanolu (galna kiselina, (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid i kvercetin 1000 mg dm<sup>-3</sup>) i u metanolu zakiseljenom s HCl-om 0,1 % (cijanidin-3-galaktozid 485 mg dm<sup>-3</sup> i cijanidin-3-glukozid 480 mg dm<sup>-3</sup>). Stock otopine su razrijeđene (1, 10, 50, 100, 200, 500 mg dm<sup>-3</sup> galna kiselina, (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid i kvercetin; 0,96, 9,6 i 48 mg dm<sup>-3</sup> cijanidin-3-glukozid; 0,97, 9,7 i 48,5 mg dm<sup>-3</sup> cijanidin-3-galaktozid). Razrijeđene otopine mjerene su spektroskopskim i RP-HPLC metodom.

Vino (Merlot) je razrijeđeno 1 : 1 (V:V) s destiliranom vodom za analizu ukupnih polifenola. Za analizu ukupnih flavonoida vino je razrijeđeno 1:10 (V:V) s destiliranom vodom.

Prije analize na RP-HPLC uređaju, vino je razrijeđeno 1 : 1 (V:V) s destiliranom vodom i filtrirano kroz 0,45 µm PTFE (politetrafluoretilen) filter. Uzorci kore jabuka (Crvenka i Božićnica) dobiveni su guljenjem jabuka (otprilike 1 kg), homogenizacijom kore pomoću miksera za kavu te pripremom ekstrakta. Izvagano je 0,2 g homogeniziranog uzorka te je ekstrakcija provedena s 5 cm<sup>3</sup> metanola zakiseljenog s HCl-om 0,1 % u ultrazvučnoj kupelji, 15 min. Nakon nekoliko minuta, ekstrakt je odekantiran, a ostatak je ekstrahiran još jednom s 2 cm<sup>3</sup> metanola zakiseljenog s HCl-om 0,1 % u ultrazvučnoj kupelji, 15 min. Dva ekstrakta su spojena. Pripremljena su dva paralelna uzorka za svaki kultivar jabuke. Ekstrakti su prije analize na HPLC-u filtrirani kroz 0,45 µm PTFE filter.

### 3.2.4. Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih polifenola (Folin-Ciocalteu metoda)

Spektroskopska Folin-Ciocalteu metoda za ukupne polifenole (Singleton i sur., 1999). validirana je za standarde: galnu kiselinu, (+)-katehin i kvercetin-3-rutinozid. U staklenu kivetu otpipetirano je 0,02 cm<sup>3</sup> polifenolnog standarda, 1,580 cm<sup>3</sup> destilirane vode, 0,1 cm<sup>3</sup> Folin-Ciocalteu reagensa te 0,3 cm<sup>3</sup> otopine natrijevog karbonata (200 g dm<sup>-3</sup>). Otopina je promiješana i stavljena u vodenu kupelj na 40°C kroz 30 minuta. Nakon toga apsorbancija je mjerena na spektrofotometru (UV 2005, Selecta, Španjolska) na 765 nm prema slijepoj probi koja je umjesto 0,02 cm<sup>3</sup> standarda sadržavala destiliranu vodu. Polifenolni standardi mjereni su dva puta (n=2). Uzorci vina mjereni su istim postupkom šest puta (n=6).

### 3.2.5. Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih flavonoida

Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih flavonoida provedena je prema Mengcheng i sur., 1999, a validirana je za (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid i kvercetin. U staklenu kivetu dodano je 0,8 cm<sup>3</sup> destilirane vode, 0,2 cm<sup>3</sup> polifenolnog standarda i 0,06 cm<sup>3</sup> NaNO<sub>2</sub> (5 %). Nakon 5 minuta trajanja reakcije dodano je 0,06 cm<sup>3</sup> AlCl<sub>3</sub> (10 %). Nakon 6 minuta dodano je 0,4 cm<sup>3</sup> NaOH (1 M). Razvija se ružičasta boja reakcijske otopine i mjerena je apsorbancija na spektrofotometru na 510 nm prema slijepoj probi koja je umjesto 0,2 cm<sup>3</sup> standarda sadržavala destiliranu vodu. Polifenolni standardi mjereni su dva puta (n=2). Uzorci vina mjereni su istim postupkom šest puta (n=6).

### 3.2.6. Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih antocijanina (pH-diferencijalna metoda)

Metoda za ukupne antocijanine (pH-diferencijalna spektroskopska metoda) (Tonutare i sur., 2014) validirana je za cijanidin-3-galaktozid i cijanidin-3-glukozid. Ova metoda provodi se sa puferom kalijevog klorida pH=1,0 (1,86 g KCl u 1 dm<sup>3</sup> destilirane vode, pH vrijednost je namještena na 1,0 s koncentriranom HCl) i puferom natrijevog acetata pH=4,5 (54,43 g CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>Na · 3 H<sub>2</sub>O u 1 dm<sup>3</sup> destilirane vode, pH vrijednost namještena na 4,5 s koncentriranom HCl). Mjerenje je provedeno na način da je u staklenu kivetu dodavano 500 µl standarda antocijanina različitih koncentracija i 1,5 cm<sup>3</sup> pufera pH=1,0. U drugu staklenu kivetu dodavano je 0,5 cm<sup>3</sup> standarda antocijanina različitih koncentracija i 1,5 cm<sup>3</sup> pufera pH=4,5. Faktor razrjeđenja izračunat je prema **formuli (7)**, a iznosio je 4.

$$DF = \frac{V_1}{V_2} \quad (7)$$

gdje je:  $DF$  – faktor razrjeđenja,  
 $V_1$  – ukupan volumen (µl) i  
 $V_2$  – volumen standarda (µl).

Nakon 15 minuta stajanja na tamnom mjestu, mjerena je apsorbancija na 510 i 700 nm na spektrofotometru prema slijepoj probi koja je umjesto uzorka sadržavala destiliranu vodu. Apsorbancija uzorka izračunata je prema **formuli (8)**:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH1,0} - (A_{510} - A_{700})_{pH4,5} \quad (8)$$

gdje je:  $A$  – apsorbancija uzorka (standarda polifenola),

$A_{510}$  – apsorbancija mjerena na 510 nm i

$A_{700}$  – apsorbancija mjerena na 700 nm.

Polifenolni standardi mjereni su dva puta ( $n=2$ ). Uzorci vina mjereni su istim postupkom četiri puta ( $n=4$ ).

Konstruirane su kalibracijske krivulje cijanidin-3-glukozida i cijanidin-3-galaktozida koje su korištene za određivanje količine ukupnih antocijanina u vinu.

Pošto se pH diferencijalnom metodom mogu određivati ukupni antocijanini bez upotrebe kalibracijskih krivulja, prema formuli koja koristi molarni koeficijent apsorpcije cijanidin-3-glukozida, koncentracija ukupnih antocijanina u vinu računata je i pomoću navedene formule.

$$\gamma = (A \times M \times DF \times 1000) / \varepsilon \quad (9)$$

gdje je:  $\gamma$  – koncentracija antocijanina izražena kao ekvivalent cijanidin-3-glukozid

( $\text{mg dm}^{-3}$ ),

$A$  – apsorbancija,

$M$  – molekulska masa cijanidin-3-glukozida ( $\text{mol dm}^{-3}$ ),

$DF$  – faktor razrjeđenja i

$\varepsilon$  – molarni koeficijent apsorpcije koji iznosi  $26900 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ .

### 3.2.7. Reverzno-fazna visokodjelotvorna tekućinska kromatografija

Kromatografske analize su provedene pomoću ProStar analitičkog HPLC sustava (Varian, USA - ProStar pumpa i ProStar 330 PDA detektor). Kromatografska separacija je izvedena pomoću Omnispher C18 kolone ( $5 \mu\text{m}$ ,  $250 \times 4,6 \text{ mm}$  i.d., Varian, USA), uz pretkolonu (Chromosep,  $1 \text{ cm} \times 3 \text{ mm}$ , Varian, USA). U gradijentnoj metodi korištena je mobilna faza A ( $0,5 \%$   $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) i mobilna faza B ( $100 \%$  metanol). Početni postotak mobilne faze B bio je  $5 \%$  i povećavao se linearno do  $25 \%$  ( $5\text{-a min}$ ), do  $34 \%$  ( $14\text{-a min}$ ), do  $37 \%$  ( $25\text{-a min}$ ), do  $40 \%$  ( $30\text{-a min}$ ), do  $49 \%$  ( $34\text{-a min}$ ), do  $50 \%$  ( $35\text{-a min}$ ), do  $51 \%$  ( $58\text{-a min}$ ), do  $55 \%$  ( $60\text{-a min}$ ), do  $80 \%$  ( $62 \text{ min}$ ),  $80 \%$  ( $65\text{-a min}$ ), do  $5 \%$  ( $67 \text{ min}$ ),  $5 \%$  ( $72 \text{ min}$ ). Protok je bio  $0,8 \text{ ml min}^{-1}$ . Volumen injektiranih uzoraka i standarda bio je  $0,02 \text{ cm}^3$ . Kromatogrami su snimani u području od  $200$  do  $600 \text{ nm}$ . Galna kiselina praćena je na  $260 \text{ nm}$ , (+)-katehin na  $280 \text{ nm}$ , kvercetin-3-rutinozid i kvercetin na  $360 \text{ nm}$ , a derivati cijanidina na  $460 \text{ nm}$ . Konstruirane su kalibracijske krivulje na navedenim valnim duljinama koje su se koristile za određivanje linearnosti, LOD, LOQ i osjetljivosti. Identifikacija polifenola (galna kiselina, (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid,

kvercetin, cijanidin-3-galaktozid i cijanidin-3-glukozid) iz kore jabuka i vinu izvedena je usporedbom spektara i retencijskih vremena pikova standarda i pikova u ekstraktima kore jabuka (Jakobek i Barron, 2016) i vinu. Kvantifikacija je izvršena pomoću kalibracijskih krivulja standarda polifenola. Određene količine koristile su se za ispitivanje preciznosti i točnosti metode.

### 3.2.8. Validacija metoda

Kalibracijske krivulje konstruirane su mjerenjem različitih koncentracija polifenolnih standarda te stavljanjem u odnos koncentracije i odziva instrumenta (apsorbancija kod spektroskopskih metoda, površina kod kromatografske metode). Za svaki polifenolni spoj konstruirane su dvije kalibracijske krivulje.

Linearnost je procijenjena određivanjem koeficijenta determinacije  $r^2$ .

LOD i LOQ određeni su prema **formulama (2) i (3)**.

Preciznost spektroskopskih metoda određena je mjerenjem uzoraka vina pomoću tri spektroskopske metode, računanjem koncentracije pomoću svakog standarda polifenola te računanjem standardnog odstupanja (SD) prema **formuli (10)**, relativnog standardnog odstupanja (RSD) prema **formuli (11)** te koeficijenta varijacije (KV) prikazanog **formulom (6)**. Za ukupne polifenole i ukupne flavonoide mjerenje je izvršeno 6 puta, a za ukupne antocijanine 4 puta.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (10)$$

gdje je: SD – standardna devijacija,  
n – broj ponavljanja,  
 $x_i$  – rezultat pojedinačnog mjerenja i  
 $\bar{x}$  – srednja vrijednost rezultata mjerenja.

$$RSO = \left( \frac{SD}{\bar{x}} \right) 10^z \quad z = 2, RSO (\%) \quad (11)$$

gdje je: RSO – relativno standardno odstupanje (%),  
SD – standardna devijacija i

$\bar{x}$  – srednja vrijednost rezultata mjerenja.

Preciznost RP-HPLC metode određena je mjerenjem ekstrakta kore jabuke i vina na HPLC uređaju, identifikacijom i kvantifikacijom polifenola te računanjem standardnog odstupanja (SD), relativnog standardnog odstupanja (RSD) te koeficijenta varijacije. Uzorci dva kultivara jabuka pripremljeni su u dvije paralele i mjereni jednom na HPLC uređaju (n=2 svaki kultivar). Vino je pripremljeno u dvije paralele i mjereno jednom na HPLC uređaju (n=2).

Točnost je određena dodavanjem polifenolnih spojeva (100 mg dm<sup>-3</sup> za ukupne polifenole, 100 mg dm<sup>-3</sup> za ukupne flavonoide, 48 mg dm<sup>-3</sup> za ukupne antocijanine) u uzorke vina, analizom pomoću metode za ukupne polifenole, ukupne flavonoide i ukupne antocijanine te računanjem iskorištenja prema **formuli (12)**:

$$I = \left( \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_3} \right) \times 100 \quad (12)$$

gdje je:  $I$  – iskorištenje (%),

$\gamma_1$  – izmjerena koncentracija polifenola u uzorku s dodanim polifenolom (mg dm<sup>-3</sup>),

$\gamma_2$  – izmjerena koncentracija polifenola u uzorku (mg dm<sup>-3</sup>) i

$\gamma_3$  – poznata koncentracija dodanog polifenola u uzorak (mg dm<sup>-3</sup>).

Uzorci su mjereni dva puta.

Kod određivanja točnosti RP-HPLC metode, polifenoli su dodavani u ekstrakt kore jabuka i vino u količini od 25 mg dm<sup>-3</sup>. Izračunato je iskorištenje.

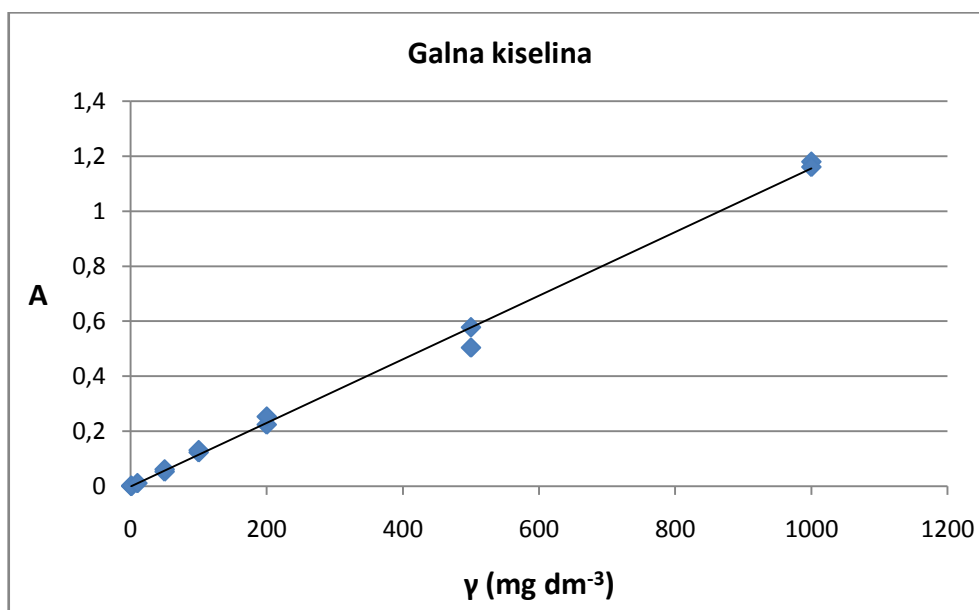
### 3.2.9. Statistička obrada podataka

Za obradu dobivenih podataka korišten je kompjutorski program MS Excel (Microsoft Corporation, SAD). Pomoću regresijske analize dobivene su jednadžbe pravca i pripadajući koeficijenti determinacije  $r^2$ .

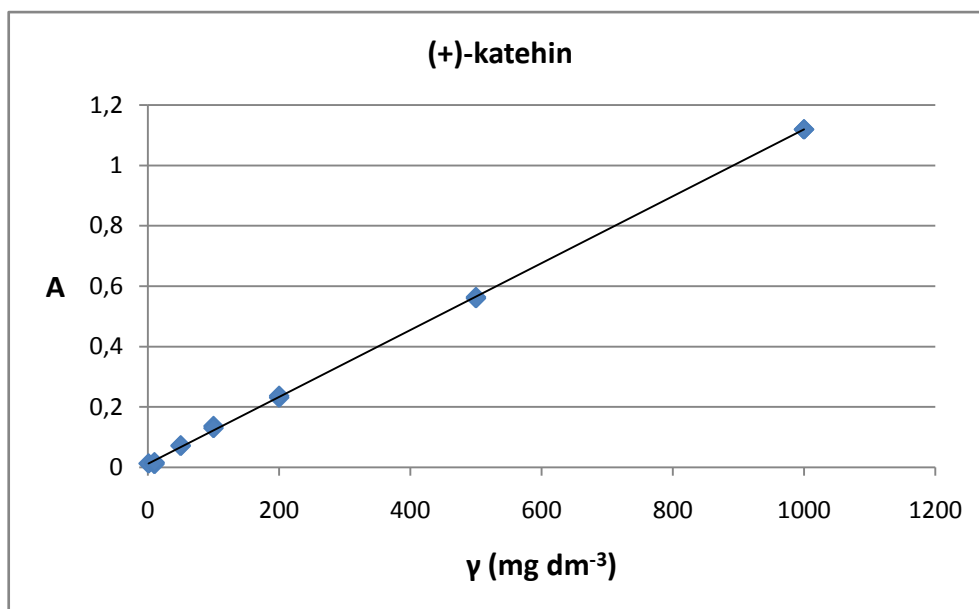
## **4. REZULTATI**

## 4.1. KALIBRACIJSKE KRIVULJE STANDARDA ZA SPEKTROSKOPSKE METODE

### 4.1.1. Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih polifenola

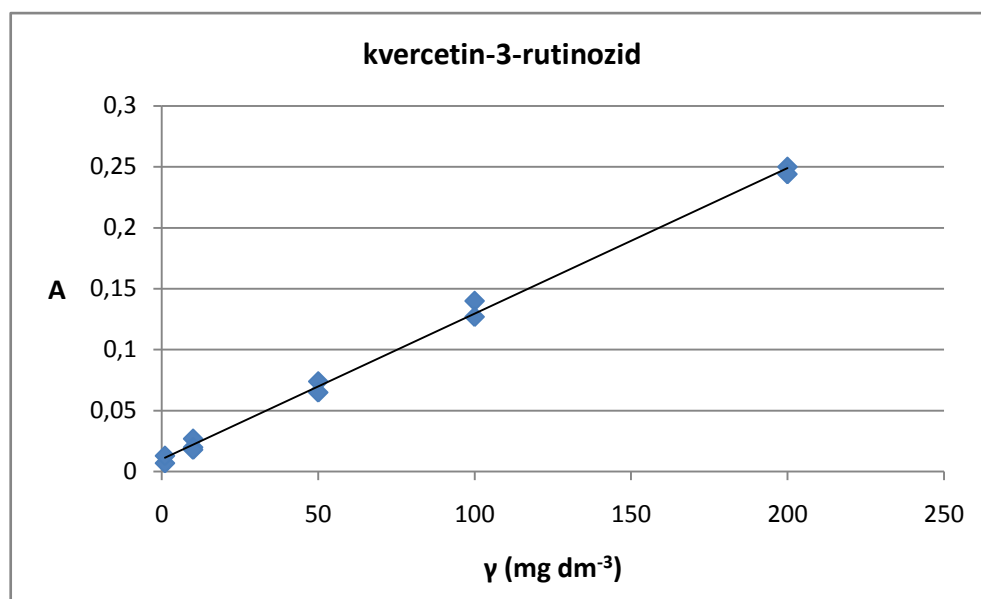


**Slika 7** Kalibracijska krivulja galne kiseline dobivena spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih polifenola (Folin-Ciocalteu metoda). Svaka koncentracija mjerena je dva puta (n=2)



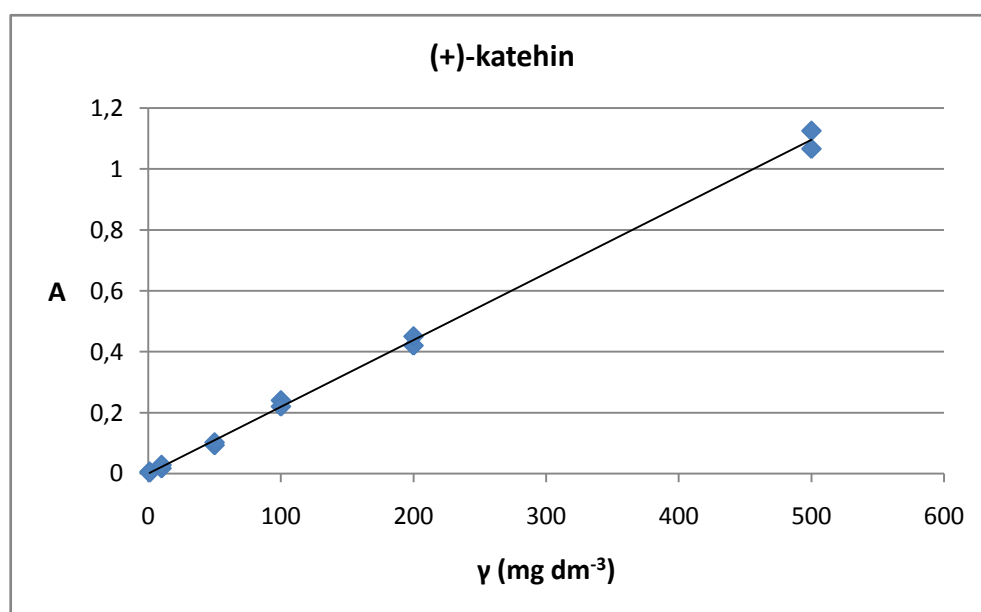
**Slika 8** Kalibracijska krivulja (+)-katehina dobivena spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih polifenola (Folin-Ciocalteu metoda). Svaka koncentracija mjerena je dva puta (n=2)



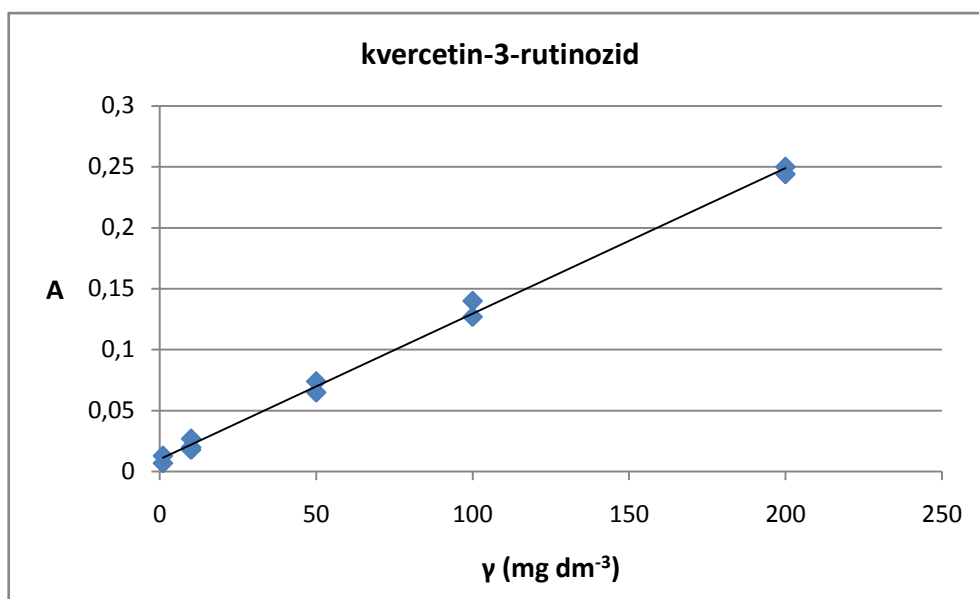


**Slika 9** Kalibracijska krivulja kvercetin-3-rutinozida dobivena spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih polifenola (Folin-Ciocalteu metoda). Svaka koncentracija mjerena je dva puta (n=2)

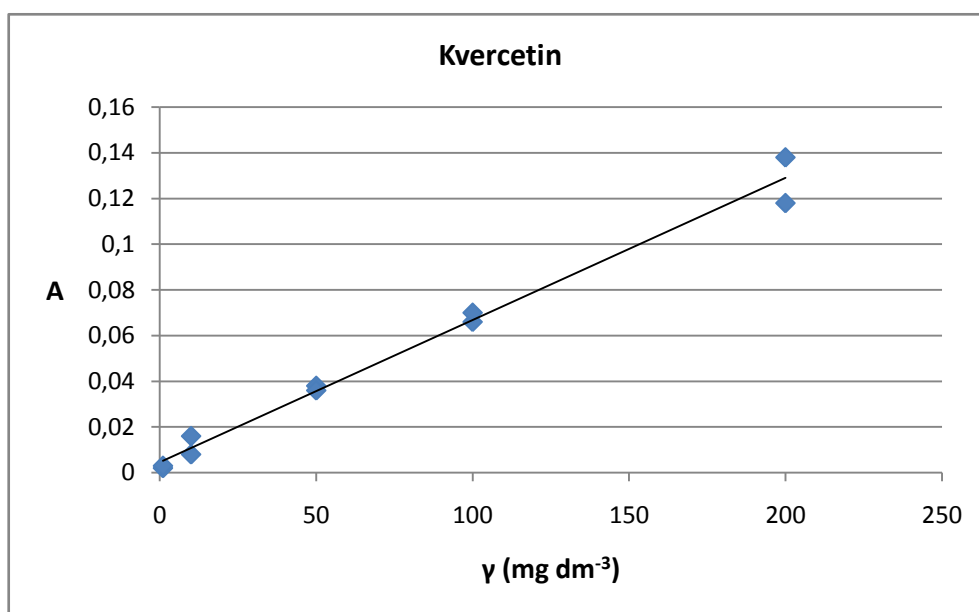
#### 4.1.2. Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih flavonoida



**Slika 10** Kalibracijska krivulja (+)-katehina dobivena spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih flavonoida. Svaka koncentracija mjerena je dva puta (n=2)

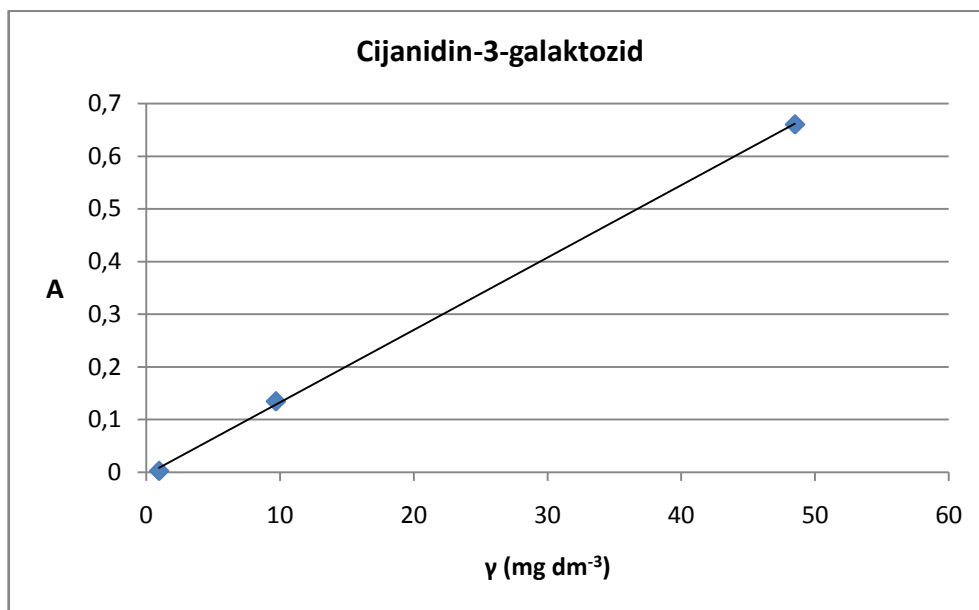


**Slika 11** Kalibracijska krivulja kvercetin-3-rutinozida dobivena spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih flavonoida. Svaka koncentracija mjerena je dva puta (n=2)

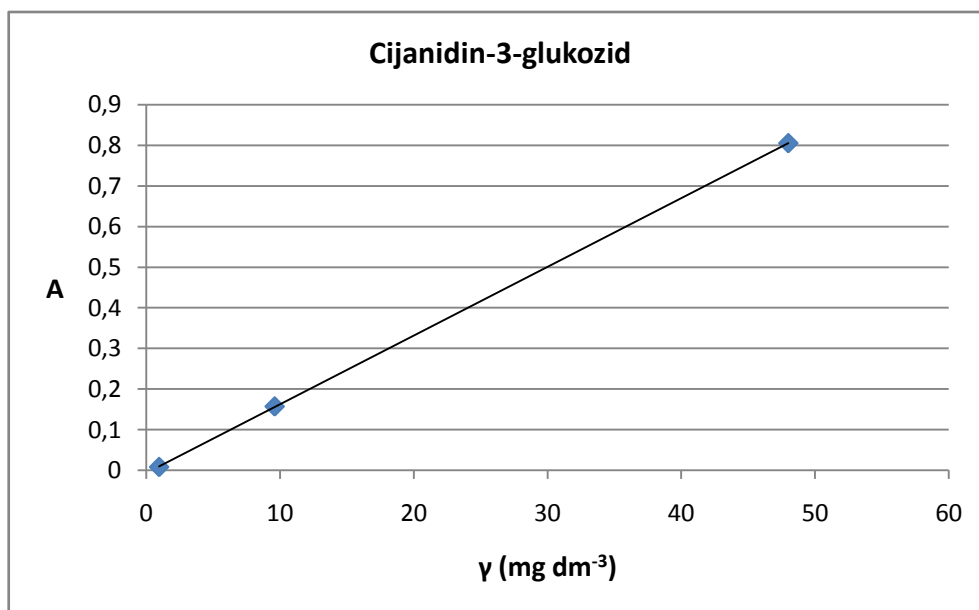


**Slika 12** Kalibracijska krivulja kvercetinadobivena spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih flavonoida. Svaka koncentracija mjerena je dva puta (n=2)

## 4.1.3. Spektroskopska metoda za određivanje ukupnih antocijanina



**Slika 13** Kalibracijska krivulja cijanidin-3-galaktozida dobivena spektroskopskom pH diferencijalnom metodom za određivanje ukupnih antocijanina. Svaka koncentracija mjerena je jednom (n=1)



**Slika 14** Kalibracijska krivulja cijanidin-3-glukozida dobivena spektroskopskom pH diferencijalnom metodom za određivanje ukupnih antocijanina. Svaka koncentracija mjerena je jednom (n=1)

## 4.2. PARAMETRI VALIDACIJE SPEKTROSKOPSKIH METODA

**Tablica 2** Linearnost\*, granica detekcije (LOD)<sup>a</sup> i granica kvantifikacije (LOQ)<sup>a</sup> spektroskopskih metoda za određivanje ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina

	Jednadžba pravca	r <sup>2</sup>	LOD (mg dm <sup>-3</sup> )	LOQ (mg dm <sup>-3</sup> )
<b>Ukupni polifenoli</b>				
galna kiselina	y=0,0012x-0,0008	0,9967	1,36	4,13
(+)-katehin	y=0,0011x+0,012	0,9997	2,33	7,07
kvercetin-3-rutinozid	y=0,0008x+0,0035	0,9978	4,67	14,14
<b>Ukupni flavonoidi</b>				
(+)-katehin	y=0,0022x-0,0003	0,9982	0,64	1,93
kvercetin-3-rutinozid	y=0,0012x+0,0101	0,9969	0,78	2,36
kvercetin	y=0,0006x+0,0046	0,9871	1,44	4,35
<b>Ukupni antocijanini</b>				
Cijanidin-3-galaktozid	y=0,0137x-0,0049	0,9997	1,31	3,98
Cijanidin-3-glukozid	y=0,0169x-0,007	1	1,06	3,22

\*linearnost izražena preko koeficijenta determinacije r<sup>2</sup>

<sup>a</sup>LOD i LOQ dobivene pomoću odsječka i nagiba kalibracijske krivulje

**Tablica 3** Preciznost\* spektroskopskih metoda za određivanje ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina

	Koncentracija (mg dm <sup>-3</sup> )	Koeficijent varijacije (%)
<b>Ukupni polifenoli</b>		
Vino (EG) <sup>a</sup>	1368,54 ± 76,02	5,55
(EK) <sup>b</sup>	1616,64 ± 85,89	5,56
(EKV3R) <sup>c</sup>	2220,00 ± 123,55	5,57
<b>Ukupni flavonoidi</b>		
Vino (EK) <sup>b</sup>	1153,08 ± 38,44	3,33
(EKV3R) <sup>c</sup>	1936,31 ± 67,28	3,47
(EKV) <sup>d</sup>	3973,44 ± 134,56	3,37
<b>Ukupni antocijanini</b>		
VinopH diferencijalna <sup>e</sup>	47,93 ± 6,37	13,29
(EC3GAL) <sup>f</sup>	54,16 ± 6,96	12,85
(EC3GLU) <sup>e</sup>	44,53 ± 5,64	12,67

\*preciznost dobivena mjerenjem uzorka vina metodama za određivanje ukupnih polifenola i ukupnih flavonoida 6 puta (n=6) te metodom za ukupne antocijanine 4 puta (n=4)

<sup>a</sup> ekvivalenti galne kiseline

<sup>b</sup> ekvivalenti (+)-katehina

<sup>c</sup> ekvivalenti kvercetin-3-rutinozida

<sup>d</sup> ekvivalenti kvercetina

<sup>e</sup> ekvivalenti cijanidin-3-glukozida

<sup>f</sup> ekvivalenti cijanidin-3-galaktozida

**Tablica 4** Točnost\*spektroskopskih metoda za određivanje ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina

	Dodano standarda (mg dm <sup>-3</sup> )	Pronađeno standarda (mg dm <sup>-3</sup> )	Iskorištenje (%)
<b>Ukupni polifenoli</b>			
galna kiselina	100	102,22	102,22
(+)-katehin	100	101,41	101,41
kvercetin-3-rutinozid	100	106,22	106,22
<b>Ukupni flavonoidi</b>			
(+)-katehin	100	99,76	99,76
kvercetin-3-rutinozid	100	100,50	100,50
Kvercetin	100	99,17	99,17
<b>Ukupni antocijanini</b>			
pH diferencijalna <sup>a</sup>	48,00	40,59-49,60	83,70-103,30
cijanidin-3-galaktozid <sup>b</sup>	48,50	44,36	91,47
cijanidin-3-glukozid <sup>c</sup>	48,00	44,46	92,63

\* nakon dodavanja standarda u vino, uzorci mjereni 2 puta (n=2)

<sup>a</sup> u vino dodano 48 mg dm<sup>-3</sup> standarda cijanidin-3-glukozida i cijanidin-3-galaktozida, za računanje količine korišten molarni koeficijent apsorpcije cijanidin-3-glukozida e 26900 l mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>

<sup>b</sup> u vino dodano 48,50 mg dm<sup>-3</sup> standarda cijanidin-3-galaktozida, za računanje upotrijebljena kalibracijska krivulja cijanidin-3-galaktozida

<sup>c</sup> u vino dodano 48 mg dm<sup>-3</sup> standarda cijanidin-3-glukozida, za računanje upotrijebljena kalibracijska krivulja cijanidin-3-glukozida

**Tablica 5** Osjetljivost\*spektroskopskih metoda za određivanje ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina

	Nagib kalibracijske krivulje
<b>Ukupni polifenoli</b>	
galna kiselina	0,0012
(+)-katehin	0,0011
kvercetin-3-rutinozid	0,0008
<b>Ukupni flavonoidi</b>	
(+)-katehin	0,0022
kvercetin-3-rutinozid	0,0012
kvercetin	0,0006
<b>Ukupni antocijanini</b>	
cijanidin-3-galaktozid	0,0137
cijanidin-3-glukozid	0,0169

\*osjetljivost izražena preko nagiba kalibracijske krivulje

### 4.3. PARAMETRI VALIDACIJE KROMATOGRFSKE METODE

**Tablica 6** Parametri validacije kromatografske metode

Standard	Jednadžba*	$r^2$ *	LOD* (mg dm <sup>-3</sup> )	LOQ* (mg dm <sup>-3</sup> )	Preciznost <sup>a</sup> KV (%)	Točnost <sup>b</sup> Iskorištenje (%)
galna kiselina	y=40950x+51385	0,9988	2,04	6,80	1,90-9,20	90,71
(+)-katehin	y=49351x-51897	0,9997	0,08	0,26	0,10-6,30	106,43
kvercetin-3- rutinozid	y=151290x-380700	0,9957	0,14	0,47	0,40-11,60	93,20
kvercetin	y=446180x-877340	0,9959	0,10	0,33	7,70-12,00	98,91
cijanidin-3- galaktozid	y=281610x-342840	0,9991	0,13	0,42	4,60-12,00	107,88
cijanidin-3- glukozid	y=322540x-382690	0,9995	0,80	2,70	0-12,90	98,46

\*vrijednosti dobivene analizom standarda različitih koncentracija, svaka koncentracija injektirana jednom

<sup>a</sup> vrijednosti dobivene analizom ekstrakta kore jabuka crvenka i božičnica, ekstrakti pripremljeni u dvije paralele i svaki ekstrakt analiziran je jednom na HPLC uređaju (n=2) i četiri vrste vina u dvije paralele i svaka vrsta vina analizirana je jednom na HPLC uređaju (n=2)

<sup>b</sup> vrijednosti dobivene dodavanjem standarda u ekstrakt jabuke božičnica i u vino

## **5. RASPRAVA**

Spektroskopske metode se često koriste za određivanje količine polifenolnih spojeva. One nisu specifične i koriste se za određivanje pojedinih skupina polifenola (flavonoidi, antocijanini) ili za određivanje ukupnih polifenola (Lin i Tang, 2007; Pontis i sur., 2014; Shaghghi i sur., 2008). Greška koja se može javiti korištenjem ovih metoda je upotreba različitih standarda polifenola za izradu kalibracijske krivulje te upotreba tih krivulja za određivanje količine polifenola (Escarpa i sur., 201). Naime, u realnim uzorcima nalaze se različiti polifenoli te je potrebno znati koji polifenol je dominantan te koristiti kalibracijsku krivulju dominantnog polifenola. Niti ovaj način ne daje točne količine polifenola, ali se na ovaj način spektroskopske metode mogu koristiti za usporedbu količine polifenola u sličnim uzorcima. Nadalje, spektroskopske metode mogu se koristiti za praćenje koncentracije pojedinih polifenola u model otopinama (Simon i sur., 2015). U tu svrhu potrebno je validirati spektroskopske metode prema različitim polifenolnim standardima. Time se dobiva mogućnost praćenja količine polifenola u model otopinama jednostavnim, brzim i jeftinim spektroskopskim metodama. Cilj ovog rada bio je validirati tri spektroskopske metode koje se uobičajeno koriste za određivanje polifenola u različitim uzorcima prema najuobičajenijim polifenolima kao što su galna kiselina, kvercetin, kvercetin-3-rutinozid, (+)-katehin, derivati cijanidina. Ovi polifenoli uobičajeno se prate i u različitim model otopinama u različitim eksperimentalnim mjerenjima.

Kalibracijske krivulje galne kiseline, (+)-katehina i kvercetin-3-rutinozida dobivene spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih polifenola prikazane su na **Slikama 7,8 i 9**, a jednadžbe pravca i koeficijent determinacije u **Tablici 2**. Kalibracijski pravci su linearni (galna kiselina i (+)-katehin u koncentracijskom području od 1 do 1000 mg dm<sup>-3</sup>, kvercetin-3-rutinozid 1 do 200 mg dm<sup>-3</sup>) što pokazuju i koeficijenti determinacije ( $r^2 = 0.9967 - 0.9997$ ).

Spektroskopskom metodom za određivanje ukupnih flavonoida dobivene su kalibracijske krivulje za standarde (+)-katehin, kvercetin-3-rutinozid te kvercetin (**Slike 10, 11 i 12**). Vidljivo je da je kalibracijska krivulja (+)-katehina linearna u području od 1 do 500 mg dm<sup>-3</sup>, dok su kalibracijske krivulje za kvercetin-3-rutinozid i kvercetin linearne u području od 1 do 200 mg dm<sup>-3</sup>. Koeficijent determinacije ( $r^2 = 0,9969-0,9982$ ) ukazuje na dobru linearnost (**Tablica 2**).

Metoda za ukupne antocijanine najčešće se koristi za određivanje količine antocijanina upotrebom formule koja uzima u obzir molarni ekstinkcijski koeficijent cijanidin—3-



glukozida. U tom slučaju ne upotrebljava se kalibracijska krivulja. U ovom radu cilj je bio pripremiti kalibracijske krivulje različitih antocijanina, validirati metodu te usporediti korištenje kalibracijskih krivulja u određivanju količine antocijanina s upotrebom uobičajene formule. Dobivene su kalibracijske krivulje za cijanidin-3-galaktozid i cijanidin-3-glukozid (**Slika 13** i **14**). Vidljivo je da su kalibracijske krivulje cijanidin-3-galaktozida i cijanidin-3-glukozida linearne u području od 1 do 50 mg dm<sup>-3</sup>,  $r^2 = 0.9997 - 1$  (**Tablica 2**).

Granice detekcije i granice kvantifikacije spektroskopskih metoda prikazane su u **Tablici 2**. Spektroskopske metode dale su prihvatljivo niske granice detekcije (ukupni polifenoli 1,4 do 4,7, ukupni flavonoidi 0,6 do 1,4, ukupni antocijanini oko 1 mg dm<sup>-3</sup>) i kvantifikacije (ukupni polifenoli 4 do 14, ukupni flavonoidi 1,9 do 4,3, ukupni antocijanini 3,2 do 4 mg dm<sup>-3</sup>).

Preko koeficijenta varijacije pokazala se dobra (5,6 % (ukupni polifenoli), 3,4 do 3,5 (ukupni flavonoidi)) ili prihvatljiva (ukupni antocijanini 12,7 do 12,9 %) preciznost spektroskopskih metoda (**Tablica 3**). Osim toga, u **Tablici 3** su prikazane količine ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina u vinu određenih prema različitim kalibracijskim krivuljama. Može se vidjeti da se dobiju različite količine polifenola ukoliko se za izražavanje rezultata koriste različiti spojevi. Galna kiselina u metodi za ukupne polifenole dala je najniže (1368 mg dm<sup>-3</sup>), a kvercetin-3-rutinozid najveće rezultate (2220 mg dm<sup>-3</sup>). Ukoliko se ukupni flavonoidi izražavaju prema (+)-katehinu dobiju se najniži rezultati (1153 mg dm<sup>-3</sup>), dok kvercetin daje najveće rezultate (3972 mg dm<sup>-3</sup>). Ukupni antocijanini određeni prema kalibracijskoj krivulji cijanidin-3-glukozida (44,5 mg dm<sup>-3</sup>) i prema formuli koja se inače upotrebljava u ovoj metodi, a koja već upotrebljava molarni ekstinkcijski koeficijent cijanidin-3-glukozida (47,9 mg dm<sup>-3</sup>), vrlo su slični. Može se zaključiti da je upotreba formule ili kalibracijske krivulje dobra za određivanje ukupnih antocijanina. Rezultati prema cijanidin-3-galaktozidu su slični (54 mg dm<sup>-3</sup>).

Točnost spektroskopskih metoda za određivanje ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina dobivena je dodavanjem standarda u vino, a rezultati su prikazani u **Tablici 4**. Najmanje iskorištenje dobiveno je kod metode za ukupne antocijanine za standarde cijanidin-3-galaktozid (91,47 %), te za cijanidin-3-glukozid (92,63 %). Također iz **Tablice 4** je vidljivo da je najveće iskorištenje dobiveno pri izvođenju metode za ukupne polifenole kod galne kiseline (102,22 %), te kvercetin-3-rutinozida (106,22 %). Točnost svih metoda je prihvatljiva.

Osjetljivost spektroskopskih metoda za određivanje ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i ukupnih antocijanina, izražena preko nagiba kalibracijskih krivulja, prikazana je u **Tablici 5** gdje je vidljivo da je dobivena najosjetljivija kalibracijska krivulja za ukupne polifenole prema galnoj kiselini (0,0012), dok je metoda za ukupne flavonoide najosjetljivija prema (+)-katehinu (0,0022). Prema tome, standardi koji se inače koriste za kalibraciju pokazali su najveću osjetljivost. Metoda za ukupne antocijanine pokazuje veću osjetljivost ukoliko se kao standard koristi cijanidin-3-glukozid (0,0169), dok kalibracijska krivulja cijanidin-3-galaktozida pokazuje manju osjetljivost (0,0137). I kod ove metode pokazalo se da je antocijanin koji se inače koristi za kalibraciju daje metodi veću osjetljivost.

**Tablica 6** prikazuje parametre validacije kromatografske metode: koeficijent determinacije  $r^2$ , granicu detekcije (LOD) u  $\text{mg dm}^{-3}$ , granicu kvantifikacije (LOQ) u  $\text{mg dm}^{-3}$  dobivenu analizom standarda različitih koncentracija, zatim preciznost izraženu preko koeficijenta varijacije u %, te točnost izraženu kao iskorištenje u %. Prema dobivenim koeficijentima determinacije vidljivo je da su kalibracijske krivulje linearne ( $r^2$  od 0,9957 do 0,9997) s prihvatljivim limitima detekcije (od 0,08 do 2,04  $\text{mg dm}^{-3}$ ) i kvantifikacije (0,26 do 6,80  $\text{mg dm}^{-3}$ ). Preciznost (koeficijent varijacije do 12,9 %) i točnost metode (od 90,71 do 107,88 %) također se pokazala kao prihvatljiva. Najveću osjetljivost ima kalibracijska krivulja kvercetina, a najmanju galna kiselina.

Prema određenim parametrima validacije, ispitane spektroskopske metode mogu se preporučiti za određivanje polifenolnih skupina i ukupnih polifenola u različitim uzorcima. Standardi polifenola koji se uobičajeno koriste za dobivanje kalibracijskih krivulja (galna kiselina za ukupne polifenole, (+)-katehin za ukupne flavonoide, cijanidin-3-glukozid za ukupne antocijanine) pokazuju najveću osjetljivost, no kalibracijske krivulje i ostalih ispitanih polifenola, mogu se koristiti za dobivanje kvantitativnih podataka. Nadalje, ispitane metode mogu se preporučiti za mjerenje pojedinog polifenola u model otopinama u kojima se prati koncentracija tog polifenola, uz upotrebu istog polifenola za dobivanje kalibracijske krivulje. Primjer takvog modela je model adsorpcije polifenola na prehrambeno vlakno. Prehrambeno vlakno se uklanja iz otopine ultrafiltracijom, a koncentracija zaostalog polifenola može se pratiti spektroskopskim metodama.

Kromatografska metoda pokazala je da je točna i precizna u ispitivanom području koncentracija, što je bilo i očekivano.

## **6. ZAKLJUČCI**

Na osnovi rezultata istraživanja provedenih u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Spektroskopske i kromatografske metode pokazale su se kao linearne metode za sve korištene standarde u promatranom rasponu koncentracija.
2. Dobivene granice detekcije i granice kvantifikacije za sve standarde bile su u prihvatljivim granicama validacije.
3. Spektroskopske i kromatografske metode pokazale su se kao točne i precizne metode.
4. Osjetljivost spektroskopskih metoda je različita za različite standarde, a najveću osjetljivost pokazali su standardi polifenola koji se uobičajeno koriste za dobivanje kalibracijske krivulje (galna kiselina za ukupne polifenole, (+)-katehin za ukupne flavonoide, cijanidin-3-glukozid za ukupne antocijanine). Kod kromatografske metode, najveću osjetljivost pokazao je kvercetin, a najmanju galna kiselina.
5. Validacijom ovih metoda pokazalo se da se one mogu koristiti za određivanje količine polifenolnih spojeva u realnim uzorcima i modelnim otopinama.

## **7. LITERATURA**

- AOAC International: AOAC Peer-verified methods program, Manual on policies and procedures, 1998. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=C3D82F9AE00CA520AF2E3F46E67E8D6E?doi=10.1.1.196.7223&rep=rep1&type=pdf> [15.09.2015.]
- Araujo P: Key aspects of analytical method validation and linearity evaluation. *Journal of Chromatography B* 877: 2224-2234, 2009.
- Box, JD: Investigation of the Folin-Ciocalteu phenol reagent for the determination of polyphenolic substances in natural waters. *Water Research* 17: 511-525, 1981.
- Cuadros-Rodriguez L, Gamiz-Gracia L, Almansa-Lopez EM, Bosque-Sendra JM: Calibration in chemical measurement processes. II. A methodological approach. *Trends in Analytical Chemistry* 20: 620-636, 2001.
- Currie, LA., Svehla, G.: Nomenclature for the presentation of results of chemical analysis (IUPAC recommendations 1994). *Pure and Applied Chemistry* 66: 595-608, 1994.
- Escarpa A, Gonzalez MC: Approach to the contents of total extractable phenolic compounds from different food samples by comparison of chromatographic and spectrophotometric methods. *Analytica Chimica Acta* 427: 119-127, 2001.
- Gonzalez AG, Herrador MA: A practical guide to analytical method validation, including measurement uncertainty and accuracy profiles. *Trends in Analytical Chemistry* 26:227-238, 2007.
- Huber L: *Validation and Qualification in Analytical Laboratories*. Informa Healthcare, USA, 2007.
- Jakobek L, Barron, AR: Ancient apple varieties from Croatia as a source of bioactive polyphenolic compounds. *Journal of Food Composition and Analysis* 45: 9-15, 2016.
- Lazarić, K: *Validacija analitičkih metoda –teorija. Što je to validacija?* Svijet po mjeri, Hrvatsko mjeriteljsko društvo, Zagreb, 2002.
- Lin JY, Tang CY: Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry* 101: 140-147, 2006.
- Magnusson B, Örnemark U: *Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods. A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, Second Edition*, 2014. [https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV\\_guide\\_2nd\\_ed\\_EN.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_EN.pdf) [20.09.2015.]
- Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L: Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79: 727-747, 2004.
- Mengcheng T, Zhishen J, Jianming W: The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry* 64: 555-559, 1999.

- Pontis JA, Costa LAMA, Silva SJR, Flach A: Color, phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Roraima, Brazil. *Food Science and Technology* 34: 69-73, 2014.
- Shaghghi M, Manzoori JL, Jouyban A: Determination of total phenols in tea infusions, tomato and apple juice by terbium sensitized fluorescence method as an alternative approach to the Folin–Ciocalteu spectrophotometric method. *Food Chemistry* 108: 695–701, 2008.
- Simon V, Thuret A, Candy L, Bassil S, Duthen S, Raynaud C, Masserom A: Recovery of hydroxycinnamic acids from renewable resources by adsorption on zeolites. *Chemical Engineering Journal* 280: 748-754, 2015.
- Singleton LV, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM: Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in enzymology* 299: 152-178, 1999.
- Taverniers I, Van Bockstaele E , De Loose M: Trends in quality in the analytical laboratory. I.Traceability and measurement uncertainty of analytical results. *Trends in Analytical Chemistry* 23: 480-490, 2004.
- Taverniers I, De Loose M, Van Bockstaele E: Trends in quality in the analytical laboratory. II. Analytical method validation and quality assurance. *Trends in Analytical Chemistry* 23:535-552, 2004.
- Thompson M, Ellison SLR, Wood R: Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical report). *Pure and Applied Chemistry* 74:835-855, 2002.
- Tonutare T, Moor U, Szajdak L: Strawberry anthocyanin determination by pH differential spectroscopic method-How to get true results? *ACTA Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 13:35-47, 2014.
- Van der Voet H, Van Rhijn JA, Van de Wiel HJ: Inter-laboratory, time, and fitness-for-purpose aspects of effective validation. *Analytica Chimica Acta* 391:159-171, 1999.
- Van Zoonen P, Hoogerbrugge R, Gort SM, Van de Wiel HJ, Van't Klooster HA: Some practical examples of method validation in the analytical laboratory. *Trends in Analytical Chemistry* 18:584-593, 1999.
- Zwanziger, HW, Sârbu, C: Validation of Analytical methods using a regression procedure. *Analytical Chemistry* 70: 1277-1280, 1998.