

# Istraživanje biljnog materijala kao potencijalnog kiselo-baznog indikatora

---

**Bilić, Katarina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:550654>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Diplomski sveučilišni studij kemije

Katarina Bilić

**Istraživanje biljnog materijala kao potencijalnog kiselo–baznog  
indikatora**

Diplomski rad

Osijek, 2020.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Diplomski sveučilišni studij kemije

Katarina Bilić

**Istraživanje biljnog materijala kao potencijalnog kiselo–baznog  
indikatora**

Diplomski rad

Mentor: doc. dr. sc. Ana Amić

Komentor: doc. dr. sc. Elvira Kovač-Andrić

Osijek, 2020.

## **Zahvale**

*Prije svega se zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Ani Amić na strpljivosti, savjetima, susretljivosti i pomoći tijekom izrade diplomskog rada. Bio je užitak raditi s Vama eksperimentalni dio rada u laboratoriju. Od srca Vam hvala!*

*Zahvaljujem se komentorici doc. dr. sc. Elviri Kovač-Andrić na svim pruženim savjetima, na dostupnosti i ohrabrenju tijekom cijelog fakultetskog obrazovanja. Vaši savjeti puno znače i svakako će biti korisni u budućnosti. Hvala Vam!*

*Najveća zahvalnost ide mojim roditeljima koji nisu odustali od mene, bez obzira na sve moje uspone i padove tijekom cijelog školovanja. Posebno zahvaljujem mojoj majci Mariji koja je, kada mi je bilo najteže, bila najveća podrška, koja je uvijek imala riječ ohrabrenja i koja me uvijek „gurala“ naprijed onda kada sam pomislila odustati. Hvala ti majko, hvala ti oče!*

*Zahvaljujem mojoj braći Nikoli i Matku, mojem zaručniku Antoniju i mojim prijateljima na bezuvjetnoj podršci!*

**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku****Odjel za kemiju****Diplomski studij kemije****Znanstveno područje: Prirodne znanosti****Znanstveno polje: Kemija****ISTRAŽIVANJE BILJNOG MATERIJALA KAO POTENCIJALNOG  
KISELO-BAZNOG INDIKATORA****Katarina Bilić****Rad je izrađen na:** Odjelu za kemiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**Mentor:** doc. dr. sc. Ana Amić**Komentor:** doc. dr. sc. Elvira Kovač-Andrić**Sažetak**

U nastavi kemije često prevladava tradicionalni oblik rada kojim se gradivo samo usvoji što rezultira nagomilavanjem informacija. Ovakvim usvajanjem gradiva ostvaruje se niži nivo obrazovanja, ali ne i povezivanje naučenog gradiva sa svakodnevnim životom i njegova praktična primjena. Poznato je da vizualizacija nastave znatno olakšava smisleno i svrsishodno učenje, što se u učionici kemije postiže korištenjem pokusa. Obrada pojmova pH, kiselina, baza i indikator ponekad uključuje pokuse uz upotrebu sintetskih indikatora koji su često nedostupni školama. Međutim, biljni pigmenti mogu poslužiti kao kiselobazni indikatori jer ovisno o pH otopine mijenjaju boju od crvene, ljubičaste, plave, zelene do žute. Cilj rada bio je ispitati potencijal primjene odabranog biljnog materijala kao kiselobaznog indikatora. U tu svrhu ispitano je jagodičasto i bobičasto voće, a korišten je sveži, suhi, smrznuti i prerađeni biljni materijal (džem, sok, vino). Odabrane su prerađevine s najvišim sadržajem voća. Rezultati istraživanja ukazuju na izuzetno veliki potencijal primjene biljnog materijala u nastavi kemije. Niska cijena biljnog materijala, dostupnost cijele godine, jednostavna priprema bez štetnih nusprodukata, mogućnost pripreme u malim količinama, jednostavno skladištenje i mogućnost pohrane na duži period prednosti su ispitanih alternativnih indikatora. Od ispitanih biljnog materijala, među vizualno najdojmljivijima istakli su se kupina, malina, ribiz, aronija i drijenak.

**Diplomski rad obuhvaća:** 122 stranice, 141 slika, 24 tablice, 170 literaturnih navoda i 1 prilog**Jezik izvornika:** hrvatski jezik**Ključne riječi:** pH, pokus, sintetski indikatori, alternativni prirodni indikatori, biljni pigmenti**Stručno povjerenstvo za ocjenu:**

1. doc. dr. sc. Olivera Galović, predsjednica
2. doc. dr. sc. Ana Amić, mentorica i članica
3. doc. dr. sc. Elvira Kovač-Andrić, komentorica i članica
4. doc. dr. sc. Martina Šrajter Gajdošik, zamjena člana

**Rad prihvaćen:****Rad je pohranjen:** u Knjižnici Odjela za kemiju, Franje Kuhača 20, Osijek

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek****Department of Chemistry****Graduate Study of Chemistry****Scientific Area: Natural Sciences****Field: Chemistry****STUDY OF PLANT MATERIAL AS POTENTIAL ACID-BASE INDICATORS****Katarina Bilić****Thesis completed at:** Department of Chemistry, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**Supervisor:** Assist. Prof. Ana Amić, PhD**Cosupervisor:** Assist. Prof. Elvira Kovač-Andrić, PhD**Abstract**

In chemistry classroom the dominant teaching methods are traditional ones. Their result is accumulation of information which is a lower level of education with no application of learnt lessons in everyday life. Visualization in science class allows meaningful and purposeful learning, with the help of experiments. Teaching of terms like pH, acid, base and indicator occasionally involves experiments, using synthetic indicators, which are often unavailable to many schools. However, plant pigments may be used as acid–base indicators as well, due to their different colour depending on the solution pH value – red, purple, blue, green, yellow. The aim of this thesis was to evaluate potential of application of selected plant material as acid–base indicators. Studied plant material was soft fruit (berries) as fresh, dry, frozen fruit and fruit products (jam, juice, wine). Used products had the highest fruit concentration. Results indicate high potential of application of selected plant material in chemistry class. Low price, availability all year, simple preparation with no side products, preparation in small or big quantities, simple storage and possibility of longer storage are the advantages of studied alternative indicators. Of all studied plant material, especially visually impressive were blackberries, raspberries, currants, aronia and European cornel.

**Thesis includes:** 122 pages, 141 figures, 24 tables, 170 references, 1 appendix**Original in:** Croatian language**Keywords:** pH, experiment, synthetic indicators, alternative natural indicators, plant pigments**Reviewers:**

1. Assist. Prof. Olivera Galović, PhD, chair
2. Assist. Prof. Ana Amić, PhD, supervisor and member
3. Assist. Prof. Elvira Kovač-Andrić, PhD, cosupervisor and member
4. Assist. Prof. Martina Šrajter Gajdošik, PhD, substitute member

**Thesis accepted:****Thesis deposited:** at the Library of Department of Chemistry, Franje Kuhača 20, Osijek

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. LITERATURNI PREGLED .....	2
2.1. Kiselo–bazni indikatori .....	2
2.1.1. Konvencionalni kiselo–bazni indikatori .....	3
2.1.1.1. Lakmus papir .....	3
2.1.1.2. Univerzalni indikator .....	5
2.1.1.3. Fenolftalein .....	6
2.1.1.4. Metiloranž .....	8
2.1.1.5. Bromtimol plavo .....	9
2.1.1.6. Metil crveno .....	11
2.1.2. Alternativni kiselo–bazni indikatori .....	14
2.1.2.1. Biljke kao potencijalni kiselo–bazni indikatori .....	15
2.1.2.1.1. Jagodičasto voće .....	19
2.1.2.1.2. Bobičasto voće .....	22
2.1.2.2. Bioaktivni spojevi u biljkama .....	26
3. MATERIJAL I METODE .....	40
3.1. Ispitivani biljni materijal .....	40
3.2. Kemikalije i pribor .....	40
3.3. Priprema otopina određene pH vrijednosti .....	41
3.4. Priprema biljnog materijala.....	42
4. REZULTATI .....	47
4.1. Jagodičasto voće.....	47
4.1.1. Jagoda, <i>Fragaria sp. L.</i> .....	47
4.1.2. Kupina, <i>Rubus sp. L.</i> .....	50
4.1.3. Malina, <i>Rubus ideaus L.</i> .....	52
4.1.4. Bijeli dud, <i>Morus alba L.</i> .....	54
4.1.5. Crna malina, <i>Rubus idaeus occidentalis L.</i> .....	55
4.1.6. Tayberry bobica, <i>Rubus fruticosus × Rubus idaeus</i> .....	56
4.2. Bobičasto voće.....	57
4.2.1. Vinova loza, <i>Vitis vinifera L.</i> .....	57
4.2.2. Crni ribiz, <i>Ribes nigrum L.</i> .....	61
4.2.3. Crveni ribiz, <i>Ribes rubrum L.</i> .....	63
4.2.4. Ogrozd, <i>Ribes uva-crispa L.</i> .....	65
4.2.5. Borovnica, <i>Vaccinium myrtillus L.</i> .....	66

4.2.6. Brusnica, <i>Vaccinium sp.</i> L. ....	68
4.2.7. Ružin šipak, <i>Rosa sp.</i> L. ....	70
4.2.8. Goji bobica, <i>Lycium sp.</i> L. ....	72
4.2.9. Aronija, <i>Aronia sp.</i> L. ....	74
4.2.10. Drijen, <i>Cornus mas</i> L. ....	77
4.2.11. Korintska groždica, <i>Vitis vinifera</i> L. ....	79
5. RASPRAVA .....	81
6. METODIČKI DIO .....	92
6.1. Priprema za nastavni sat .....	92
6.2. Primjer radnog listića .....	103
6.3. Rješenja radnog listića .....	108
7. ZAKLJUČAK .....	112
8. LITERATURNI VRELA .....	114
9. DODACI .....	122
9.1. Životopis .....	122



## 1. UVOD

Tradicionalne metode poučavanja, koje i danas dominiraju u učionici, rijetko uključuju pokuse, što je slučaj i kada su u pitanju kiselo–bazni indikatori. Ukoliko nastava uključuje pokus, tada se nerijetko koriste konvencionalni kiselo–bazni indikatori, koji su često skupi i iz tog razloga nedostupni. Različita ispitivanja su pokazala kako se biljni materijali mogu uspješno upotrijebiti kao alternativni kiselo–bazni indikatori.

U prvom dijelu rada nabrojani su najpoznatiji konvencionalni kiselo–bazni indikatori, opisana su njihova svojstva i u kojem području pH vrijednosti mijenjaju boju. Također su nabrojani neki od alternativnih kiselo–baznih indikatora, te su opisana njihova svojstva i u kojem području pH vrijednosti mijenjaju boju.

U drugom dijelu rada proširena su prethodna istraživanja te uključuju istraživanje proizvoda na bazi odabranog biljnog materijala, a ne samo sirovi biljni materijal, kako bi se utvrdilo mogu li se proizvodi odabranog biljnog materijala koristiti kao kiselo–bazni indikatori. Istraženi biljni materijal bilo je jagodičasto i bobičasto voće, primjerice brusnice, crveni i crni ribiz, borovnice i dr., a u rad je uključeno i dodatno voće – goji bobice, aronija i drijenak. Biljni materijal je ispitan u obliku svježeg voća i u obliku dostupnih prerađevina (sušeno voće, sokovi, čajevi, džemovi, te u pojedinim slučajevima i voćno vino). Prerađevine su ispitane u nekoliko različitih koncentracija, te su odabrane one prerađevine koje su sadržavale najveći udio voća. Dobiveni rezultati su prikazani slikama te prodiskutirani.

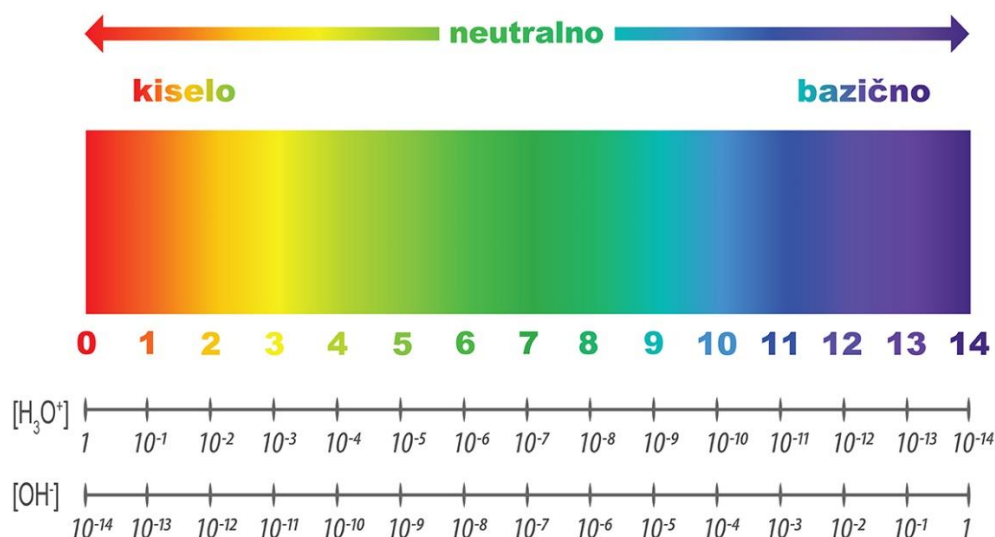
Na samom kraju rada slijedi metodički dio gdje se nalazi priprema za nastavni sat, radni listići za praktični rad i radni listić za ponavljanje gradiva za nastavnu jedinicu „Kisele, neutralne i lužnate otopine.“ Dobiveni rezultati pokazali su veliku mogućnost primjene odabranog biljnog materijala u modernoj učionici kemije.

## 2. LITERATURNI PREGLED

### 2.1. Kiselo–bazni indikatori

Kiselo–bazni indikatori ili pH indikatori koriste se u kemiji za određivanje pH vrijednosti otopine. Mijenjaju boju ovisno o tome jesu li dodani u kiselu, neutralnu ili lužnatu otopinu. Većina kiselo–baznih indikatora koji se danas koriste su slabe kiseline, a mogu biti i slabe baze, koje reagiraju na promjenu koncentracije vodikovih iona ( $H^+$ ) u otopini [1].

Raspon pH skale je od 0 do 14, gdje pH vrijednost koja je manja od 7 ukazuje da se radi o kiseloj otopini i iz toga se može zaključiti da je  $[H_3O^+] > [OH^-]$ , pH vrijednost koja je jednaka 7 ukazuje na neutralnu otopinu što znači da je  $[H_3O^+] = [OH^-]$ , dok pH vrijednost otopine koja je veća od 7 ukazuje da se radi o bazičnoj otopini i da je  $[H_3O^+] < [OH^-]$  (Slika 1.). Kao što je već navedeno, kiselo–bazni indikatori su osjetljivi na promjenu pH odnosno na promjenu koncentracije vodikovih iona u otopini. Većina kiselo–baznih indikatora su velike organske molekule koje sadrže jednostruke i dvostruke ugljik–ugljik veze. U bazičnim otopinama, kiselo–bazni indikatori prelaze iz neutralne molekule u ionski oblik što je posljedica gubitka vodikovih iona, obično iz hidroksilne skupine. Nastala promjena strukture molekule uzrokuje apsorpciju svjetlosti kiselo–baznog indikatora na različitim valnim duljinama i time mijenja boju otopine kojoj je dodan [1].



Slika 1. Skala pH vrijednosti [2].

### **2.1.1. Konvencionalni kiselobazni indikatori**

Većinu kiselobaznih indikatora, koji se danas koriste, nazivamo sintetskim odnosno konvencionalnim kiselobaznim indikatorima. Konvencionalni kiselobazni indikatori su kemijske tvari koje se, u većini slučajeva, sintetiziraju i pripremaju u kemijskom laboratoriju, kao što je primjerice lakmus papir. Lakmus papir sadrži tvari iz prirode koje ukazuju na razinu pH, ali se proizvodi u laboratoriju, poput ostalih konvencionalnih kiselobaznih indikatora kao što su metil crveno, metiloranž, fenolftalein, fenol crveno, metil žuto, bromfenol plavo i bromtimol plavo.

Konvencionalni kiselobazni indikatori imaju određene nedostatke, kao što je visoka cijena brojnih indikatora zbog čega nisu lako dostupni svim školama i veliki su zagađivači okoliša. Osim toga, neki od ovih konvencionalnih kiselobaznih indikatora imaju toksične učinke na korisnike kao što su proljev, edem pluća, hipoglikemija i pankreatitis, a mogu rezultirati grčevima u trbuhu, kožnim osipom, epidermalnom nekrolizom i dr. Iz ovih razloga su prirodni odnosno alternativni kiselobazni indikatori dobiveni od raznih dijelova biljaka poput cvijeća, plodova i lišća povoljniji za korištenje [3].

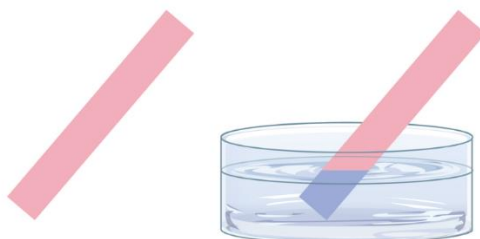
#### **2.1.1.1. Lakmus papir**

Lakmus papir je vjerojatno najpoznatiji kiselobazni indikator. Dostupan je u crvenoj, plavoj i neutralnoj varijanti. Papir je prožet bojom koju proizvode lišajevi koji mijenjaju boju kao odgovor na prisutnost kiseline ili baze. Crveni lakmus papir koristi se za ispitivanje bazičnog pH i poprimit će plavu boju kada dođe u kontakt s bazičnom otopinom (Slika 2.). Crveni lakmus papir u kontaktu s kiselinom ili neutralnom otopinom neće promijeniti boju [4].

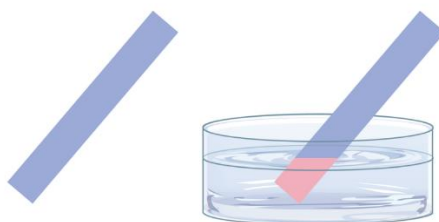
Plavi lakmus papir koristi se za ispitivanje pH vrijednosti kiselina i poprimit će crvenu nijansu kada dođe u kontakt s kiselom otopinom (Slika 3.), dok je neutralni lakmus papir ljubičaste boje (Slika 4.) i promijenit će boju u crvenu ili plavu, ovisno o tome je li pH otopine koja se ispituje kiseo ili bazičan [4].

Kako bi se ispitala pH neke otopine, traka lakmus papira umoči se u otopinu ili se pomoću kapaljke ili pipete može nanijeti mala količina otopine izravno na lakmus papir. Nanesena količina otopine na plavi lakmus papir može dokazati kiselu otopinu čija je pH vrijednosti između 4 i 5 ili niže, dok nanesena količina otopine na crveni lakmus papir može dokazati lužnatu otopinu čija je pH vrijednost veća od 8. Ako otopina ima pH vrijednost

između 5 i 8, na lakmus papiru će se pokazati mala promjena boje, ali dovoljna kako bi se odredilo je li otopina kisela, neutralna ili bazična. Otopina baze testirana plavim lakmus papirom neće pokazati nikakvu promjenu boje odnosno plavi lakmus papir će ostati plave boje u kontaktu s bazičnom otopinom, dok kiselina testirana crvenim lakmus papirom neće registrirati promjenu boje te će crveni lakmus papir ostati crvene boje u kontaktu s kiselim otopinom [4].



Slika 2. Promjena boje crvenog lakmus papira u bazičnoj otopini [5].



Slika 3. Promjena boje plavog lakmus papira u kiseljoj otopini [5].



Slika 4. Neutralni lakmus papir [6].

Korištenje lakmus papira brz je i jednostavan način kako bi se utvrdilo je li otopina kisela ili bazična. Lakmus papir je lako prenosiv i može testirati kiselost i bazičnost otopine koristeći samo malu količinu otopine. Međutim, ne može dati stvarnu pH vrijednost već samo pokazati je li pH vrijednost otopine približno manja od 5 ili veća od 8. Lakmus papir nije koristan za ispitivanje otopina s pH koji je bliži neutralnom [4].

### 2.1.1.2. Univerzalni indikator

Univerzalni indikator u laboratorijima se može pronaći kao otopina ili kao univerzalni indikatorski papir (Slika 5.) [7]. Univerzalni indikator je mješavina nekoliko različitih indikatora te sadrži timol plavo, metil crveno, bromtimol plavo i fenolftalein [8]. Za razliku od lakmus papira koji nam promjenom boje pokazuje je li neka otopina kisela ili bazična, univerzalni indikator pokazuje nekoliko različitih promjena boje u širokom pH području i tako daje precizniji rezultat od lakmus papira [9].

Kod korištenja univerzalnog indikatorskog papira, precizniji rezultati mogu se dobiti ako se stavi mala količina otopine na univerzalni indikatorski papir, a zatim se ostavi da se boja razvije prije nego što se usporedi s tablicom boja odnosno pH skalom [7]. Univerzalni indikator je crven u kiselim otopinama čija je pH vrijednost manja od 3, narančasto do žuti u kiselim otopinama s pH vrijednošću od 3 do 6, zeleni u neutralnoj otopini pri pH vrijednosti 7, plavi u bazičnim otopinama s pH vrijednošću od 8 do 11 i ljubičasti u bazičnim otopinama s pH vrijednošću većom od 11 [8].

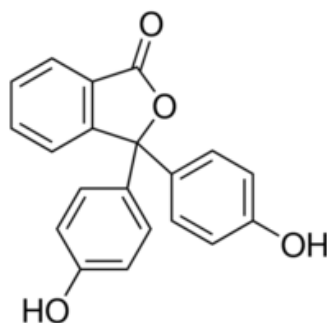


Slika 5. Univerzalni indikator papir [10].

### 2.1.1.3. Fenolftalein

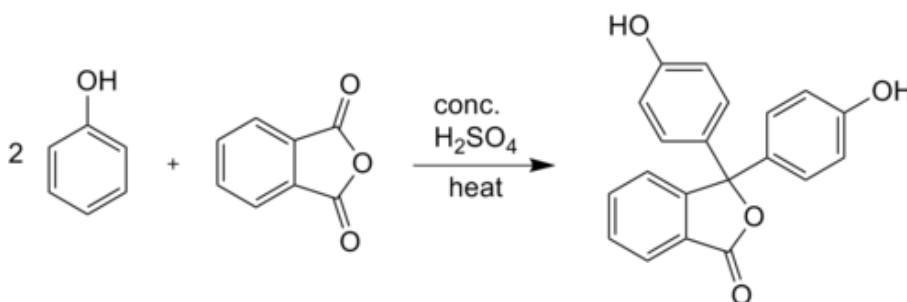
Fenolftaleina (3,3-bis(4-hidroksifenil)-2-benzofuran-1-on) je bijeli fini kristalni prah, bez okusa i bez mirisa, molarne mase 318,31 g/mol i temperature tališta je 258 °C–263 °C [11, 12]. On je slabo topljiv u vodi, nije topljiv u aromatskim otapalima, a topljiv je u alkoholima i eteru.  $pK_a$  vrijednost otopine fenolftaleina iznosi 9,7 na 25 °C [13]. Fenolftalein se koristi kao laboratorijski reagens, dio je laksativnih pripravaka, a može imati i kancerogeni učinak [14].

Otkriće fenolftaleina vezano je za njemačku kemijsku industriju i period vrhunca otkrića umjetnih boja krajem 19. stoljeća. Fenolftalein je organski spoj iz porodice ftaleina sastavljen od 20 atoma ugljika, 14 atoma vodika i 4 atoma kisika. Empirijska formula fenolftaleina je  $C_{20}H_{14}O_4$  i njegova strukturna formula prikazana je na Slici 6. [15].



Slika 6. Strukturna formula fenolftaleina [16].

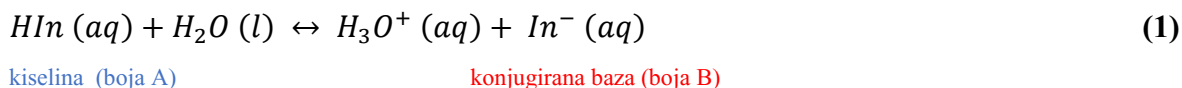
Prvi znanstvenik koji je sintetizirao fenolftalein bio je njemački kemičar Adolf von Baeyer 1871. godine, koji je kombinirao fenol i ftalni anhidrid u prisutnosti sumporne kiseline ili cinkovog klorida (Slika 7.). Ista metoda se i danas koristi za proizvodnju fenolftaleina [17].



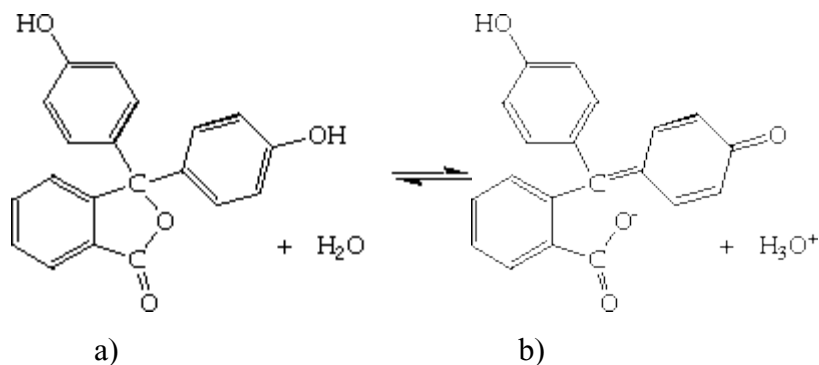
Slika 7. Reakcija dvije molekule fenola i molekule ftalnog anhidrida iz koje nastaje molekula fenolftaleina [18].

Fenolftalein je svoju prvu upotrebu pronašao kao kiselo–bazni indikator jer je u otopini čija je pH vrijednost manja od 8,5 bezbojan, a postiže ružičastu do svijetlo ljubičastu nijansu u otopini čija je pH vrijednost iznad 9,0. Također se koristi prilikom analize građevinskih materijala, konkretno za ispitivanje prisutnosti ugljikovodika u betonu – procesa u kojem se ugljični dioksid otapa u vodi zarobljenoj u porama u betonu, stvarajući ugljičnu kiselinu. Nakon reakcije sa spojevima kalcija u materijalu, nastaje mineral kalcit i snižava se pH vrijednost materijala [17].

Ako se kiselo–bazni indikator, koji je slaba kiselina, prikaže formulom  $HIn$ , uspostavljenu ravnotežu indikatora s njezinom konjugiranom bazom prikazuje kemijska jednadžba (1):



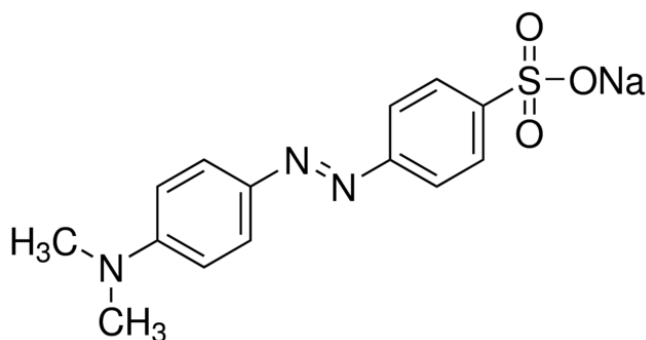
Kiselini i njenoj konjugiranoj bazi pripadaju različite boje. Pri niskim vrijednostima pH, koncentracija oksonijevih ( $H_3O^+$ ) iona je visoka pa je ravnoteža pomaknuta ulijevo. Ravnotežna otopina ima boju A. Pri visokim pH vrijednostima koncentracija  $H_3O^+$  iona je niska, pa je ravnoteža pomaknuta udesno, a ravnotežna otopina poprima boju B [19]. Primjerice, fenolftalein je bezbojna kiselina koja disocira u vodi stvarajući ružičaste anione. U kiselim uvjetima, ravnoteža je pomaknuta ulijevo, a koncentracija aniona je preniska da bi se ružičasta boja mogla primijetiti. Međutim, u bazičnim uvjetima, ravnoteža je pomjerena udesno, čime koncentracija aniona postaje dovoljna da se primijeti ružičasta boja. Fenolftalein je kiselo–bazni indikator koji uspostavlja vrstu ravnoteže u vodenoj otopini prikazanu na Slici 8. [19].



Slika 8. a) Molekula fenolftaleina je bezbojna, b) ion fenolftaleina ljubičaste boje [19].

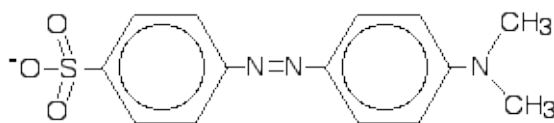
#### 2.1.1.4 Metiloranž

Metiloranž (4-[[4-(dimetilamino)fenil]diazetil]benzen-1-sulfonat) je azo-boja empirijske formule  $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$  i njegova strukturna formula prikazana je na Slici 9. [20]. To je narančasti kristalni prah molarne mase 327,34 g/mol. Prah metiloranža je topljiv u etanolu, djelomično topljiv u vrućoj vodi, a lako je topljiv u hladnoj vodi i pirimidinu, dok je u eteru i alkoholu netopljiv.  $pK_a$  ovog spoja iznosi 3,7 [21].



Slika 9. Strukturna formula metiloranža [20].

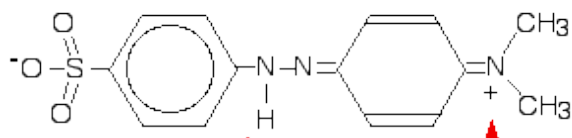
Metiloranž jedan je od kiselo–baznih indikatora koji se obično koristi u kiselo–baznoj titraciji zbog jasno izražene promjene boje. U bazičnoj otopini metiloranž je žute boje, a strukturna formula metiloranža u bazičnoj otopini prikazana je na Slici 10. [21].



Slika 10. Struktura metiloranža u bazičnoj otopini gdje poprima žutu boju [21].

Ako se metiloranžu doda kiselina, moglo bi se zaključiti da će se vodikov ion „pokupiti“ s negativno nabijenim kisikom, međutim vodikov ion vezati će se za jedan od dušika u N=N vezi i dati strukturnu formulu koja je prikazana na Slici 11. Metiloranž je u kiseljoj otopini crvene boje [21].





Slika 11. Struktura metiloranža u kiseljoj otopini [21].

Strukturalna formula metiloranža prikazana na Slici 11. može se i drugačije prikazati, s različitim rasporedom veza što je posljedica delokalizacije elektrona. Budući da su u pitanju strukturalni izomeri, nijedna strukturalna formula ne prikazuje u potpunosti ispravno pravu strukturu metiloranža [21].

Za razliku od univerzalnog indikatora, metiloranž ne pokazuje promjene boje za cijeli pH spektar, ali ima oštriju krajnju točku titracije. U otopini koja postaje manje kisela odnosno postaje bazična, metiloranž prelazi iz crvene boje u narančastu boju i na kraju u žutu, dok se pri povećanju kiselosti može uočiti obrnut redoslijed promijene boje otopine [21]. Kao što je prikazano na Slici 12., metiloranž je crven u otopinama koje imaju pH vrijednost nižu od 3,1 i žut u otopinama koje imaju pH viši od 4,4 [22].



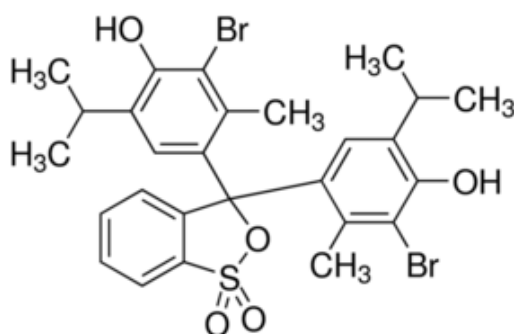
Slika 12. Boje otopine metiloranža u kiselom i bazičnom mediju [22].

#### 2.1.1.5. Bromtimol plavo

Bromtimol plavo (4,4'-(1,1-dioksido-3*H*-2,1-benzoksatiol-3,3-diil)bis(2-bromo-6-izopropil-3-metilfenol)) je kruti spoj molarne mase 624,384 g/mol i empirijske formule  $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$ . Vrelište mu je na temperaturi 614,26 °C, a talište pri temperaturi 202 °C. Bromtimol plavo slabo je topljiv u ulju, ali topljiv je u vodi, eteru i lužnatim vodenim

otopinama. Ovaj indikator je slabije topljiv u nepolarnim otapalima kao što su benzen, toluen i ksilen, a praktički je netopljiv u naftnom eteru [23,24].

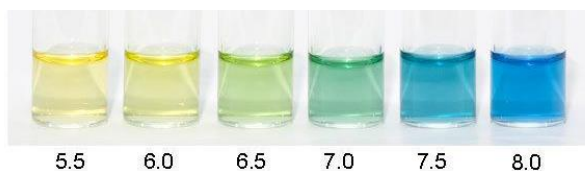
Kao što je prikazano na Slici 13., bromtimol plavo u strukturi sadrži tri aromatska benzena. Na prvi benzenski prsten vezan je sumpor na kojeg su dvostrukom vezom vezana dva atoma kisika, treći atom kisika vezan je jednostrukom vezom za sumpor. Na drugi i treći benzenski prsten vezan je atom broma, hidroksilna skupina koja potječe od alkohola, tert-butilna skupina i metilna skupina [23, 24].



Slika 13. Strukturna formula bromtimol plavog [25].

Glavna primjena bromtimol plavog je za ispitivanje pH vrijednosti otopina (primjerice, za određivanje jakosti pufera ili za određivanje krajnje točke reakcija ovisnih o pH), ali se može koristiti i za ispitivanje procesa fotosinteze i procesa disanja. Bromtimol plavo poprima plavu boju u bazičnim uvjetima ( $\text{pH} > 7$ ), zelenu boju poprima u neutralnim uvjetima ( $\text{pH} = 7$ ), dok žutu boju poprima u kiselim uvjetima ( $\text{pH} < 7$ , Slika 14.) [24].

***Dodana jedna kap indikatora***



***Dodane dvije kapi indikatora***



Slika 14. Raspon boja bromtimol plavog [26].

Bromtimol plavo idealan je za biološke eksperimente, primjerice za ispitivanje procesa fotosinteze i ispitivanje respiratorne aktivnosti odnosno disanja, koristeći istu tehniku kao i za ispitivanje pH. U procesu fotosinteze, troši se ugljikov dioksid, a kod respiratornih aktivnosti stvara se ugljikov dioksid. Uobičajena demonstracija svojstava pH indikatora bromtimol plavog uključuje ljudski izdah kroz cijev u neutralnu otopinu indikatora. Budući da se CO<sub>2</sub> iz daha apsorbira u otopinu, promjenom razine CO<sub>2</sub> mijenja se i pH otopine, jer CO<sub>2</sub> reagira s vodom stvarajući ugljičnu kiselinu (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) koja smanjuje pH otopine, te otopina mijenja boju iz neutralne zelene boje indikatora u žutu boju. Tijekom procesa fotosinteze, troši se CO<sub>2</sub> i pH raste, čineći otopinu plavom. Stoga se bromtimol plavo može koristiti u nastavi prirode, biologije i kemije [24, 26].

Prisutnost jedne elektron akceptorske skupine (brom) i dvije elektron donorske skupine (alkilni supstituenti) odgovorne su za raspon aktivnog indikacijskog područja ovog indikatora od pH 6,0 do 7,6. Iako je konjugacija odgovorna za duljinu i prirodu raspona promjene boje, ove supstituirajuće skupine u konačnici su odgovorne za aktivni raspon indikatora (Slika 15.) [26].

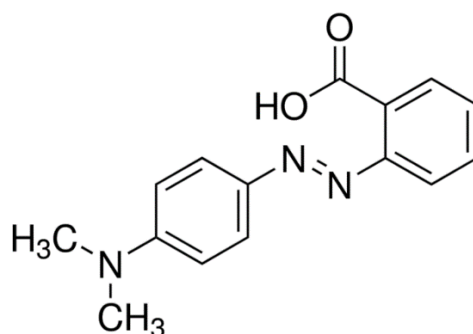


Slika 15. Promjene boje bromtimol plavog [27].

#### 2.1.1.6. Metil crveno

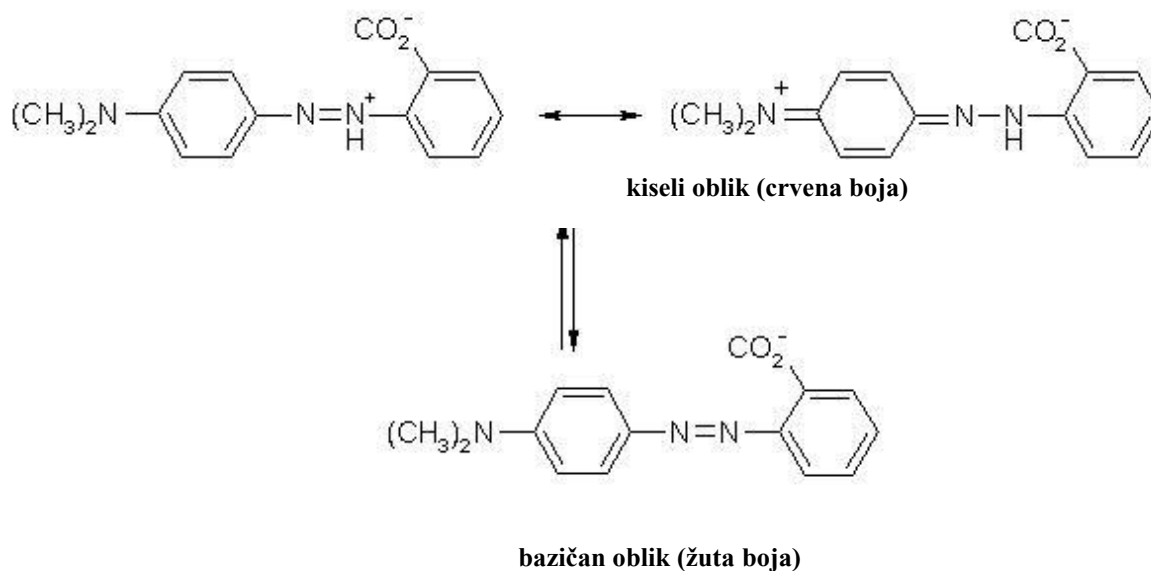
Metil crveno (2-[[4-(dimetilamino)fenil]diazetil]benzojeva kiselina, Slika 16.) je tamnocrveni ljubičasti kristalni prah, empirijske formule C<sub>15</sub>H<sub>15</sub>N<sub>3</sub>O<sub>2</sub>. Molarna masa ovog spoja je 269,30 g/mol, točka tališta je 178 °C-182 °C, a točka vrelišta je oko 412,4 °C. Za razliku od metiloranža, metil crveno je gotovo netopljiv u vodi. On je topljiv je u alkoholu, primjerice etanolu. Metil crveno je azo-boja koja se sastoji od benzojeve kiseline

supstituirane na položaju 2 s 4-[(dimetilamino)fenil]diazenilnom skupinom (Slika 14.) [28–30].

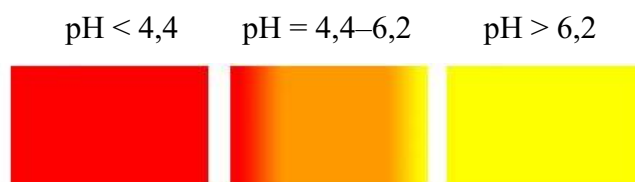


Slika 16. Strukturna formula metil crvenog [29].

Metil crveno vrlo je česti kiselo–bazični indikator za titraciju jakih kiselina jakim bazama. Ovaj indikator je crvene boje u kiseloj sredini pri pH vrijednostima ispod 4,4, žute boje u neutralnoj i bazičnoj sredini pri pH vrijednostima iznad 6,2, a narančaste boje je između pH vrijednosti 4,4 i 6,2 (Slike 17. i 18.).  $pK_a$  ovog spoja iznosi 4,95 na 25 °C [31].

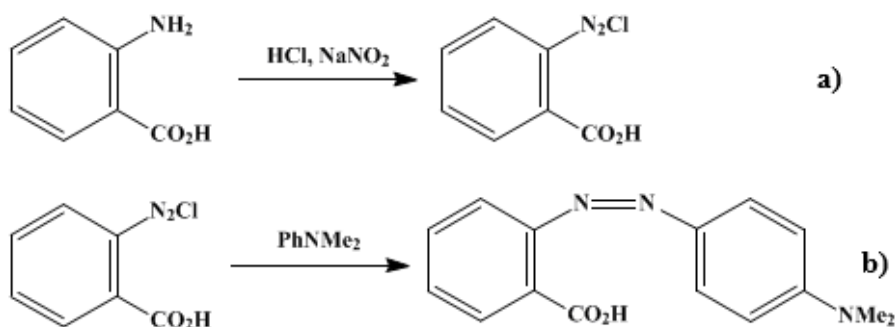


Slika 17. Strukture metil crvenog u kiseloj sredini ( $pH < 4,4$ ) gdje je crvene boje i u bazičnoj sredini ( $pH > 7$ ) gdje je žute boje [32].



Slika 18. Promjena boje metil crvenog pri pH < 4,4, pri pH između 4,4 i 6,2 i pri pH > 6,2 [32].

Kao azo-boja, metil crveno može se pripremiti diazotizacijom antranilne kiseline poznate i kao 2-aminobenzojeva kiselina, nakon čega slijedi reakcija s dimetilanilinom (Slika 19.) [32].



Slika 19. Sinteza metil crvenog: kemijska reakcija diazotizacije 2-aminobenzojeve kiseline (a) i reakcija s dimetilanilinom (b) [32].

Metil crveno se primjenjuje i u mikrobiologiji, na primjer za identificiranje bakterija koje proizvode kiseline mehanizmom mješovite kisele fermentacije glukoze. Ovaj test je pozitivan kada medij za kulturu pocrveni nakon dodavanja metil crvenog jer je pH jednak 4,4 ili ispod 4,4 zbog fermentacije glukoze. Metil crveno test je negativan kada medij za kulturu ostane žut dodatkom metil crvenog, što se događa kada se proizvede manje kiseline fermentacijom glukoze (Slika 20.) [32, 33].



Slika 20. Epruveta s pozitivnim metil crveno testom (A); epruveta s negativnim metil crveno testom (B) [32].

### 2.1.2. Alternativni kiselo–bazni indikatori

Alternativni kiselo–bazni indikatori odnosno prirodni indikatori su vrsta kiselo–baznih indikatora koji su prirodnog podrijetla (biljni pigmenti). U laboratorijskom radu na školskom satu kemije često se radi s konvencionalnim kiselo–baznim indikatorima, najčešće s lakmus papirom, fenolftaleinom i metiloranžom. Međutim, u prirodi se može pronaći mnogo više tvari koje mijenjaju boju ovisno o kiselosti. Alternativni kiselo–bazni indikatori su lako dostupni i jeftini te nisu štetni za zdravlje i okoliš [34,35]. Ispitivanje aktivnosti biljnih pigmenata kao kiselo–baznih indikatora i mogućnost njihove primjene kao zamjene sintetskih indikatora predmet je istraživanja koja su pokazala da se razno cvijeće može upotrijebiti kao kiselo–bazni indikator [36].

Mnogi uobičajeni kućanski proizvodi i vrtne biljke mogu se koristiti kao kiselo–bazni indikatori. Većina biljaka sadrži kemijske spojeve antocijanine osjetljive na pH, što ih čini savršenim za testiranje kiselosti i bazičnosti otopine. Mnogi od ovih alternativnih kiselo–baznih indikatora pokazuju širok raspon boja, kao na primjer crveni kupus, kurkuma, sok od grožđa, kora od repe, curry prah, trešnje, cikla, luk, rajčica i dr. Bazična otopina promijenit će boju repe ili soka od repe u crveno–ljubičastu, dok je sok od trešnje crven u kiseljoj otopini, a u bazičnoj postaje plave do ljubičaste boje. Crveni kupus sadrži mješavinu pigmenata zbog čega pokazuje niz različitih boja ovisno o pH otopine [37].

Neki cvjetovi poput hortenzija mogu odrediti kiselost ili lužnatost tla. Ovi cvjetovi postaju plavi kada je tlo kiselo, ljubičasti kada je tlo neutralno i ružičasti kada je tlo bazično. Intenzitet boje ovisi o količini kiseline ili baze prisutne u tlu. Tlo koje je vrlo kiselo dovodi do tamnoplave boje cvjetova, dok tlo koje je jako bazično daje duboko ružičaste cvjetove.

Kao alternativni kiselo–bazni indikatori mogu poslužiti i indikatori mirisa, odnosno spojevi koji mogu promijeniti svoj miris u ovisnosti o pH medija. Neki primjeri mirisnih

kiselo–baznih indikatora su luk, ekstrakt vanilije, ulje klinčića i dr. Alternativni kiselo–bazni indikatori odnosno prirodni indikatori pokazali su se ekonomičnom, sigurnom i učinkovitom alternativom za konvencionalne kiselo–bazne indikatore [34].

### 2.1.2.1. Biljke kao potencijalni kiselo–bazni indikatori

Mnoge biljke, odnosno biljni pigmenti, mogu poslužiti kao kiselo–bazni indikatori. Među biljnim pigmentima treba izdvojiti klorofil a i b, koji biljkama daju nijanse zelene boje, ksantofili, koji su žute boje, karotenoidi, koji daju nijanse narančaste boje, te flavonoidi i antocijanini koji daju nijanse crvene, plave i ljubičaste boje [38].

Crveni kupus (*Brassica oleracea* L.) sadrži antocijanine koji mijenjaju strukturu a time i boju ovisno o pH medija pa se često koristi kao alternativa konvencionalnim kiselo–baznim indikatorima. U školi i popularno–znanstvenim aktivnostima crveni kupus je često zastupljen zbog širokog spektra boja koje pokazuje ovisno o pH medija. Naime, antocijanini u crvenom kupusu pokazuju crvene ili ružičaste boje u kiselom mediju, plavozelene boje u bazičnim sredinama, a u neutralnom okruženju su ljubičasto–plave boje što je prikazano na Slici 21. [39].

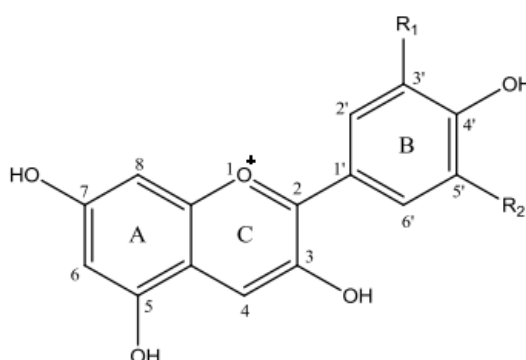


Slika 21. Raspon boja ekstrakta crvenog kupusa pri različitim pH vrijednostima otopina [40].

Antocijanini su najveća skupina fenolnih pigmenata i najvažnija skupina pigmenata u biljkama koji su topljivi u vodi (Slika 22.). Oni su odgovorni za crvenu, ljubičastu i plavu boju koja se nalazi u različitom voću, povrću, žitaricama i cvjetovima. Antocijanini su kemijski spojevi bez mirisa i gotovo bez okusa, a karakteristična fizikalno–kemijska svojstva

im daju jedinstvenu boju i stabilnost. Temperatura, svjetlost, enzimi i pH su među čimbenicima koji mogu utjecati na kemiju antocijanina, a samim time i na njihovu stabilnost i boju [41, 42].

Kemijski, antocijanini su glikozilirani polihidroksi ili polimetoksi derivati 2-fenilbenzopirilijuma, a sadrže dva benzil prstena (A i B). Ovi spojevi obično sadrže jednu glukozidnu jedinicu, ali mnogi antocijanini sadrže dva, tri ili više šećera vezanih na više položaja ili se javljaju kao bočni lanci oligosaharida. Na intenzitet i vrstu boje antocijanina utječe broj hidroksilnih i metoksilnih skupina. Ako je prisutno više hidroksilnih skupina, tada boja prelazi u više plavkastu nijansu; a crvenilo se pojačava ako je prisutno više metoksilnih skupina [41, 42].



Slika 22. Strukturna formula antocijanina [41]

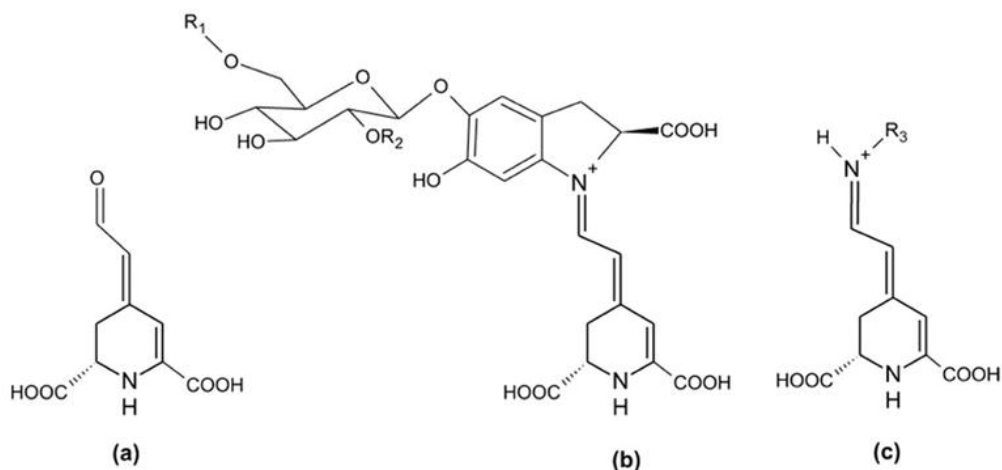
U crvenom kupusu pronađeno je 36 antocijanina, od kojih je šest glavnih antocijanina koji se nalaze u mnogim biljkama (Tablica 1.) [41, 42].

Tablica 1. Osnovna struktura glavnih antocijanina koji se često nalaze u prirodi [42].

Antocijanini	R1	R2	Boja koju proizvodi
pelargonidin	-H	-H	„losos“ narančasta
cijanidin	-OH	-H	purpurno crvena i grimizna
peonidin	-OCH <sub>3</sub>	-H	purpurno crvena
malvidin	-OCH <sub>3</sub>	-OCH <sub>3</sub>	Ljubičasta
petunidin	-OCH <sub>3</sub>	-OH	Ljubičasta
delfinidin	-OH	-OH	ljubičasta, blijedoplava i plava



Cikla (*Beta vulgaris* L.) je glavni izvor betalaina, heterocikličkih spojeva topljivih u vodi. To su dušični pigmenti odgovorni za boje pojedinih vrsta cvijeća, povrća i voća. Betalaini imaju opću strukturu koja sadrži betalamičnu kiselinu, popraćenu supstituentom R1 ili R2, pri čemu supstituenti mogu biti jednostavni vodik ili složeniji supstituenti (Slika 23.). Prema njihovoj kemijskoj strukturi betalaini su podijeljeni u dvije podskupine. Betaksantini su odgovorni za narančasto-žutu boju, a betacijanini su odgovorni za crveno-ljubičastu obojenost, primjerice betanina, empirijske formule  $C_{24}H_{27}N_2O_{13}$ , koji se nalazi u ciklu. Cikla sadrži obje podskupine betalainina. Sadrži otprilike 75–95 % betacijanina i 5–25 % betaksantina [43], a promjene boje koje cikla pokazuje ovisno o pH medija su prikazane na Slici 24.



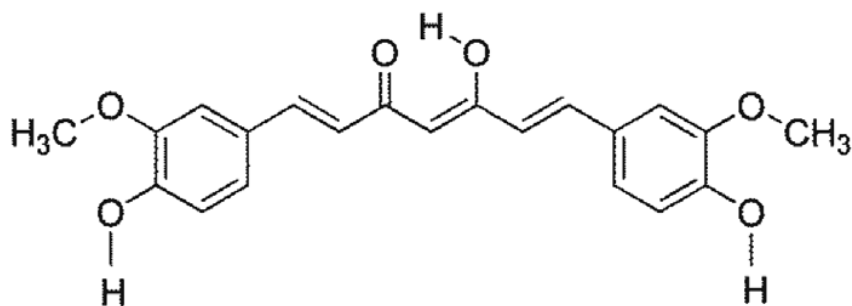
Slika 23. Opća strukturalna formula betalamične kiseline (a), strukturalna formula betacijanina (b) i strukturalna formula betaksantina (c) [43]. Betanin: R1 = R2 = H, R3 = amin ili aminokiselinska skupina.



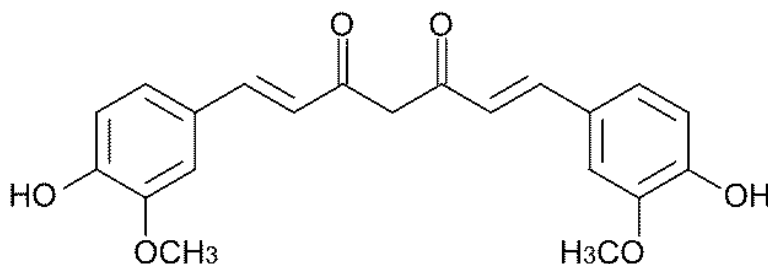
Slika 24. Raspon boja cikle pri različitim pH vrijednostima [34].

Baš kao i mnoge druge prirodne tvari poput soka crvenog kupusa ili cikle, kurkuma (*Curcuma longa* L.) je prirodni odnosno alternativni kiselo–bazni indikator. Dok je za boju soka crvenog kupusa odgovorna široka paleta fitokemikalija, za boju kurkume odgovoran je

žuti pigment kurkumin (1,7bis-(4-hidroksi-3-metoksifenil)-hepta-1,6-dien-3,5-dion) [44]. Godine 1815. kurkumin je prvi put izoliran iz kurkume. To je simetrična molekula, poznata i kao diferuloil metan, kemijske formule  $C_{21}H_{20}O_6$  i molekulske mase 368,38 g/mol [45]. Kurkumin pokazuje žutu boju u kiselom i neutralnom mediju, dok u bazičnoj sredini pokazuje narančastu ili crvenkasto-smeđu boju (Slike 25. i 26.) [46].

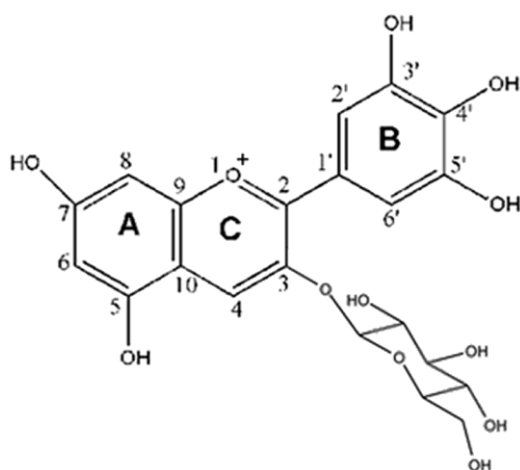


Slika 25. Strukturna formula kurkumina u kiselom mediju [45].



Slika 26. Strukturna formula kurkumina u bazičnom mediju [45].

Jedan od najljepših primjera promjene boje alternativnog kiselo–baznog indikatora je kod hortenzije (*Hydrangea sp. L.*), česte vrtno biljke. Svoju karakterističnu obojenost ima zahvaljujući delfinidin-3-glukozidu (Slika 27.) koji u interakciji s aluminijem iz tla izaziva promjenu boje cvjetova. Kao što je već napisano, boja cvjetova hortenzije izravno ovisi o kiselosti tla. Ako je kiselost tla ispod pH 6,0, cvjetovi će biti svijetloplave boje, a ako je kiselost tla veća od pH 6,8 tada cvjetovi hortenzije poprimaju ružičastu boju (Slika 28.) [47, 48].



Slika 27. Struktura delphinidin-3-glukozida [49].



Slika 28. Cvjetovi hortenzije na bazičnom tlu su ružičaste boje, a na kiselom tlu su plave boje [48].

#### 2.1.2.1.1. Jagodičasto voće

Jagoda (*Fragaria sp. L.*) pripada skupini jagodičastog voća (Slika 29.) te obiluje biljnim spojevima iz skupine antioksidansa, poput elaginske kiseline, procijanidina i elagitanina. Također jagoda sadrži pelargonidin-3-*O*-glukozid, glavni antocijanin koji je zaslužan za karakterističnu crvenu boju jagode [50].



Slika 29. Jagoda (*Fragaria sp. L.*) [51].

Kupina (*Rubus sp. L.*) je biljka porijeklom sa sjevernih područja i pripada skupini jagodičastog voća (Slika 30.) te obiluje spojevima iz skupine antioksidansa, poput antocijanina, flavonola i fenolne kiseline. Najzastupljeniji antocijanin u kupini je cijanidin-3-*O*-glukozid [52].



Slika 30. Kupina (*Rubus sp. L.*) [53].

Malina (*Rubus idaeus L.*) je zeljasta biljka niskog rasta iz porodice ruža (Slika 31.) i pripada skupini jagodičastog voća. Kupina je bogata spojevima iz skupine antioksidansa, poput antocijanina, flavonola, a sadrži visok udio elaginske kiseline. U kupini je iz skupine antocijanina najzastupljeniji cijanidin-3-*O*-soforozid [54, 55].



Slika 31. Malina (*Rubus idaeus L.*) [54].

Bijeli dud (*Morus alba* L.) ili murva je listopadna drvenasta biljka (Slika 32.). Plodovi duda su ispunjeni hranjivim sastojcima važnim za naše tijelo, uključujući željezo, riboflavin, vitamin C, vitamin K, kalij, fosfor i kalcij te sadrže i značajnu količinu prehrambenih vlakana i širok spektar organskih spojeva, uključujući antocijanine, lutein i razne polifenole [56].



Slika 32. Bijeli dud (*Morus alba* L.) [57].

Crna malina (*Rubus idaeus occidentalis* L.) je biljka niskog rasta iz porodice ruža (*Rosaceae*) (Slika 33.) i pripada skupini jagodičastog voća. Crna malina je jedan od najvećih izvora antioksidansa, te je bogata antocijaninima i elaginskom kiselinom [58].



Slika 33. Crna malina (*Rubus idaeus occidentalis* L.) [58].

Tayberry bobica (*Rubus fruticosus* × *Rubus idaeus*) je listopadna trajna biljka grmolikog rasta (Slika 34.) koja je nastala križanjem kupine i maline, a izgledom je više nalik malini. Tayberry je bogat bioflavonoidima, vitaminom C i antioksidansima, a sadrži folnu kiselinu, vlakna i folate [59].



Slika 34. Tayberry bobica (*Rubus fruticosus* × *Rubus idaeus*) [59].

#### 2.1.2.1.2. Bobičasto voće

Crni ribiz (*Ribes nigrum* L.) je listopadni grm čiji je plod crna sjajna bobica i pripada skupini bobičastog voća (Slika 35.). Plod crnog ribiza je bogat vitaminom C, flavonoidima i antocijaninima od kojih su u najvećoj mjeri zastupljeni cijanidin i delphinidin [60].



Slika 35. Crni ribiz (*Ribes nigrum* L.) [60].

Crveni ribiz (*Ribes rubrum* L.) pripada skupini bobičastog voća čiji je plod bobica kiselkastog okusa, jarko crvene boje (Slika 36.). Od kiselina crveni ribiz sadrži limunsku i jabučnu kiselinu, bogat je vitaminom C i vitaminom K, mineralima kao što su kalij, natrij, željezo, fosfor i magnezij, te sadrži veliku količinu antocijanina i proantocijanida [61].



Slika 36. Crveni ribiz (*Ribes rubrum* L.) [61].

Vinova loza (*Vitis vinifera* L.) je biljka penjačica čiji su plodovi okruglaste bobice slatko–kiselog okusa, žute, tamnocrvene ili ljubičaste boje (Slika 37.) i bogata je bioaktivnim spojevima (vitamin C, antocijanini i vlakna) te različitim mineralima (kalcij, magnezij, natrij, kalij, cinkom, manganom, željezom i dr.) [62, 63].



Slika 37. Vinova loza (*Vitis vinifera* L.) [63].

Ogrozd (*Ribes uva-crispa* L.) je listopadni grm čiji plodovi pripadaju bobičastom voću (Slika 38.). Plodovi ogrozda su bogati vitaminom C, šećerom, pektinom i kalcijem. Ogrozd je također bogat antocijaninima i flavanolima [64].



Slika 38. Ogrozd (*Ribes uva-crispa* L.) [64].

Borovnica (*Vaccinium myrtillus* L.) pripada skupini šumskog voća, a raste u bjelogoričnim i crnogoričnim šumama (Slika 39.). Plodovi borovnice su modro-crne boje, a rezultat takve boje je visoka koncentracija antioksidativnih pigmenata (antocijanina) u plodovima. Borovnica je bogat izvor bioflavonoida, kalija, kalcija, folne kiseline, željeza i vitamina C [65].





Slika 39. Borovnica (*Vaccinium myrtillus* L.) [65].

Brusnica (*Vaccinium sp.* L.) je zimzeleni grm čiji je plod okruglasta, sjajno crvena bobica (Slika 40.) te je bogata vitaminima, vlaknima i mineralima (vitamin A, vitamin E, vitamin C, kalcij, željezo, mangan, bakar, kalij i magnezij), bioflavonoidima i drugim antioksidansima [66].



Slika 40. Brusnica (*Vaccinium sp.* L.) [67].

Ružin šipak (*Rosa sp.* L.) je biljka koja pripada rodu ruža (Slika 41.), a plod ružinog šipka je bogat velikom količinom hranjivih nutrijenata. Nadalje, plod ružinog šipka obiluje vitaminima B1, B2, B3, D, P, K i provitaminom A. Ono po čemu se ovaj plod izdvaja je visoka koncentracija vitamina C. Plod ružinog šipka obiluje različitim mineralima (željezo, mangan, natrij, selen, te nešto manje količine magnezija, fosfora, kalija i silicija) te je izvor flavonoida, limunske, jabučne i askorbinske kiseline, tanina i karotenoida [68].





Slika 41. Ružin šipak (*Rosa sp. L.*) [68].

Goji (*Lycium sp. L.*) je listopadni grm čiji je plod visokoenergetska crvenkasta jajasta bobica (Slika 42.). Ova bobica obiluje antioksidansima, karotenoidima (od kojih je u najvećoj mjeri zastupljen  $\beta$ -karoten), esencijalnim masnim kiselinama, aminokiselinama, vitaminom C, željezom i mnogim drugim mineralima [69].



Slika 42. Goji bobica (*Lycium sp. L.*) [69].

Aronija (*Aronia sp. L.*) je listopadni grm čiji su plodovi okrugli, ljubičaste do tamnoplave boje (Slika 43.). Meso ploda aronije ima intenzivnu crvenu boju i slatku do gorku aromu. Aronija pripada kulturama s visokim sadržajem fenola i antocijanina od kojih je najzastupljeniji cijanidin [70].



Slika 43. Aronija (*Aronia sp. L.*) [70].

Drijen (*Cornus mas* L.) je listopadni grm, poznat još pod nazivom drenjina (Slika 44.). Plod je tamnocrvene boje, a sadrži veliku količinu vitamina C, prirodne šećere, pektin, organske kiseline i tanin te sadrži antocijanine od kojih su najzastupljeniji delfinidin, pelargonidin i cijanidin [71].



Slika 44. Drijen (*Cornus mas* L.) [71].

#### 2.1.2.2. Bioaktivni spojevi u biljkama

Phenol-Explorer je prva sveobuhvatna baza podataka o sadržaju polifenola u hrani. Ova baza sadrži preko 35000 vrijednosti koncentracije za oko 500 polifenola u preko 400 prehrambenih proizvoda. Baza je nastala sabiranjem na jednom mjestu preko 60000 originalnih vrijednosti koncentracije polifenola objavljenih u preko 1300 znanstvenih radova. U ovom radu korištena je baza Phenol-Explorer 3.6., u kojoj se nalazi 1451 dodatna vrijednost sadržaja polifenola u odnosu na prehodnu bazu, a u pitanju su lignani. Rezultati pretrage ove baze prikazani su u Tablicama 2.–22. U tablicama su prikazani iznosi srednje vrijednosti (izraženo u mg/100 g), minimuma, maksimuma i standardne devijacije (oznaka SD) za eksperimentalno dobivene vrijednosti. Promatrane su vrijednosti koje su dobivene metodom kromatografije. Za tayberry, bijeli dud, ružin šipak, goji i drijen u ovoj bazi nema unosa.

Tablica 2. Bioaktivni spojevi u svježoj jagodi [72-81]. Legenda: min – minimum, max – maksimum, SD – standardna devijacija. Srednja vrijednost izračena je u mg/100 g.

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	Max	SD
Antocijanini	Cijanidin	0,50	0,50	0,50	0,00
	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"-sukcinil-glukozid)	1,22	0,06	2,40	0,75
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	2,88	0,63	6,67	1,29
	Pelargonidin	4,31	0,00	6,15	2,22
	pelargonidin-3- <i>O</i> -(6"-malonil-glukozid)	4,78	4,78	4,78	0,00
	pelargonidin-3- <i>O</i> -(6"-sukcinil-glukozid)	10,44	0,00	31,31	8,10
	pelargonidin-3- <i>O</i> -arabinozid	0,42	0,23	0,84	0,24
	pelargonidin-3- <i>O</i> -glukozid	47,14	20,28	68,27	14,60
	pelargonidin-3- <i>O</i> -rutinozid	1,32	0,00	5,54	1,75
Flavanoli	(+)-katehin	6,36	1,57	18,74	5,46
	(+)-galokatehin	0,05	0,00	0,12	0,08
	(-)-epikatehin	$7,50 \times 10^{-3}$	0,00	0,02	0,01
	(-)-epikatehin-3- <i>O</i> -galat	0,28	0,00	0,66	0,47
	(-)-epigalokatehin	0,06	0,00	0,15	0,11
	procijanidin dimer B1	0,62	0,62	0,62	0,00
	procijanidin dimer B2	0,03	0,00	0,04	0,03
	procijanidin dimer B3	1,10	1,10	1,10	0,00
	procijanidin dimer B4	0,13	0,13	0,13	0,00
	procijanidin trimer EEC	0,50	0,50	0,50	0,00
Flavonoli	kaempferol-3- <i>O</i> -glukozid	0,32	0,08	0,75	0,18
	kaempferol-3- <i>O</i> -glukuronid	0,20	0,03	0,61	0,13
	Morin	0,06	0,06	0,06	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukuronid	1,74	1,74	1,74	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
Hidroksibenzojeve kiseline	4-hidroksibenzojeva kiselina-4- <i>O</i> -glukozid	1,53	0,60	3,40	1,62
	5- <i>O</i> -galoil kininska kiselina	0,05	0,00	0,10	0,07
	elaginska kiselina	1,24	0,00	4,10	0,80
	elaginska kiselina glukozid	2,85	1,49	6,03	1,12
Hidroksicimetne kiseline	5-kafeoil kininska kiselina	1,93	0,00	2,90	1,67
	kafeoil glukoza	0,10	0,00	0,20	0,14
	cimetna kiselina	0,22	0,00	1,08	0,76
	feruloil glukoza	0,10	0,00	0,20	0,14
	<i>p</i> -kumarinska kiselina	0,21	0,00	1,24	0,72
	<i>p</i> -kumarinska kiselina-4- <i>O</i> -glukozid	0,15	0,00	0,60	0,30
	<i>p</i> -kumaroil glukoza	4,36	0,37	8,74	2,24
<b>Stilbeni</b>					
Stilbeni	resveratrol	0,35	0,35	0,35	0,00

Tablica 3. Bioaktivni spojevi u džemu od jagode [75, 82].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,07	0,00	0,19	0,10
	pelargonidin-3- <i>O</i> -glukozid	1,00	0,39	1,90	0,73
	pelargonidin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,16	0,00	0,32	0,16
Flavanoli	(+)-katehin	0,90	0,90	0,90	0,00

Tablica 4. Bioaktivni spojevi u svježoj kupini [75, 76, 78, 83, 84].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	Max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"-dioksasil-glukozid)	10,97	3,57	19,34	5,63
	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"-malonil-glukozid)	4,30	2,38	5,50	1,14
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	138,72	85,21	190,62	37,07
	cijanidin-3- <i>O</i> -rutinozid	8,86	1,34	13,81	5,03
	cijanidin-3- <i>O</i> -ksilozid	9,74	4,60	17,81	5,29
Flavanoli	(+)-katehin	0,72	0,66	0,79	0,09
	(-)-epikatehin	11,48	2,67	18,08	10,90
	(-)-epigalokatehin	0,15	0,00	0,36	0,25
	procijanidin dimer B1	0,23	0,23	0,23	0,00
	procijanidin dimer B2	0,83	0,83	0,83	0,00
	procijanidin dimer B3	0,33	0,33	0,33	0,00
	procijanidin trimer EEC	0,06	0,06	0,06	0,00
	prodelfinidin dimer B3	0,07	0,07	0,07	0,00
Flavonoli	kvercetin-3- <i>O</i> -galaktozid	4,10	1,20	8,04	2,48
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	0,67	0,00	6,00	2,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozil-ksilozid	0,46	0,00	0,93	0,38
	kvercetin-3- <i>O</i> -rutinozid	3,89	0,00	24,00	8,37
	kvercetin-3- <i>O</i> -ksilozid	1,28	0,00	2,51	0,83
	kvercetin-3- <i>O</i> -ksilozil-glukuronid	2,37	0,62	5,69	1,95
<b>Fenolne kiseline</b>					
Hidroksibenzojeve kiseline	4-hidroksibenzojeva kiselina-4- <i>O</i> -glukozid	1,13	0,50	2,10	0,85
	elaginska kiselina	43,67	20,00	69,00	24,54
	galna kiselina	4,67	2,00	9,00	3,79
	galoil glukoza	0,27	0,20	0,30	0,06
	protokatehuinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,43	0,20	0,60	0,21
Hidroksicimetne kiseline	3-kafeoil kininska kiselina	4,53	4,10	5,20	0,59
	3-feruloil kininska kiselina	0,30	0,20	0,40	0,10
	3- <i>p</i> -kumaroil kininska kiselina	0,37	0,20	0,50	0,15
	4-kafeoil kininska kiselina	0,10	0,10	0,10	0,00
	5-kafeoil kininska kiselina	0,10	0,00	0,30	0,15
	kofeil glukoza	0,50	0,30	0,60	0,17
	feruloil glukoza	0,43	0,20	0,60	0,21
	<i>p</i> -kumarinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,27	0,20	0,40	0,12
	<i>p</i> -kumaroil glukoza	0,67	0,40	1,10	0,38

Tablica 5. Bioaktivni spojevi u džemu od kupine [82].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	9,36	0,19	21,44	10,92

Tablica 6. Bioaktivni spojevi u svježoj malini [72, 75, 79, 84-88].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin	0,53	0,00	1,30	0,68
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	14,89	0,00	30,50	6,78
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozil-rutinozid	7,06	0,00	30,86	8,24
	cijanidin-3- <i>O</i> -rutinozid	5,20	0,00	28,40	6,68
	cijanidin-3- <i>O</i> -soforozid	37,61	0,00	106,23	26,25
	delfinidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,21	0,00	2,98	0,76
	malvidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,62	0,00	3,99	1,38
	pelargonidin-3- <i>O</i> -glukozid	1,65	0,00	4,87	1,86
	pelargonidin-3- <i>O</i> -glukozil-rutinozid	0,82	0,00	4,22	1,55
	pelargonidin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,42	0,00	0,85	0,43
	pelargonidin-3- <i>O</i> -soforozid	3,46	0,00	11,30	3,28
Flavanoli	(+)-katehin	0,58	0,00	0,97	0,46
	(-)-epikatehin	5,05	0,30	8,26	3,76
	procijanidin dimer B2	0,10	0,00	0,30	0,17
Flavonoli	kaempferol	$2,14 \times 10^{-3}$	0,00	$2,86 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-3}$
	kaempferol-3- <i>O</i> -glukozid	1,03	1,03	1,03	0,00
	kvercetin	0,02	0,00	0,03	0,02
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	3,58	0,00	7,02	3,08
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukuronid	0,63	0,15	0,94	0,42
	kvercetin 3- <i>O</i> -rutinozid	11,0	11,00	11,00	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
Hidroksibenzojeve kiseline	elaginska kiselina	2,12	0,00	22,00	8,35
	elaginska kiselina acetil-arabinozid	0,20	0,20	0,20	0,00
	elaginska kiselina acetil-ksilozid	0,36	0,36	0,36	0,00
	arabinozid elaginske kiseline	2,27	2,27	2,27	0,00
	lambertianin C	30,84	30,84	30,84	0,00
	sanguin H-6	76,10	76,10	76,10	0,00
Hidroksicimetne kiseline	5-kafeoil kiniska kiselina	0,57	0,00	1,50	0,61
	<i>p</i> -kumarinska kiselina	$2,30 \times 10^{-4}$	0,00	$1,15 \times 10^{-3}$	$4,69 \times 10^{-4}$
	<i>p</i> -kumarinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,32	0,19	0,39	0,12

Tablica 7. Bioaktivni spojevi u džemu od maline [82, 88].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,50	0,00	1,99	1,00
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozil-rutinozid	0,37	0,00	0,76	0,43
	cijanidin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,28	0,00	1,11	0,56
	cijanidin-3- <i>O</i> -soforozid	0,93	0,02	1,80	0,99
Flavonoli	kaempferol-3- <i>O</i> -glukozid	0,37	0,37	0,37	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	2,97	2,97	2,97	0,00
Fenolne kiseline					
Hidroksibenzojeve kiseline	elaginska kiselina	1,14	1,14	1,14	0,00
	elaginska kiselina acetil-arabinozid	0,08	0,08	0,08	0,00
	elaginska kiselina acetil-ksilozid	0,13	0,13	0,13	0,00
	elaginska kiselina arabinozid	1,00	1,00	1,00	0,00

Tablica 8. Bioaktivni spojevi u soku od maline (čisti sok) [89, 90].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Flavonoli	kaempferol	0,04	0,00	0,86	0,17
	kaempferol-3- <i>O</i> -glukozid	$1,00 \times 10^{-2}$	0,00	0,26	0,05
	kaempferol-3- <i>O</i> -glukuronid	0,21	0,00	1,30	0,35
	kvercetin	0,10	0,00	0,78	0,20
	kvercetin-3- <i>O</i> -galaktozid	0,20	0,00	0,98	0,34
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	0,28	0,00	1,92	0,48
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukuronid	6,18	0,12	10,70	2,81
	kvercetin-3- <i>O</i> -soforozid	2,20	0,00	12,30	3,21
	kvercetin-3- <i>O</i> -ksilozil-glukuronid	0,24	0,00	0,98	0,27
Fenolne kiseline					
Hidroksibenzojeve kiseline	elaginska kiselina	0,84	0,00	4,55	1,10

Tablica 9. Bioaktivni spojevi u svježoj crnoj malini [84].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Flavonoli	kvercetin-3- <i>O</i> -rutinozid	19,00	19,00	19,00	0,00
Fenolne kiseline					
Hidroksibenzojeve kiseline	elaginska kiselina	38,00	38,00	38,00	0,00

Tablica 10. Bioaktivni spojevi u svježem crnom grožđu [75, 76, 83, 91-94].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	0,10	0,00	0,26	0,11
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	1,08	0,00	6,63	1,54
	delfinidin-3- <i>O</i> -(6"-acetil-glukozid)	0,54	0,54	0,54	0,00
	delfinidin-3- <i>O</i> -glukozid	2,63	0,00	10,93	2,66
	malvidin-3- <i>O</i> -(6"-acetil-glukozid)	9,66	9,66	9,66	0,00
	malvidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	9,91	0,00	38,99	10,57
	malvidin-3- <i>O</i> -glukozid	39,23	0,88	120,26	30,49
	peonidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	0,34	0,00	0,59	0,26
	peonidin-3- <i>O</i> -glukozid	5,80	2,13	19,27	3,97
	petunidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	0,05	0,05	0,05	0,00
	petunidin-3- <i>O</i> -glukozid	2,76	0,00	9,50	2,49
Flavanoli	(+)-katehin	5,46	0,82	8,94	5,74
	(-)-epikatehin	5,24	0,70	8,64	5,61
	(-)-epikatehin-3- <i>O</i> -galat	1,68	0,17	2,81	1,87
	(-)-epigalokatehin	0,03	0,00	0,08	0,06
	procijanidin dimer B1	0,43	0,43	0,43	0,00
	procijanidin dimer B2	0,36	0,36	0,36	0,00
	procijanidin dimer B3	0,12	0,12	0,12	0,00
	procijanidin dimer B4	0,33	0,33	0,33	0,00
	procijanidin trimer C1	0,38	0,38	0,38	0,00
Flavonoli	kvercetin-3- <i>O</i> -galaktozid	0,93	0,93	0,93	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukuronid	2,15	0,50	3,42	1,21
<b>Fenolne kiseline</b>					
Hidroksicimetne kiseline	kafeoil vinska kiselina	1,13	0,52	2,86	1,15
	<i>p</i> -kumaroil vinska kiselina	0,56	0,21	1,46	0,60
<b>Stilbeni</b>					
Stilbeni	piceatanol	$5,20 \times 10^{-3}$	$5,20 \times 10^{-3}$	$5,20 \times 10^{-3}$	0,00
	resveratrol	0,15	0,02	0,58	0,20
	resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	0,03	0,00	0,13	0,06
	trans-resveratrol	0,15	0,02	0,58	0,20
	trans-resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	$1,00 \times 10^{-2}$	0,01	0,01	0,00

Tablica 11. Bioaktivni spojevi u crnom vinu [76, 94-150].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"-acetil-glukozid)	0,08	0,05	0,29	0,09
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,21	$9,11 \times 10^{-3}$	0,90	0,36
	delfinidin-3- <i>O</i> -(6"-acetil-glukozid)	0,42	0,06	1,24	0,39
	delfinidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	0,18	0,01	0,27	0,09
	delfinidin-3- <i>O</i> -glukozid	1,06	0,17	2,50	0,65
	malvidin-3- <i>O</i> -(6"-acetil-glukozid)	3,52	0,48	11,29	2,51
	malvidin-3- <i>O</i> -(6"-kafeoil-glukozid)	0,18	0,18	0,18	0,00
	malvidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	1,95	0,58	4,47	1,07
	malvidin-3- <i>O</i> -glukozid	9,97	0,00	38,20	5,48
	peonidin-3- <i>O</i> -(6"-acetil-glukozid)	0,47	0,08	1,10	0,35
	peonidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	0,52	0,02	1,02	0,40
	peonidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,82	0,15	5,97	1,26
	petunidin-3- <i>O</i> -(6"-acetil-glukozid)	0,57	0,07	1,58	0,43
	petunidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	0,39	0,01	1,16	0,38
	petunidin-3- <i>O</i> -glukozid	1,40	0,26	3,44	0,75
	pigment A	0,07	0,03	0,13	0,04
	pinotin A	0,22	0,01	1,79	0,37
	vitisin A	0,31	0,15	0,98	0,21
Dihidroflavonoli	dihidromiricetin-3- <i>O</i> -ramnozid	4,47	4,47	4,47	0,00
	dihidrokvercetin-3- <i>O</i> -ramnozid	0,97	0,11	1,51	0,43
Flavanoli	(+)-katehin	6,81	1,38	39,00	6,24
	(+)-galokatehin	0,08	0,00	0,42	0,12
	(-)-epikatehin	3,78	0,00	16,50	3,15
	(-)-epikatehin-3- <i>O</i> -galat	0,77	0,00	0,93	0,35
	(-)-epigalokatehin	0,06	0,00	0,28	0,08
	procijanidin dimer B1	4,14	2,15	14,00	3,31
	procijanidin dimer B2	4,97	0,43	9,00	2,57
	procijanidin dimer B3	9,47	0,00	11,96	4,29
	procijanidin dimer B4	7,29	0,08	11,30	3,78
	procijanidin dimer B7	0,27	0,27	0,27	0,00
	procijanidin trimer C1	2,56	0,22	2,63	1,70
	procijanidin trimer T2	6,71	6,71	6,71	0,00
prodelfinidin dimer B3	0,11	0,11	0,11	0,00	
Flavanoni	hesperetin	0,05	0,05	0,06	$7,07 \times 10^{-3}$
	naringenin	0,05	0,04	0,07	0,02
	naringin	0,75	0,69	0,81	0,08
Flavonoli	izorhamnetin	0,33	$6,32 \times 10^{-3}$	0,65	0,14
	izorhamnetin-3- <i>O</i> -glukozid	0,26	0,16	0,51	0,19
	kaempferol	0,23	0,00	0,36	0,08
	kaempferol-3- <i>O</i> -glukozid	0,79	0,57	1,08	0,26
	miricetin	0,83	0,00	1,79	0,35
	kvercetin	0,83	0,00	3,16	0,50
	kvercetin-3- <i>O</i> -arabinozid	0,49	0,44	0,54	0,07
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	1,14	0,79	2,32	0,66
kvercetin-3- <i>O</i> -ramnozid	1,15	0,00	1,82	0,54	



	kvercetin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,81	0,00	3,17	0,76
<b>Fenolne kiseline</b>					
<b>Hidroksibenzojeve kiseline</b>	2,3-dihidroksibenzojeva kiselina	0,08	0,00	0,64	0,19
	2-hidroksibenzojeva kiselina	0,04	0,00	0,09	0,03
	4-hidroksibenzojeva kiselina	0,55	0,00	2,18	0,77
	galna kiselina	3,59	0,00	12,60	2,71
	etil-ester galne kiseline	1,53	1,37	1,70	0,18
	gentizična kiselina	0,46	0,00	0,80	0,27
	protokatehuinska kiselina	0,17	0,00	0,96	0,22
	siringična kiselina	0,27	0,00	2,33	0,49
	vanilinska kiselina	0,32	0,00	0,75	0,19
<b>Hidroksicimetne kiseline</b>	2,5-di- <i>S</i> -glutacionil kaftarična kiselina	2,86	1,12	4,71	1,24
	kavena kiselina	1,88	0,00	7,70	1,75
	kafeoil vinska kiselina	3,35	0,14	17,94	3,79
	ferulična kiselina	0,08	0,00	1,04	0,22
	<i>o</i> -kumarinska kiselina	0,03	0,02	0,04	1×10 <sup>-2</sup>
	<i>p</i> -kumarinska kiselina	0,55	0,00	4,00	0,54
	<i>p</i> -kumaroil vinska kiselina	1,18	0,21	1,79	0,37
	sinapinska kiselina	0,07	0,00	0,54	0,18
<b>Hidroksifeniloctena kiselina</b>	4-hidroksifeniloctena kiselina	0,16	0,11	0,21	0,07
<b>Stilbeni</b>					
<b>Stilbeni</b>	<i>cis</i> -resveratrol	0,13	0,00	2,32	0,26
	<i>cis</i> -resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	0,22	0,00	1,48	0,28
	<i>d</i> -viniferin	0,64	0,00	2,24	0,80
	<i>e</i> -viniferin	0,15	0,01	0,43	0,12
	palidol	0,20	0,00	0,25	0,11
	piceatanol	0,58	0,00	2,57	0,99
	piceatanol 3- <i>O</i> -glukozid	0,95	0,63	1,31	0,28
	resveratrol	0,27	0,00	2,78	0,31
	resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	0,62	0,00	4,40	0,65
	<i>trans</i> -resveratrol	0,18	0,00	1,05	0,17
	<i>trans</i> -resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	0,41	0,00	2,92	0,51
<b>Ostali polifenoli</b>					
<b>Hidroksibenzaldehidi</b>	aldehid protokatehuinske kiseline	0,05	0,00	0,11	0,03
	aldehid siringične kiseline	0,66	0,00	4,45	1,19
<b>Tirozoli</b>	hidroksitirozol	0,53	0,05	0,96	0,46
	tirozol	3,12	0,59	4,47	1,71

Tablica 12. Bioaktivni spojevi u *Rose* vinu [76, 79, 104, 107, 108, 129, 139, 151].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
<b>Dihidroflavonoli</b>	dihidrokvercetin-3- <i>O</i> -ramnozid	0,38	0,38	0,38	0,00
<b>Flavanoli</b>	(+)-katehin	0,91	0,35	1,06	0,36
	(+)-galokatehin	0,18	0,18	0,18	0,00
	(-)-epikatehin	0,55	0,33	0,65	0,17
	(-)-epigalokatehin	0,07	0,07	0,07	0,00
	procijanidin dimer B1	0,16	0,00	0,57	0,40
	procijanidin dimer B2	0,06	0,00	0,21	0,15
	procijanidin dimer B4	$5,45 \times 10^{-3}$	0,00	0,02	0,01
	procijanidin dimer B7	0,06	0,06	0,06	0,00
	procijanidin trimer C1	$2,73 \times 10^{-3}$	0,00	0,01	$7,07 \times 10^{-3}$
<b>Fenolne kiseline</b>					
<b>Hidroksibenzojeve kiseline</b>	2-hidroksibenzojeva kiselina	0,03	0,03	0,03	0,00
	4-hidroksibenzojeva kiselina	0,06	0,06	0,07	$7,07 \times 10^{-3}$
	galna kiselina	1,04	0,94	1,43	0,35
	gentizična kiselina	0,02	0,02	0,02	0,00
	protokatehuinska kiselina	0,26	0,24	0,26	0,01
	siringična acid	0,14	0,14	0,15	$7,07 \times 10^{-3}$
	vanilinska kiselina	$6 \times 10^{-3}$	0,00	0,03	0,02
<b>Hidroksicimetne kiseline</b>	3-kafeoil kininska kiselina	4,08	4,08	4,08	0,00
	kavena kiselina	0,33	0,29	0,50	0,15
	<i>o</i> -kumarinska kiselina	0,02	0,00	0,08	0,06
	<i>p</i> -kumarinska kiselina	0,13	0,10	0,27	0,12
	sinapinska kiselina	0,05	0,05	0,05	0,00
<b>Stilbeni</b>					
<b>Stilbeni</b>	<i>cis</i> -resveratrol	0,05	0,00	0,15	0,04
	<i>cis</i> -resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	0,12	0,01	0,32	0,09
	palidol	0,03	0,03	0,03	0,00
	resveratrol	0,12	$5,00 \times 10^{-3}$	0,29	0,08
	resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	0,20	0,03	0,38	0,12
	<i>trans</i> -resveratrol	0,06	$5,00 \times 10^{-3}$	0,17	0,04
	<i>trans</i> -resveratrol-3- <i>O</i> -glukozid	0,08	0,01	0,15	0,05
<b>Ostali polifenoli</b>					
<b>Tirozoli</b>	hidroksitirozol	0,61	0,61	0,61	0,00
	tirozol	0,50	0,50	0,50	0,00

Tablica 13. Bioaktivni spojevi u sušenom grožđu (groždicama) [152].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
<b>Flavonoli</b>	kvercetin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,51	0,35	0,65	0,15
<b>Fenolne kiseline</b>					
<b>Hidroksibenzojeve kiseline</b>	protokatehuinska kiselina	0,32	0,00	0,68	0,34
<b>Hidroksicimetne kiseline</b>	2- <i>S</i> -glutacionil kavena kiselina	0,47	0,00	1,41	0,81
	kafeoil vinska kiselina	4,96	3,49	7,42	2,14

	<i>p</i> -kumaroil vinska kiselina	1,22	0,59	2,40	1,02
	<i>trans</i> -kafeoil vinska kiselina	4,96	3,49	7,42	2,14
	<i>trans-p</i> -kumaroil vinska kiselina	1,22	0,59	2,40	1,02

Tablica 14. Bioaktivni spojevi u svježem crnom ribizu [75, 77, 78, 153,154].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	1,49	0,00	5,87	2,23
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	25,07	12,48	51,78	13,34
	cijanidin-3- <i>O</i> -rutinozid	160,78	93,34	241,10	52,33
	delfinidin-3- <i>O</i> -glukozid	86,68	54,20	113,21	24,33
	delfinidin-3- <i>O</i> -rutinozid	304,91	197,41	409,19	78,70
	pelargonidin-3- <i>O</i> -rutinozid	2,48	1,68	2,96	0,62
	peonidin-3- <i>O</i> -rutinozid	1,27	0,52	2,19	0,62
	petunidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	5,45	1,74	18,80	6,62
Flavanoli	petunidin 3- <i>O</i> -rutinozid	4,09	2,42	5,41	1,16
	(+)-katehin	0,70	0,70	0,70	0,00
Flavanoli	(-)-epikatehin	0,47	0,47	0,47	0,00
	kaempferol-3- <i>O</i> -glukozid	0,57	0,57	0,57	0,00
Flavonoli	miricetin-3- <i>O</i> -glukozid	2,71	2,71	2,71	0,00
	miricetin-3- <i>O</i> -rutinozid	3,14	3,14	3,14	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	2,61	2,61	2,61	0,00
	kvercetin 3- <i>O</i> -rutinozid	4,65	4,65	4,65	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
Hidroksibenzojeve kiseline	4-hidroksibenzojeva kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,73	0,40	1,30	0,49
	5- <i>O</i> -galoil kininska kiselina	0,07	0,00	0,10	0,06
	4- <i>O</i> -glukozid galne kiseline	0,10	0,00	0,30	0,17
	galoil glukoza	0,53	0,40	0,70	0,15
	protokatehuinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,07	0,00	0,20	0,12
Hidroksicimetne kiseline	3-kafeoil kininska kiselina	4,30	3,80	4,80	0,50
	3-feruloil kininska kiselina	0,07	0,00	0,10	0,06
	3- <i>p</i> -kumaroil kininska kiselina	1,73	1,30	2,10	0,40
	4-kafeoil kininska kiselina	0,37	0,30	0,50	0,12
	4-feruloil kininska kiselina	0,23	0,20	0,30	0,06
	4- <i>p</i> -kumaroil kininska kiselina	0,13	0,10	0,20	0,06
	5-kafeoil kininska kiselina	0,13	0,00	0,20	0,10
	5-feruloil kininska kiselina	0,13	0,10	0,20	0,06
	kavena kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,20	0,20	0,20	0,00
	kofeoil glukoza	2,79	1,90	4,18	1,04
	ferulična kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,27	0,20	0,30	0,06
	feruloil glukoza	1,30	1,10	1,50	0,20
	<i>p</i> -kumarinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,51	0,30	0,70	0,17
<i>p</i> -kumaroil glukoza	1,13	1,00	1,40	0,23	

Tablica 15. Bioaktivni spojevi u džemu od crnog ribiza [82].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,18	0,18	0,18	0,00
	delfinidin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,25	0,25	0,25	0,00

Tablica 16. Bioaktivni spojevi u vinu crnog ribiza [155].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Flavonoli	kaempferol	0,05	0,05	0,05	0,00
	miricetin	0,15	0,15	0,15	0,00
	kvercetin	0,24	0,24	0,24	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	0,48	0,48	0,48	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,45	0,45	0,45	0,00

Tablica 17. Bioaktivni spojevi u svježem crvenom ribizu [75-78, 153, 154].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	3,37	0,16	6,57	4,53
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozil-rutinozid	4,23	0,82	7,64	4,82
	cijanidin-3- <i>O</i> -rutinozid	2,10	2,07	2,13	0,04
	cijanidin-3- <i>O</i> -sambubiozid	9,47	4,38	14,57	7,21
	cijanidin-3- <i>O</i> -soforozid	2,62	0,14	5,10	3,51
	cijanidin-3- <i>O</i> -ksilozil-rutinozid	11,22	11,22	11,22	0,00
	delfinidin-3- <i>O</i> -sambubiozid	0,12	0,12	0,12	0,00
Flavanoli	(+)-katehin	1,27	1,22	1,33	0,08
	(+)-galokatehin	1,28	1,22	1,35	0,09
	(-)-epikatehin	0,08	0,00	0,19	0,13
	(-)-epigalokatehin	0,15	0,00	0,36	0,25
	procijanidin dimer B3	0,20	0,20	0,20	0,00
	prodelfinidin dimer B3	1,70	1,70	1,70	0,00
Flavonoli	miricetin 3- <i>O</i> -glukozid	0,06	0,06	0,06	0,00
	kvercetin 3- <i>O</i> -glukozid	0,27	0,27	0,27	0,00
	kvercetin 3- <i>O</i> -rutinozid	0,44	0,44	0,44	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
Hidroksibenzojeve kiseline	4-hidroksibenzojeva kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	1,03	0,90	1,30	0,23
	protokatehuinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,07	0,00	0,20	0,12
Hidroksicimetne kiseline	3- <i>p</i> -kumaroil kininska kiselina	0,03	0,00	0,10	0,06
	5-kafeoil kininska kiselina	0,10	0,10	0,10	0,00
	5-feruloil kininska kiselina	0,17	0,10	0,20	0,06
	kavena kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,13	0,00	0,20	0,12
	kofeil glukoza	0,33	0,20	0,50	0,15
	cimetna kiselina	0,10	0,10	0,10	0,00
	<i>p</i> -kumarinska kiselina	0,18	0,18	0,18	0,00

	<i>p</i> -kumarinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,79	0,37	1,30	0,43
	<i>p</i> -kumaroil glukoza	0,07	0,00	0,20	0,12
<b>Stilbeni</b>					
<b>Stilbeni</b>	resveratrol	1,57	1,57	1,57	0,00

Tablica 18. Bioaktivni spojevi u svježem ogrozdu [75, 78, 153].

<b>Flavonoidi</b>		<b>srednja vrijednost</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>SD</b>
<b>Antocijanini</b>	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"-kafeoil-glukozid)	0,23	0,00	0,61	0,29
	cijanidin-3- <i>O</i> -(6"- <i>p</i> -kumaroil-glukozid)	1,18	0,00	2,99	1,39
	cijanidin-3- <i>O</i> -galaktozid	$5 \times 10^{-3}$	0,00	0,02	$1 \times 10^{-2}$
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	2,95	0,04	5,42	2,63
	cijanidin-3- <i>O</i> -rutinozid	2,03	0,00	4,45	2,09
	peonidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,06	0,00	0,13	0,05
	peonidin-3- <i>O</i> -rutinozid	0,10	0,00	0,19	0,09
<b>Flavanoli</b>	(+)-katehin	1,67	1,67	1,67	0,00
	(+)-galokatehin	0,44	0,44	0,44	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
<b>Hidroksibenzojeve kiseline</b>	4-hidroksibenzojeva kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	1,15	0,90	1,40	0,35
	protokatehuinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,45	0,20	0,70	0,35
<b>Hidroksicimetne kiseline</b>	3-kafeoil kininska kiselina	0,35	0,30	0,40	0,07
	3-feruloil kininska kiselina	0,10	0,10	0,10	0,00
	3- <i>p</i> -kumaroil kininska kiselina	0,05	0,00	0,10	0,07
	kavena kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,20	0,20	0,20	0,00
	kofeil glukoza	0,90	0,50	1,30	0,57
	ferulična kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,30	0,20	0,40	0,14
	feruloil glukoza	0,30	0,00	0,60	0,42
	<i>p</i> -kumarinska kiselina 4- <i>O</i> -glukozid	0,50	0,40	0,60	0,14
	<i>p</i> -kumaroil glukoza	0,70	0,70	0,70	0,00

Tablica 19. Bioaktivni spojevi u svježoj borovnici [77].

<b>Flavonoidi</b>		<b>srednja vrijednost</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>SD</b>
<b>Flavonoli</b>	kvercetin	1,27	1,27	1,27	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
<b>Hidroksicimetne kiseline</b>	ferulična kiselina	2,30	2,30	2,30	0,00
	<i>p</i> -kumarinska kiselina	0,60	0,60	0,60	0,00
<b>Stilbeni</b>					
<b>Stilbeni</b>	resveratrol	0,67	0,67	0,67	0,00

Tablica 20. Bioaktivni spojevi u svježoj brusnici (američka) [156, 157].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -arabinozid	4,47	4,47	4,47	0,00
	cijanidin-3- <i>O</i> -galaktozid	8,89	8,89	8,89	0,00
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	0,74	0,74	0,74	0,00
	peonidin-3- <i>O</i> -arabinozid	9,61	9,61	9,61	0,00
	peonidin-3- <i>O</i> -galaktozid	22,02	22,02	22,02	0,00
	peonidin-3- <i>O</i> -glukozid	4,16	4,16	4,16	0,00
Flavonoli	kaempfol-3- <i>O</i> -glukozid	0,87	0,87	0,87	0,00
	miricetin-3- <i>O</i> -arabinozid	5,30	5,30	5,30	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -arabinozid	4,94	4,94	4,94	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -galaktozid	10,81	10,81	10,81	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -ramnozid	6,17	6,17	6,17	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
Hidroksibenzojeve kiseline	2,4-dihidroksibenzojeva kiselina	0,80	0,80	0,80	0,00
	3-hidroksibenzojeva kiselina	0,41	0,41	0,41	0,00
	4-hidroksibenzojeva kiselina	0,42	0,42	0,42	0,00
	benzojeva kiselina	48,10	48,10	48,10	0,00
	vanilinska kiselina	2,81	0,69	4,93	3,00
Hidroksicimetne kiseline	kavena kiselina	2,31	0,38	4,25	2,74
	cimetna kiselina	0,16	0,16	0,16	0,00
	ferulična kiselina	0,81	0,81	0,81	0,00
	<i>p</i> -kumarinska kiselina	1,08	0,00	2,16	1,53

Tablica 21. Bioaktivni spojevi u džemu od brusnice [82].

Flavonoidi		srednja vrijednost	min	max	SD
Antocijanini	cijanidin-3- <i>O</i> -arabinozid	0,67	0,59	0,76	0,12
	cijanidin-3- <i>O</i> -galaktozid	1,03	0,83	1,23	0,28
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	1,58	1,42	1,74	0,23
	delfinidin-3- <i>O</i> -arabinozid	1,11	0,95	1,28	0,23
	delfinidin-3- <i>O</i> -galaktozid	2,03	1,75	2,32	0,40
	delfinidin-3- <i>O</i> -glukozid	2,24	2,04	2,43	0,28
	malvidin-3- <i>O</i> -arabinozid	1,25	1,22	1,27	0,04
	malvidin-3- <i>O</i> -glukozid	3,14	3,07	3,21	0,10
	peonidin-3- <i>O</i> -galaktozid	0,49	0,47	0,52	0,04
	peonidin-3- <i>O</i> -glukozid	2,50	2,21	2,79	0,41
	petunidin-3- <i>O</i> -arabinozid	0,72	0,66	0,78	0,08
	petunidin-3- <i>O</i> -galaktozid	1,05	0,89	1,20	0,22
	petunidin-3- <i>O</i> -glukozid	1,96	1,86	2,07	0,15

Tablica 22. Bioaktivni spojevi u svježoj aroniji [153, 156].

<b>Flavonoidi</b>		<b>srednja vrijednost</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>SD</b>
<b>Antocijanini</b>	cijanidin-3- <i>O</i> -arabinozid	252,76	132,91	372,62	169,50
	cijanidin-3- <i>O</i> -galaktozid	557,67	125,63	989,70	610,99
	cijanidin-3- <i>O</i> -glukozid	19,64	1,69	37,60	25,39
	cijanidin-3- <i>O</i> -ksilozid	45,90	43,76	48,05	3,03
	pelargonidin-3- <i>O</i> -arabinozid	2,14	2,14	2,14	0,00
<b>Flavonoli</b>	kvercetin-3- <i>O</i> -galaktozid	46,46	46,46	46,46	0,00
	kvercetin-3- <i>O</i> -glukozid	41,95	41,95	41,95	0,00
<b>Fenolne kiseline</b>					
<b>Hidroksicimetne kiseline</b>	kavena kiselina	141,14	141,14	141,14	0,00

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Ispitivani biljni materijal

U ovom radu korišten je svježi i obrađeni biljni materijal koji se botanički može klasificirati kao jagodičasto ili kao bobičasto voće. Prema botaničkoj podjeli, u jagodičasto se voće ubrajaju jagoda (*Fragaria sp. L.*), kupina (*Rubus sp. L.*), malina (*Rubus idaeus L.*), bijeli dud (*Morus alba L.*), dok se u bobičasto voće ubrajaju vinova loza (*Vitis vinifera L.*), ribiz (crni, *Ribes nigrum L.*, i crveni, *Ribes rubrum L.*), ogrozd (*Ribes uva-crispa L.*), borovnice (*Vaccinium myrtillus L.*), brusnice (*Vaccinium sp. L.*), ružin šipak (*Rosa sp. L.*). Kao dodatno bobičasto voće, u radu je ispitan kiselo–bazni potencijal goji bobica (*Lycium sp. L.*), aronije (*Aronia sp. L.*), drijena (*Cornus mas L.*) i korintske groždice (*Vitis vinifera L.*). Od jagodičastog voća, kao dodatni materijal ispitane su crna malina (*Rubus idaeus occidentalis L.*) i tayberry bobica (*Rubus fruticosus × Rubus idaeus*).

#### 3.2. Kemikalije i pribor

Sve kemikalije korištene u ovom radu su analitičke čistoće, a voda korištena za pripremu otopina određene pH vrijednosti i otopina uzoraka je demineralizirana i deionizirana. Popis korištenih kemikalija:

Klorovodična kiselina, HCl (M = 36,46 g/mol, Kemika)

Natrijev hidroksid, NaOH (M = 39,99 g/mol, Kemika)

Ultračista voda

Od pribora u radu su korištene: jažice, keramički tarionik s tučkom, staklene čaše (250 mL, 100 mL, 50 mL, 10 mL), odmjerne tikvice (100 mL), kapalice, stakleni štapić, pinceta, pipeta (10 mL i 5 mL), staklene bočice s čepom, Eppendorf tube.

Od uređaja, u radu su korištene analitička vaga, grijaće tijelo, magnetska miješalica, uređaj za ultračistu vodu (TKA, WASSERAUFBEREITUNGSSYSTEME; Slika 45.) i pH metar (808 Titrand, Metrohm; Slika 46.).





Slika 45. Uređaj za ultračistu vodu.



Slika 46. pH metar.

### 3.3. Priprema otopina određene pH vrijednosti

Otopine određene pH vrijednosti su priređene iz koncentrirane otopine HCl i otopine NaOH. Za otopinu pH 7 korištena je ultračista voda, čiji je pH potvrđen pH metrom.

Za kiseli medij prvo je priređena otopina pH 1 čiji se izračunati volumen od 0,85 mL koncentrirane HCl pipetom kvantitativno ulio u odmjernu tikvicu od 100 mL, kojem se potom dodao preostali volumen ultračiste vode prema pravilima priređivanja otopina u odmjernom posuđu. Otopina pH 2 priređena je tako da se u odmjernu tikvicu kvantitativno ulio izračunati volumen konc. HCl (0,085 mL) te je potom dodan preostali volumen ultračiste vode. Preostale otopine (pH 3–6) priređene su razrjeđivanjem iz otopine pH 1, prema relaciji  $c_1V_1 = c_2V_2$ . Prema pripremi, svim otopinama je određena pH vrijednost pomoću pH metra, te je pH po potrebi korigiran. Tolerirana razlika u pH vrijednosti iznosila je  $\pm 0,1$ .

Lužnati medij priređen je otapanjem NaOH u ultračistoj vodi. Otopina pH 14 priređena od 4 g NaOH koji je potom kvantitativno dodan u odmjernu tikvicu kojoj je dodana i ultračista voda do volumena 100 mL, prema pravilima priređivanja otopina u odmjernom posuđu. Otopine pH 13–11 priređene su na ovaj način, dok su otopine pH 10–8 priređene iz otopine pH 12 razrjeđivanjem, prema relaciji  $c_1V_1 = c_2V_2$ . Prema pripremi, svim otopinama je određena pH vrijednost pomoću pH metra, te je pH po potrebi korigiran i u ovom slučaju. Tolerirana razlika u pH vrijednosti iznosila je  $\pm 0,1$ .

### **3.4. Priprema biljnog materijala**

Uzorcima biljnog materijala dodan je vrlo mali volumen vode. Ispitan je svježi biljni materijal, smrznuti, suhi, te prerađevine – sok i pekmez ili džem, a u pojedinim slučajevima voćno vino i rakija. Korištene su biljne prerađevine koje su sadržavale samo odabrano voće, bez dodataka drugog voća, umjetnih boja i umjetnih aroma. Gdje je bilo moguće korišteni su domaći proizvodi, a u pojedinim slučajevima ispitani su proizvodi više dobavljača. Kako pojedini materijal nije bilo moguće dobiti u svim ispitivanim oblicima, ispitani su oni koji su se mogli dobiti ili prirediti. Plan rada prikazan je u Tablici 23.

Tablica 23. Plan rada.

Biljni materijal							
Jagodičasto voće	Jagoda	voće svježe	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	vino
	Kupina	voće svježe	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	vino
	Malina	voće svježe	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	–
	Dud	–	voće suho	–	–	čaj	–
Dodatno jagodičasto voće	Crna malina	–	voće suho	–	–	čaj	–
	Tayberry	–	voće suho	Sok	–	čaj	–
Bobičasto voće	Grožđe	voće svježe	voće suho	Sok	–	čaj	vino
	Ribiz	voće svježe	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	vino
	Ogrozd	voće svježe	–	–	–	–	rakija
	Borovnice	voće svježe	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	–
	Brusnice	–	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	–
	Ružin šipak	voće svježe	voće suho	–	pekmez/džem	čaj	–
Dodatno bobičasto voće	Goji	voće svježe	voće suho	–	–	čaj	–
	Aronija	voće svježe	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	vino
	Drenjina	voće svježe	voće suho	Sok	pekmez/džem	čaj	–
	Korintske groždice	–	voće suho	–	–	čaj	–

Od smrznutog biljnog materijala ispitane su crveni i crni ribiz, bijeli dud, ogrozd, malina, kupina i borovnica. Od vina od vinove loze ispitano je crno vino i *rose* vino, a ispitano je još aceto balsamico i vinski ocat. Od rakija korištena je komovica s plavim ogrozdom, stara dvije godine. Korintske groždice i crna malina mogle su se nabaviti samo kao suho voće, dok je tayberry dostupan i ispitan i u obliku soka.

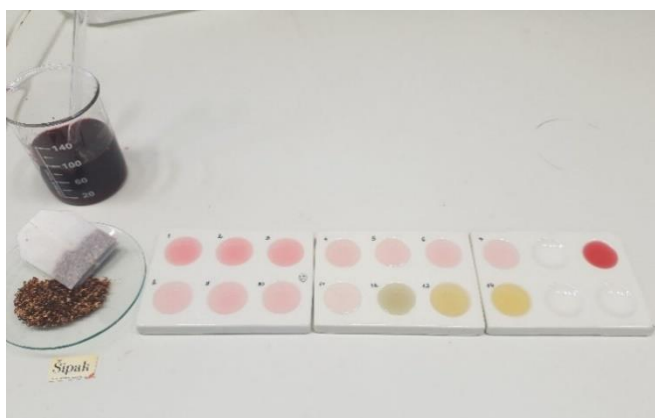
Uzorci svježeg, smrznutog i suhog biljnog materijala te pekmeza/džema priređeni su usitnjavanjem u tarioniku, s minimalnim dodatkom ultračiste vode (ili bez dodatka vode). U Tablici 24. prikazan je sadržaj voća u ispitanim sokovima i pekmezu/džemu.

Tablica 24. Sadržaj voća u ispitivanim sokovima i pekmezu/džemu. Džem od jagode ispitan je u dvije koncentracije.

Biljni materijal	Sok (%)	Pekmez/džem (%)
Jagoda	31	60 i 66
Kupina	9	60
Malina	12	75
Tayberry	40	–
Grožđe	100	–
Ribizla	25	43
Borovnice	24	43
Brusnice	15	35
Ružin šipak	–	35
Aronija	100	45
Drenjina	100	100

Kako bi se ispitao potencijal čaja kao kiselo–baznog indikatora, prvi put su uzorci čaja priređeni u tri koncentracije (Slike 47.–49.). Prvo se čaj pripremio prema uputi proizvođača. U tu svrhu priređen je čaj koji je sadržavao 3 g suhog biljnog materijala u 100 mL ultračiste vode (Slika 47.). Nakon toga ispitane su dvije dodatne koncentracije – otopina čaja priređena s 10 g suhog biljnog materijala u 100 mL ultračiste vode (Slika 48.) i otopina priređena s 10 g suhog biljnog materijala u 10 mL ultračiste vode (Slika 49.). Budući da je otopina 3 g/100 mL bila presvijetla, dok je otopina 10 g/10 mL bila pregusta za nanošenje kapaljkom u jažice,

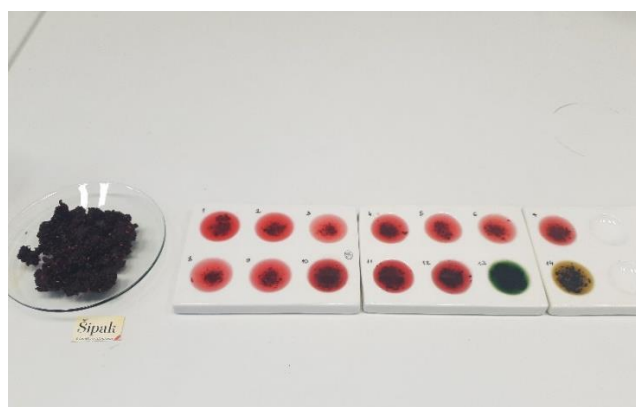
u daljnjim ispitivanjima korištena je otopina 10 g/100 mL za čiju pripremu nije potrebna velika količina biljnog materijala i koja je pokazala jasno vidljivu promjenu boje.



Slika 47. Čaj šipak 3 g u 100 mL.



Slika 48. Čaj šipak 10 g u 100 mL.



Slika 49. Čaj šipak 10 g u 10 mL.

Potencijal suhog voća kao kiselo–baznog indikatora, osim u jažicama, ispitan je u Eppendorf tubama tako da je suhom biljnom materijalu dodan 1 mL otopine određenog pH, te su tube pohranjene u hladnjaku 24 sata.

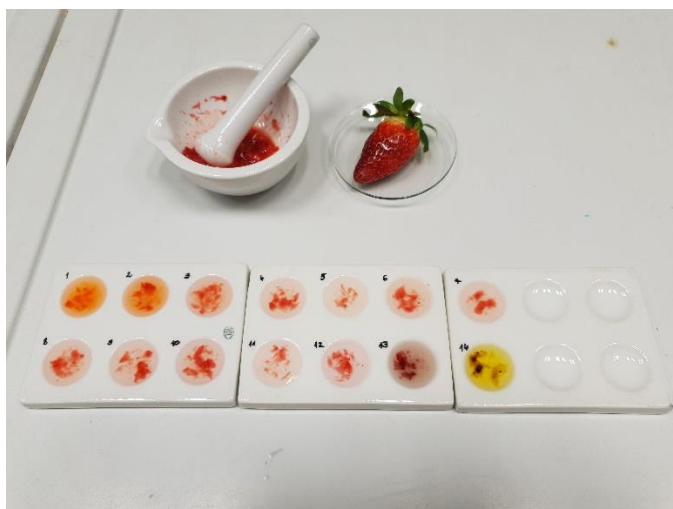
Kada je bilo moguće, ispitan je i svježi i smrznuti biljni materijal, kako bi utvrdili ima li smrzavanje biljnog materijala utjecaja na potencijal primjene istog kako kiselo–baznog indikatora. Međutim, u slučaju nemogućnosti nabave svježeg biljnog materijala ispitan je samo smrznuti (npr. u slučaju bijelog dudu) ili suhi biljni materijal (npr. u slučaju crne maline i tayberry bobica).

## 4. REZULTATI

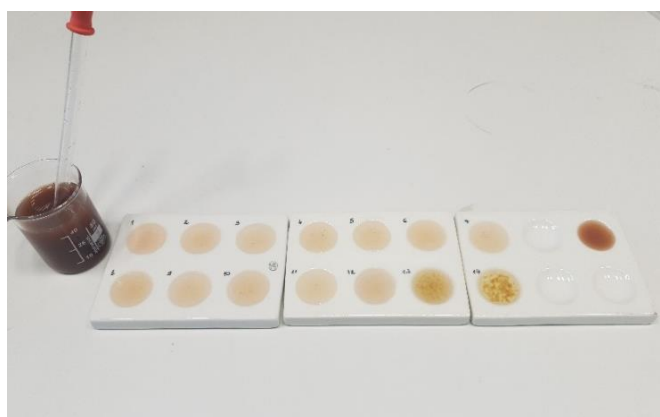
### 4.1. Jagodičasto voće

Rezultati istraživanja koji se odnose na potencijal jagodičastog voća kao kiselo–baznog indikatora prikazani su na slikama 50.–78.

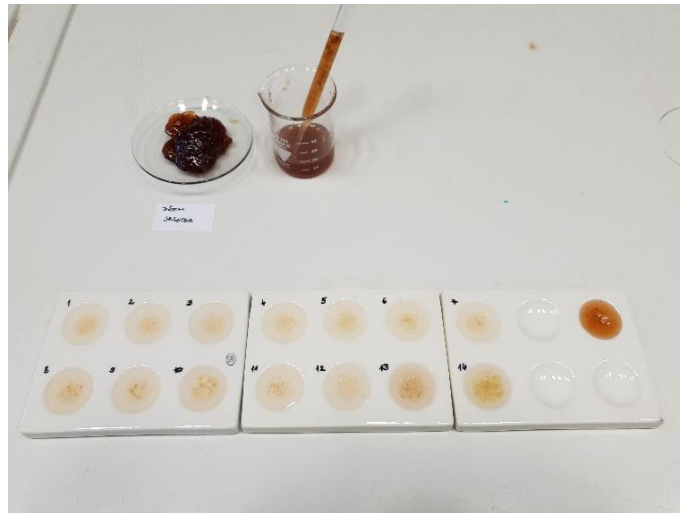
#### 4.1.1. Jagoda, *Fragaria sp. L.*



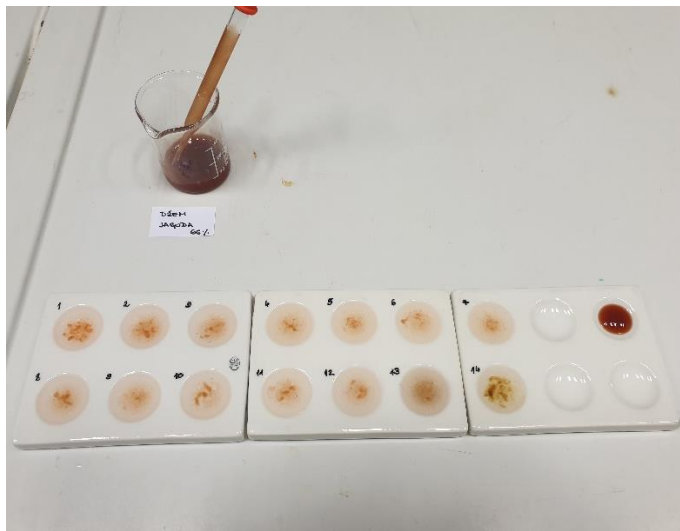
Slika 50. Svježa jagoda.



Slika 51. Sok od jagode.

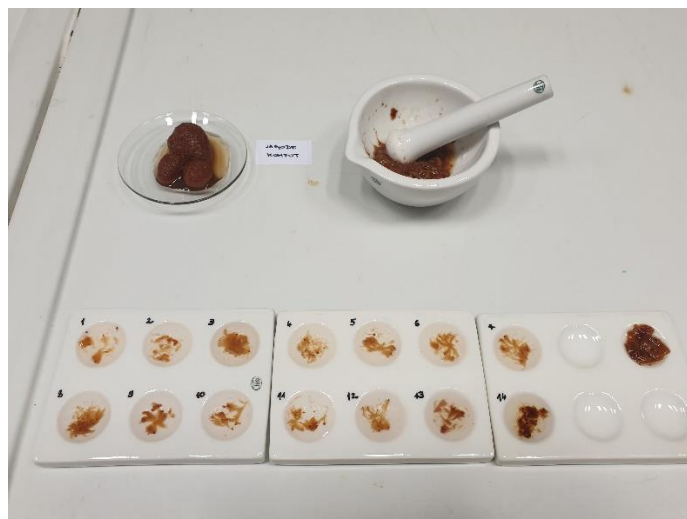


a)



b)

Slika 52. Džem od jagode a) 60% i b) 66% udio jagode.

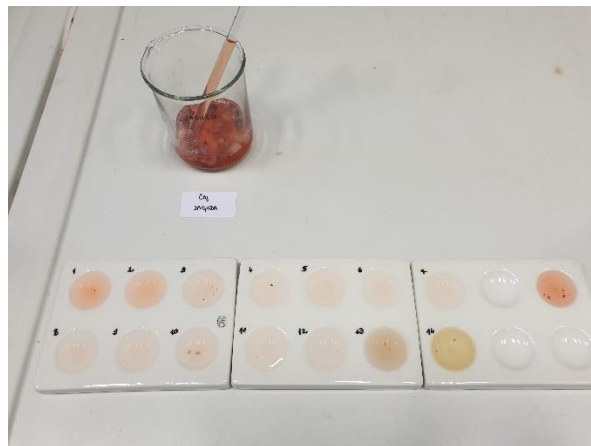


Slika 53. Kompot od jagode.





Slika 54. Suha jagoda.



Slika 55. Čaj od jagode.

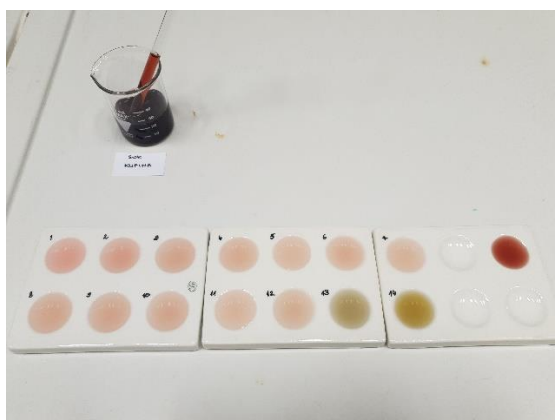


Slika 56. Vino od jagode.

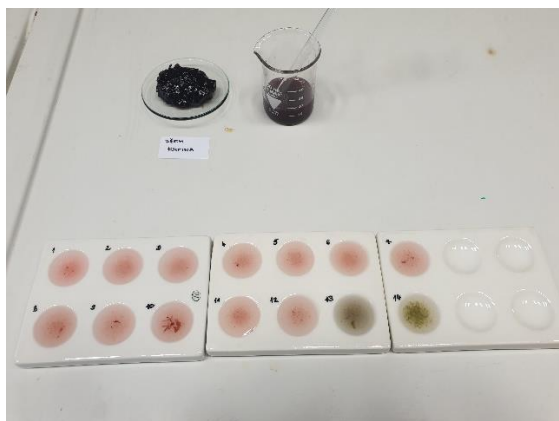
#### 4.1.2. Kupina, *Rubus sp. L.*



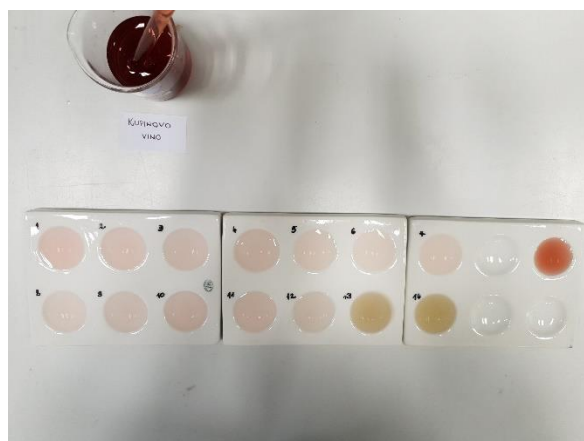
Slika 57. Svježa kupina.



Slika 58. Sok od kupine.



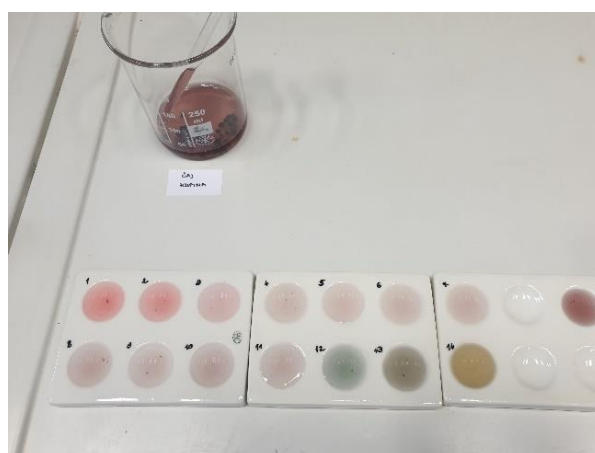
Slika 59. Džem od kupine.



Slika 60. Kupinovo vino.



Slika 61. Suha kupina.



Slika 62. Čaj od kupine.



Slika 63. Smrznuta kupina.

#### 4.1.3. Malina, *Rubus idaeus* L.



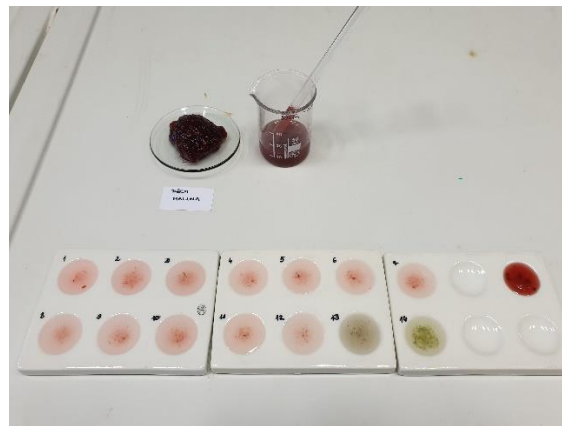
Slika 64. Svježa malina.



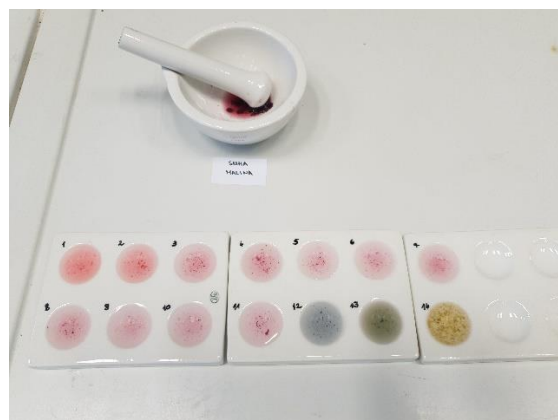
Slika 65. Sok od maline.



Slika 66. Čaj od maline.



Slika 67. Džem od maline.

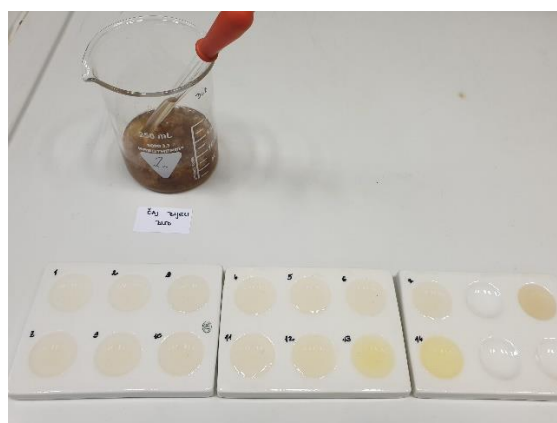


Slika 68. Suha malina.



Slika 69. Smrznuta malina.

#### 4.1.4. Bijeli dud, *Morus alba* L.



Slika 70. Čaj bijeli dud.



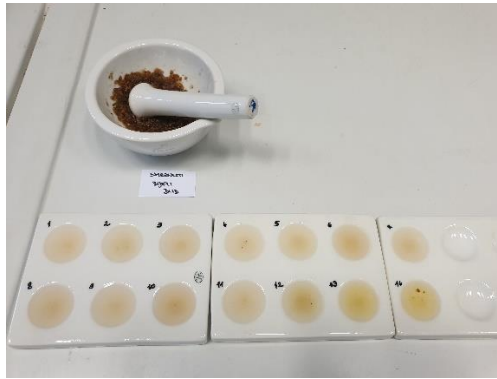
Slika 71. Suhi bijeli dud.



a)

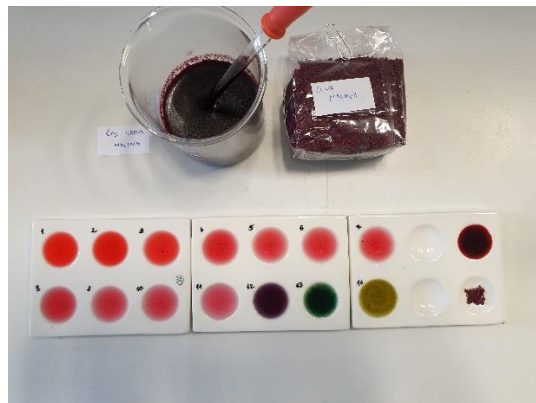
b)

Slika 72. Suhi bijeli dud – a) prema pripremi u Eppendorf tubama i b) nakon 24 h.



Slika 73. Smrznuti bijeli dud.

#### 4.1.5. Crna malina, *Rubus idaeus occidentalis* L.



Slika 74. Čaj od crne maline.





a)

b)

Slika 75. Suha crna malina – prema pripremi u Eppendorf tubama a) i b) nakon 24 h.

#### 4.1.6. Tayberry bobica, *Rubus fruticosus* x *Rubus idaeus*

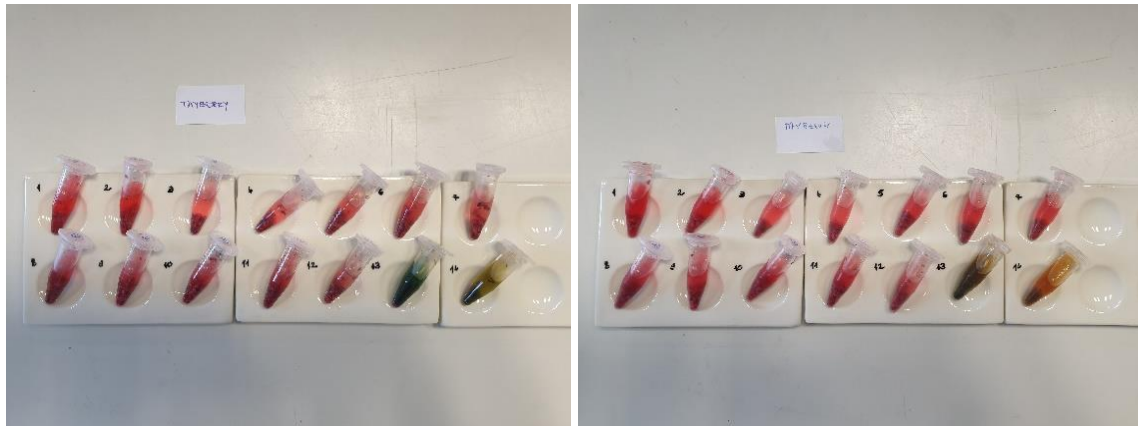


Slika 76. Tayberry sok.



Slika 77. Tayberry čaj.





a)

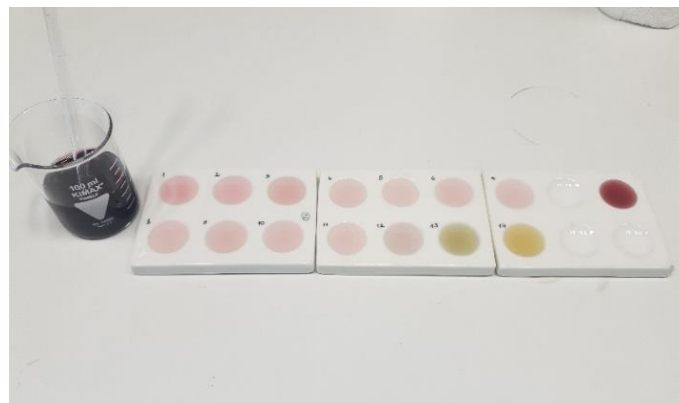
b)

Slika 78. Suhi tayberry – prema pripremi u Eppendorf tubama a) i b) nakon 24 h.

## 4.2. Bobičasto voće

Rezultati istraživanja koji se odnose na potencijal bobičastog voća kao kiselo–baznog indikatora prikazani su na slikama 79.–141. Rezultati ispitivanja čaja od šipka prikazani su prethodno u poglavlju 3. Materijal i metode, na slikama 47.–49.

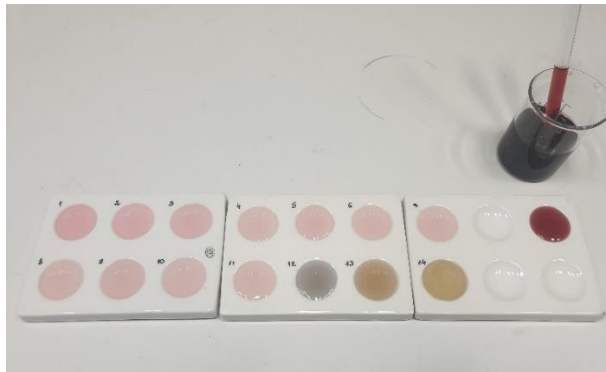
### 4.2.1. Vinova loza, *Vitis vinifera* L.



Slika 79. Sok od grožđa.



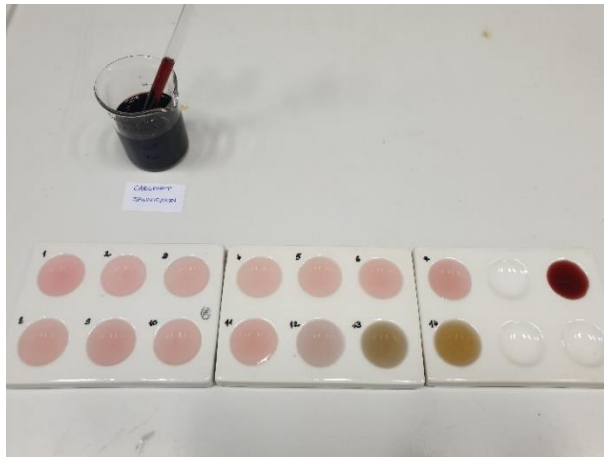
Slika 80. Svježe grožđe, 10 g (samo kožica) u 10 mL vode.



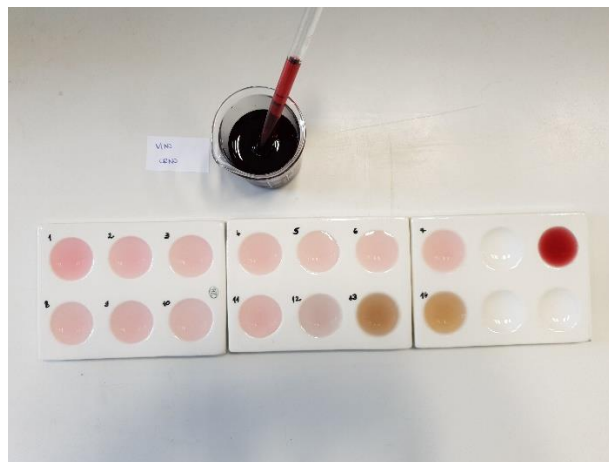
Slika 81. Vinski ocat.



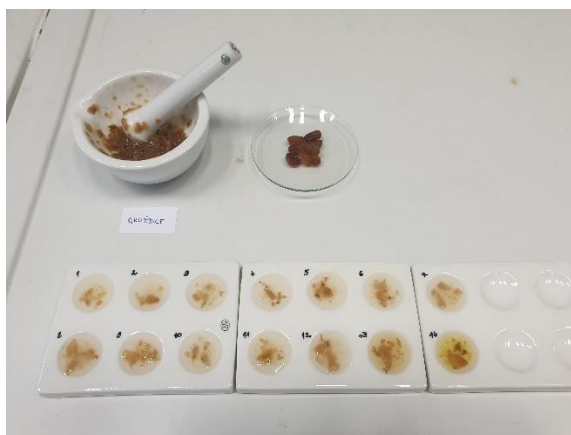
Slika 82. Rose vino.



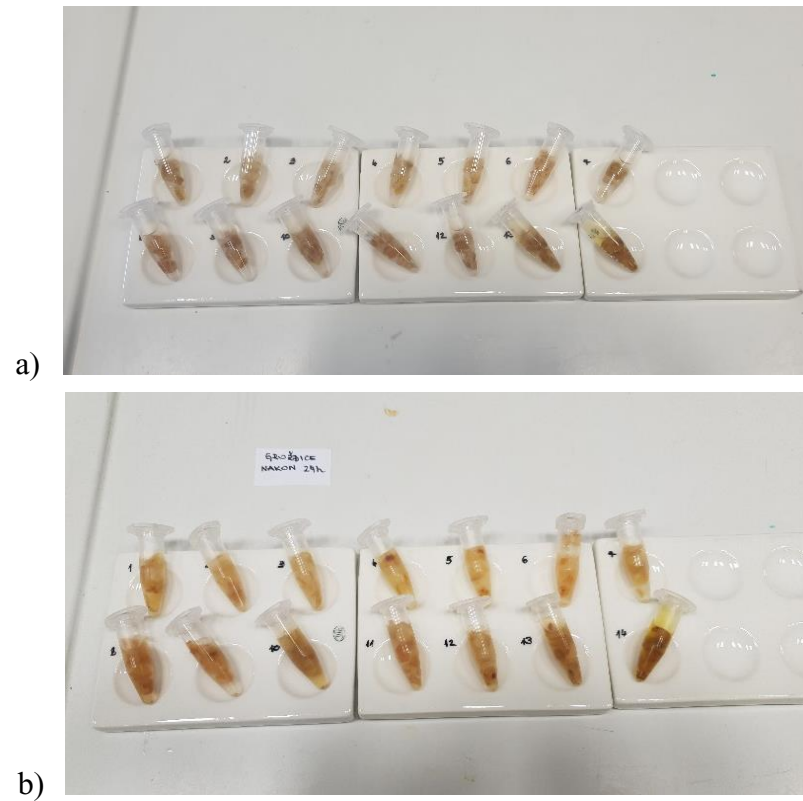
Slika 83. Vino *Cabernet Sauvignon*.



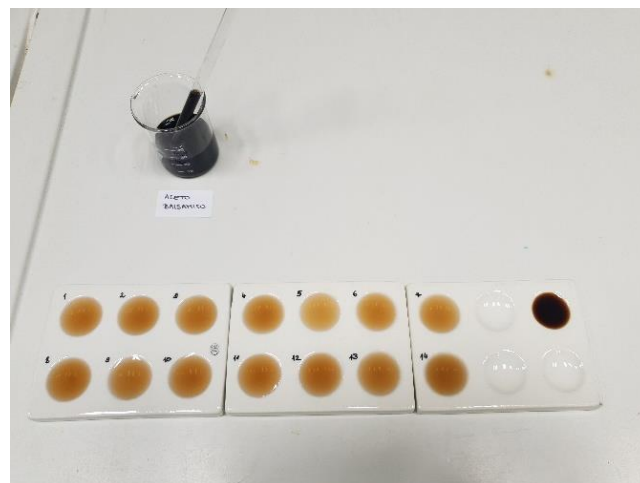
Slika 84. Crno vino *Plavac mali*.



Slika 85. Groždice.



Slika 86. Groždice – prema pripremi u Eppendorf tubama a) i b) nakon 24 h.

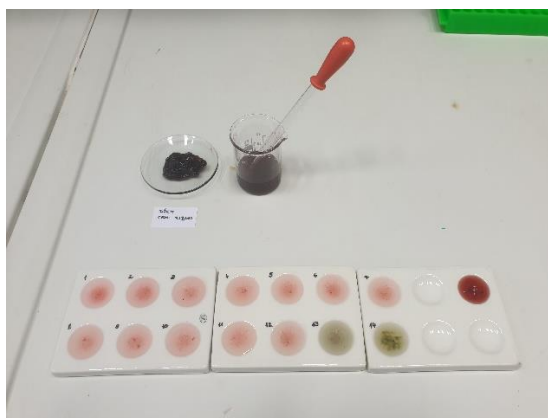


Slika 87. Aceto balsamico.

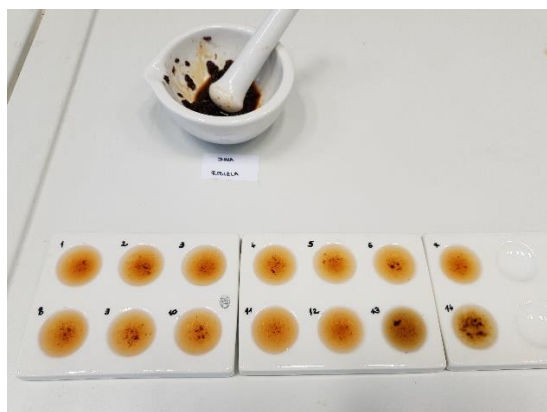
#### 4.2.2. Crni ribiz, *Ribes nigrum* L.



Slika 88. Sok od crnog ribiza.



Slika 89. Džem od crnog ribiza.



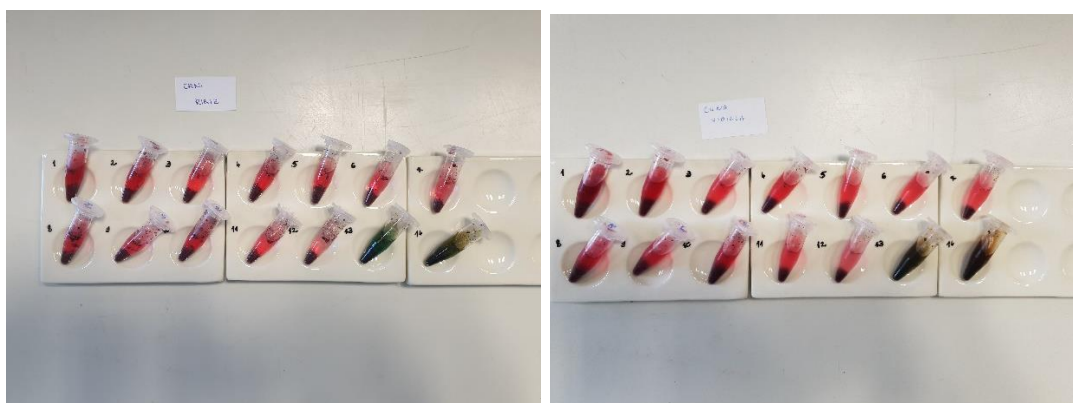
Slika 90. Suhi crni ribiz.



Slika 91. Čaj crni ribiz.



Slika 92. Vino od crnog ribiza.



a)

b)

Slika 93. Prah suhog crnog ribiza – prema pripremi u Eppendorf tubama a) i b) nakon 24 h.



Slika 94. Smrznuti crni ribiz.

#### 4.2.3. Crveni ribiz, *Ribes rubrum* L.

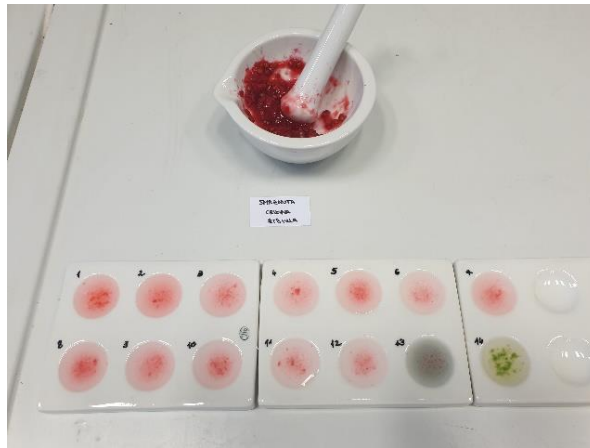


Slika 95. Svježi crveni ribiz.

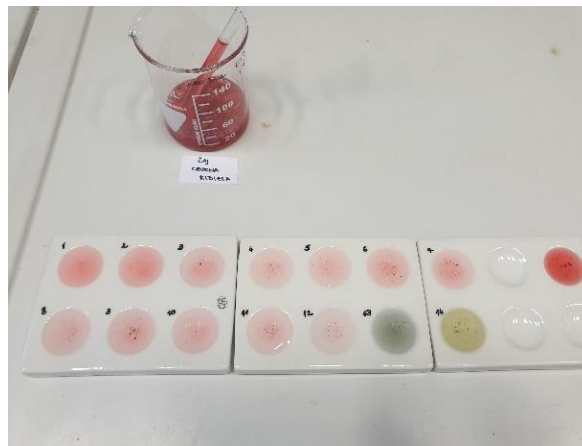


Slika 96. Suhi crveni ribiz.





Slika 97. Smrznuti domaći crveni ribiz.



Slika 98. Čaj od crvenog ribiza.



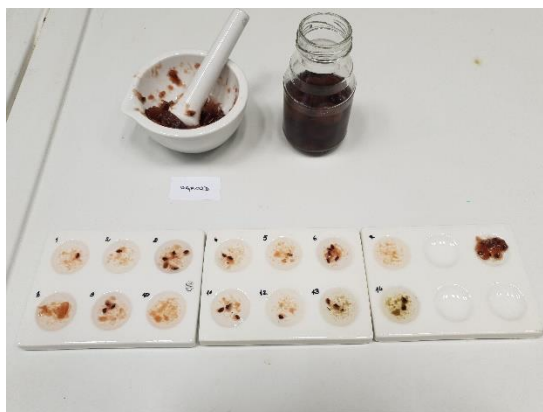
Slika 99. Smrznuti kupovni crveni ribiz.



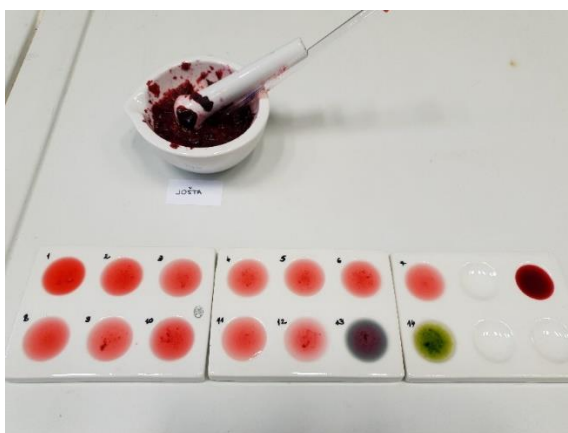
#### 4.2.4. Ogrozd, *Ribes uva-crispa* L.



Slika 100. Rakija s plavim ogrozd (komovica stara 2 godine).



Slika 101. Ogrozd iz komovice.

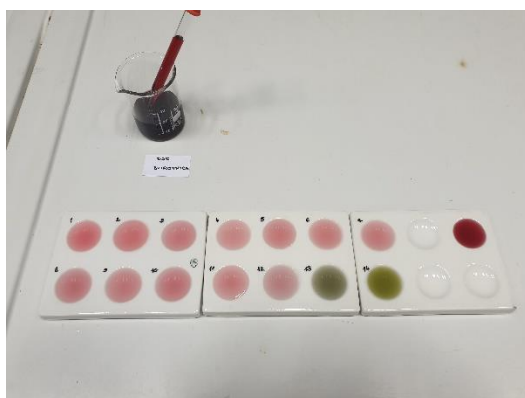


Slika 102. Svježi plavi ogrozd (poznat još kao *jošta* i *jošta*).

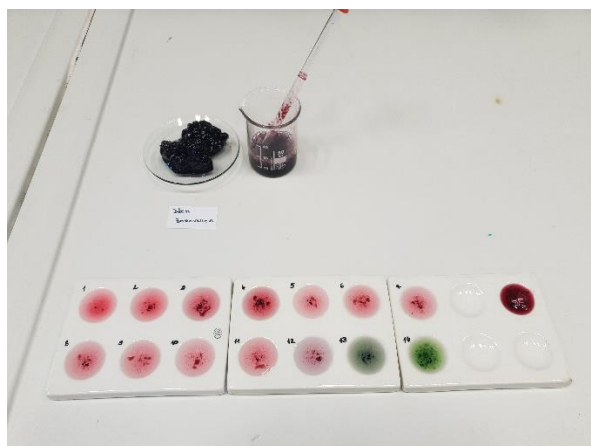
#### 4.2.5. Borovnica, *Vaccinium myrtillus* L.



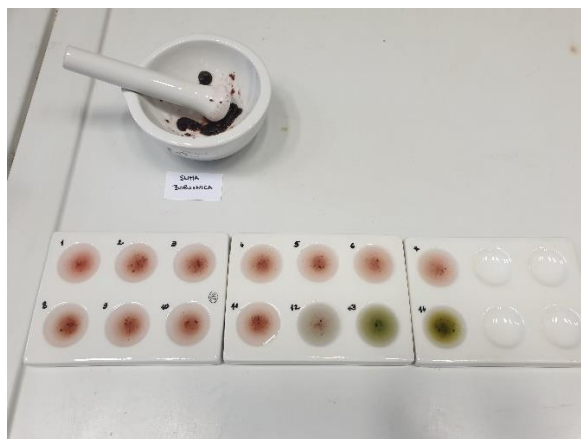
Slika 103. Svježa borovnica.



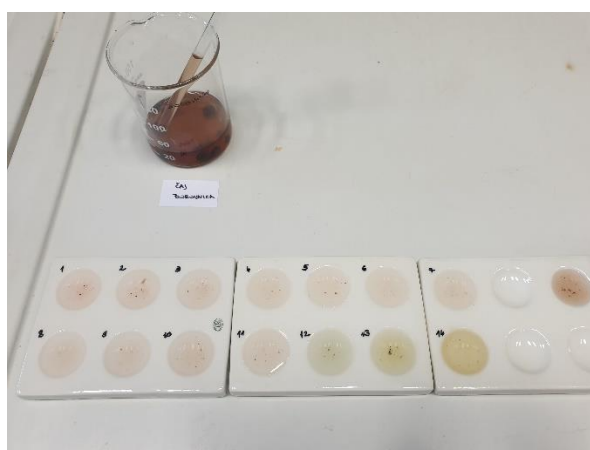
Slika 104. Sok od borovnice.



Slika 105. Džem od borovnice.



Slika 106. Suha borovnica.

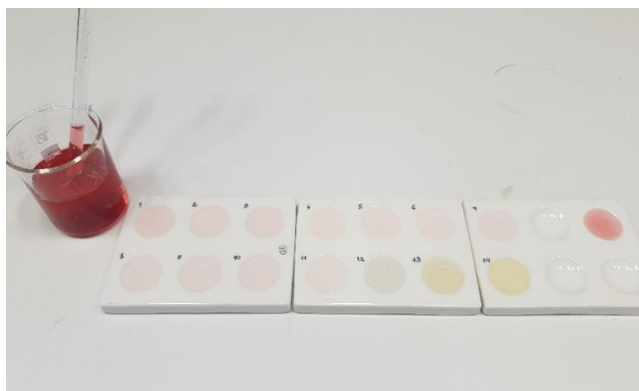


Slika 107. Čaj od borovnice.

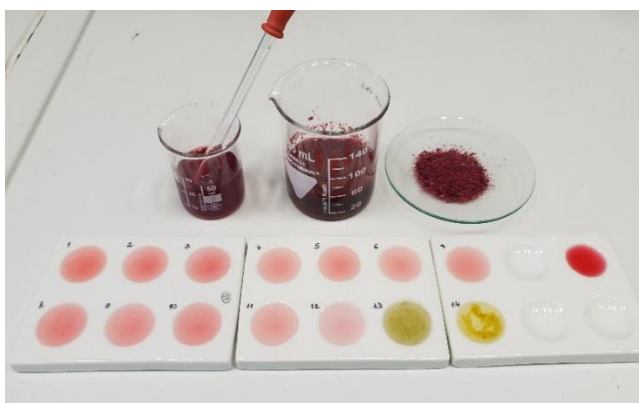


Slika 108. Smrznuta borovnica.

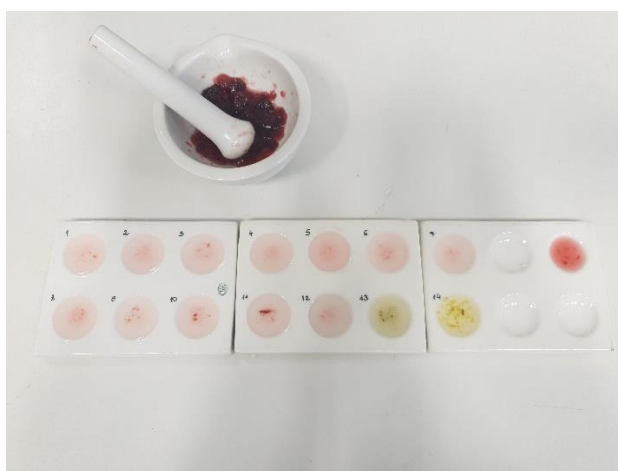
#### 4.2.6. Brusnica, *Vaccinium sp. L.*



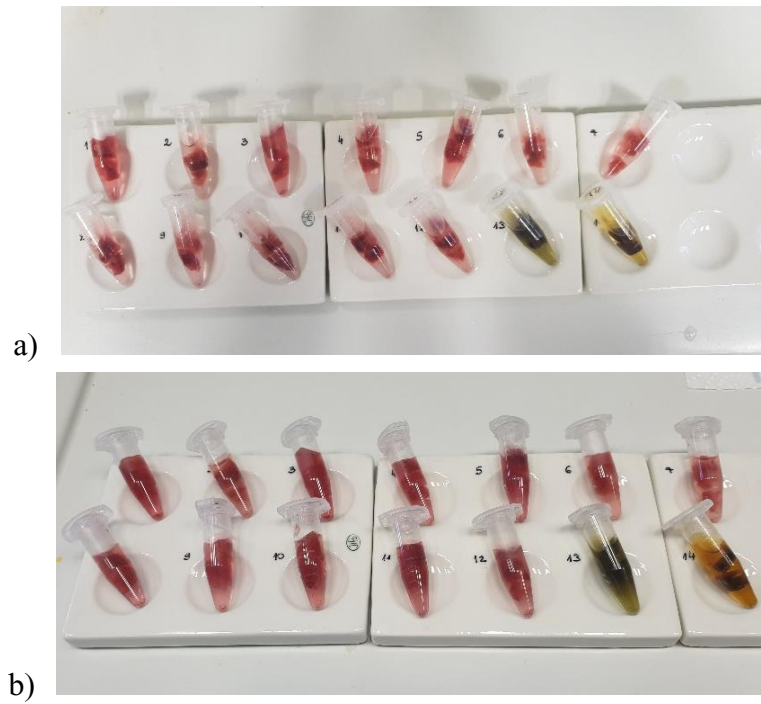
Slika 109. Sok od brusnice.



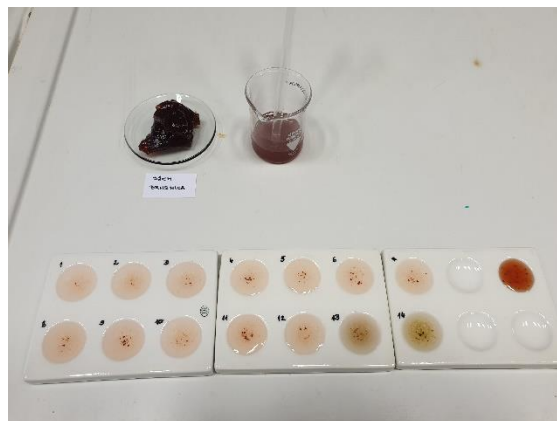
Slika 110. Čaj od brusnice.



Slika 111. Suha brusnica.

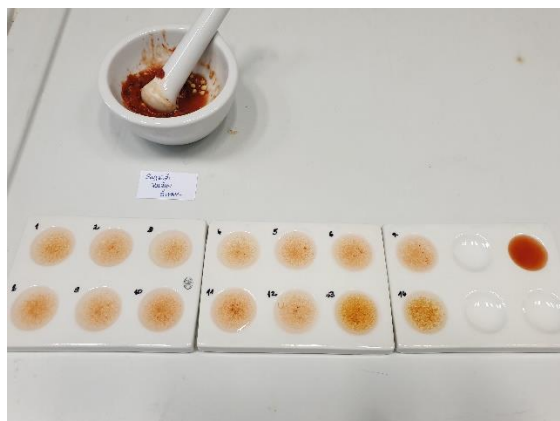


Slika 112. Suha brusnica u Eppendorf tubama – prema pripremi a) i b) nakon 24 h.

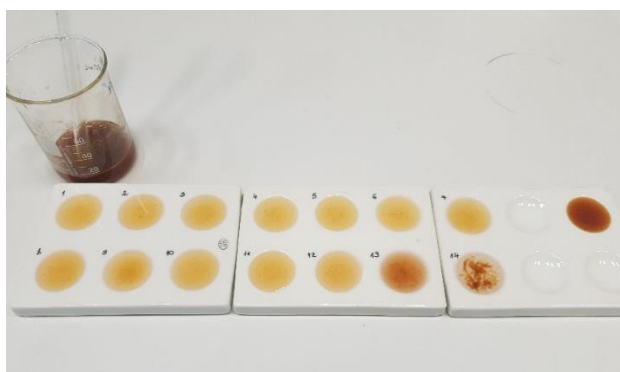


Slika 113. Džem od brusnice.

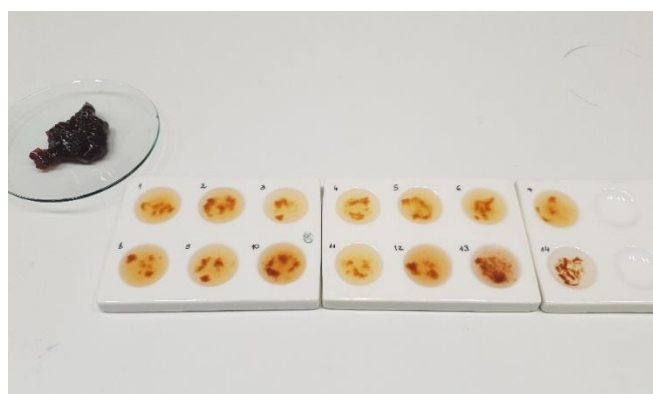
#### 4.2.7. Ružin šipak, *Rosa sp.* L.



Slika 114. Svježi ružin šipak.



Slika 115. Džem šipak (10g u 10mL vode).



Slika 116. Džem šipak.



Slika 117. Suhi šipak, dodano 10 mL vrele vode.

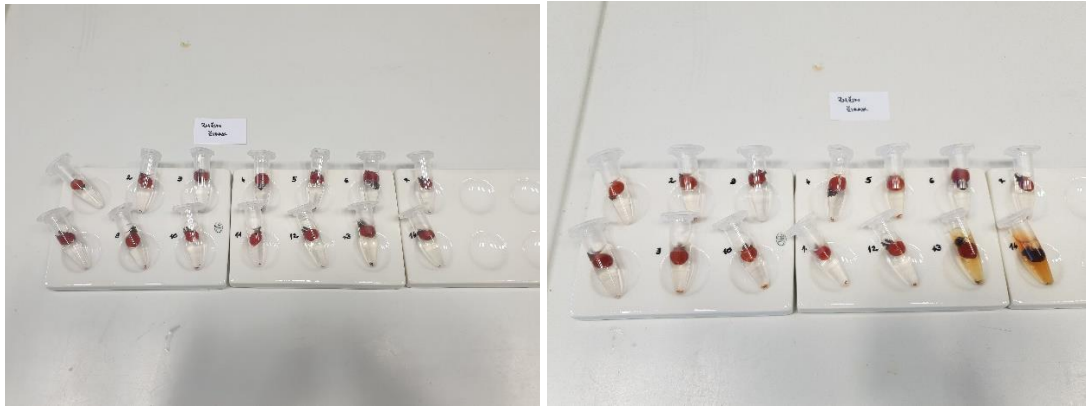


Slika 118. Suhi šipak u 10 mL hladne vode.



Slika 119. Suhi šipak nakon 24 h u Eppendorf tubama.





a)

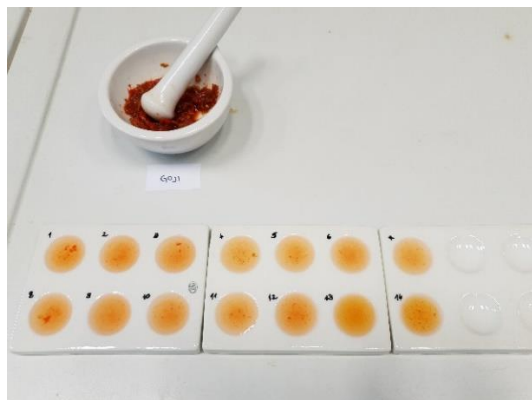
b)

Slika 120. Svježi šipak u Eppendorf tubama – prema pripremi a) i b) nakon 24 h.



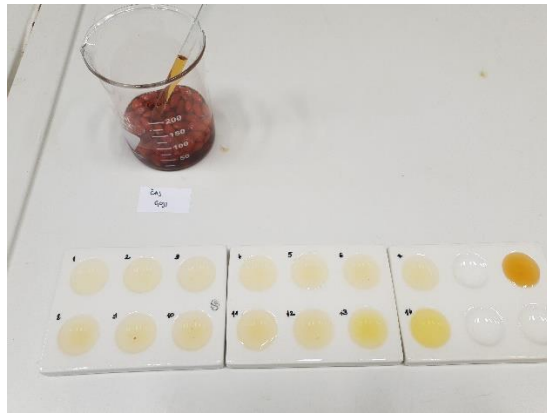
Slika 121. Smrznuti ružin šipak.

#### 4.2.8. Goji bobica, *Lycium sp. L.*

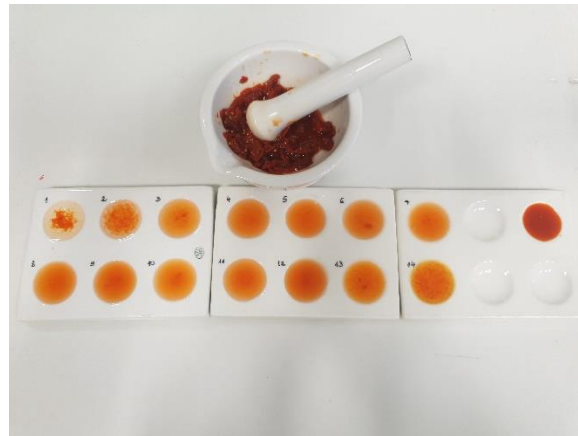


Slika 122. Svježe goji bobice.

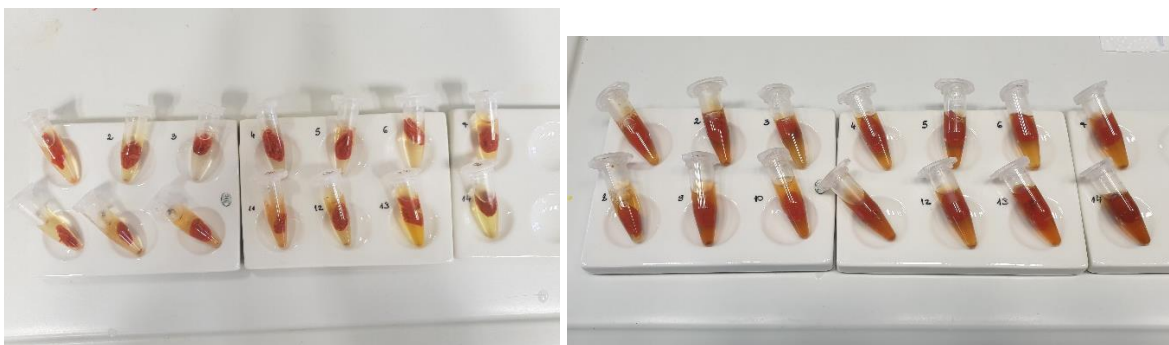




Slika 123. Čaj od goji bobica.



Slika 124. Suhe goji bobice.

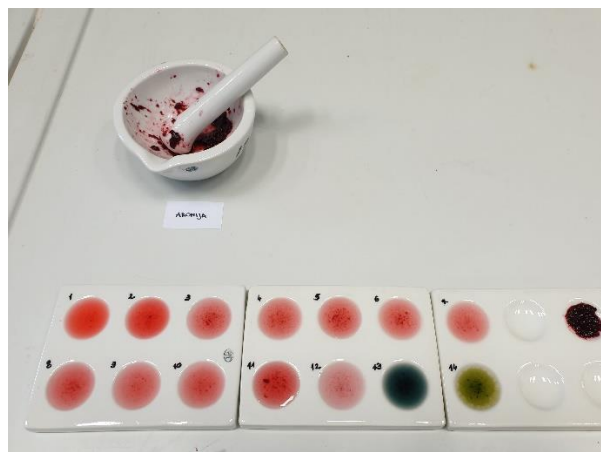


a)

b)

Slika 125. a) Suhe goji bobice u Eppendorf tubama; b) suhe goji bobice u tubama nakon 24 h.

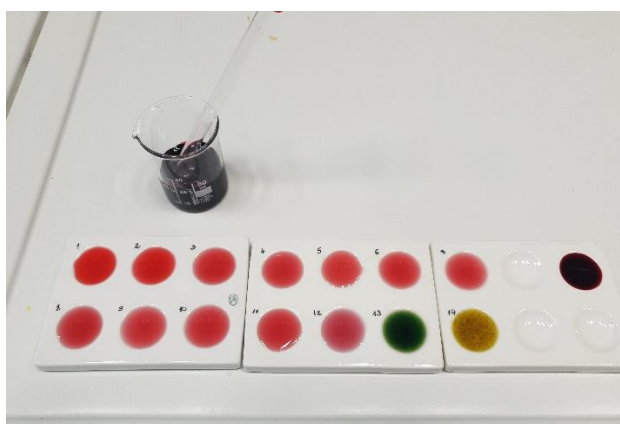
#### 4.2.9. Aronija, *Aronia sp. L.*



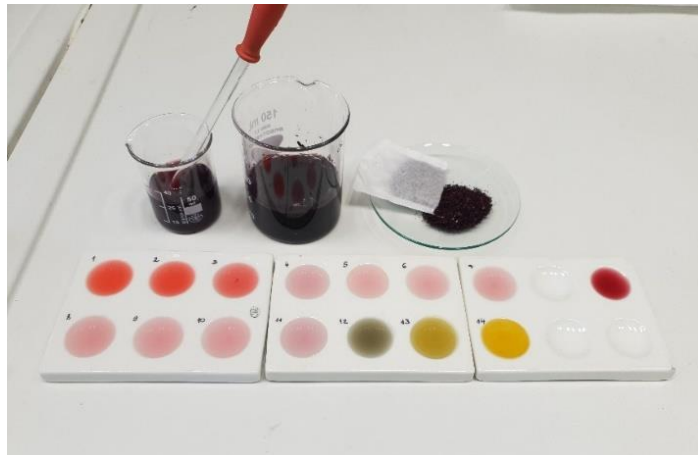
Slika 126. Svježa aronija.



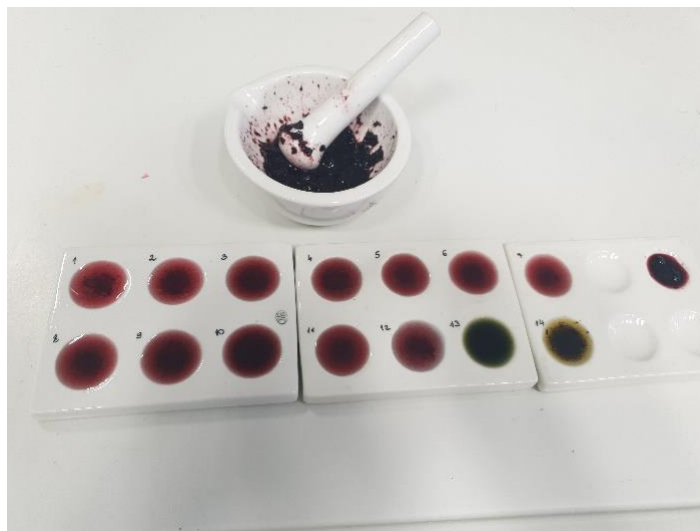
Slika 127. Sok od aronije 100%.



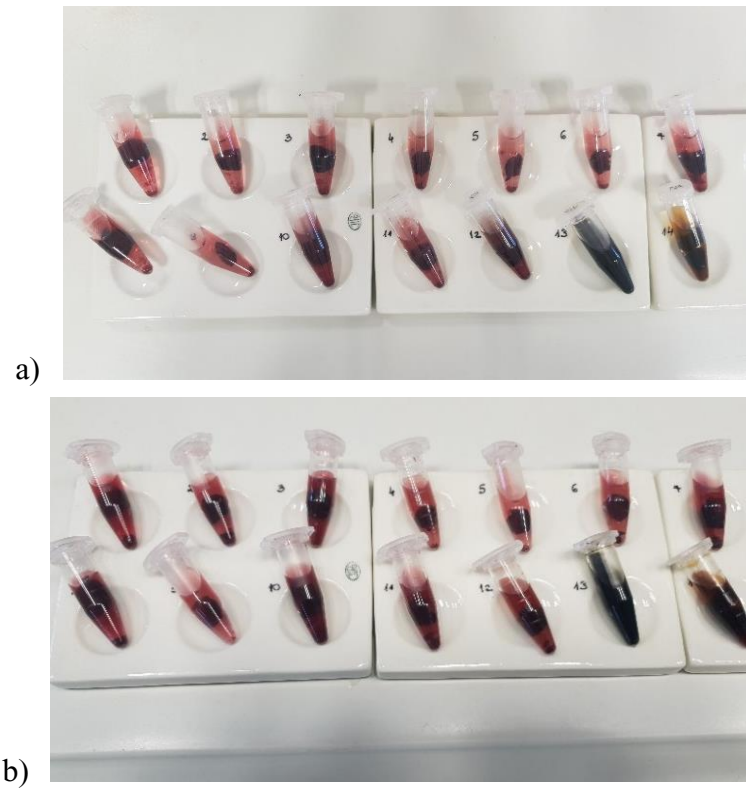
Slika 128. Sok sibirska aronija, hladno prešani.



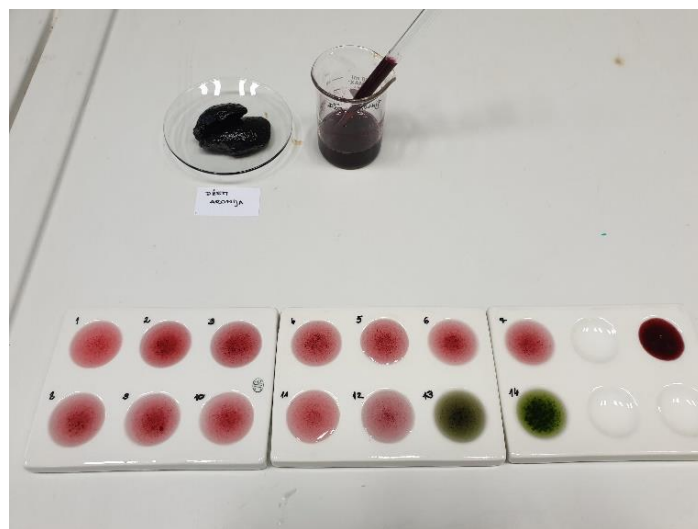
Slika 129. Čaj od aronije 100%.



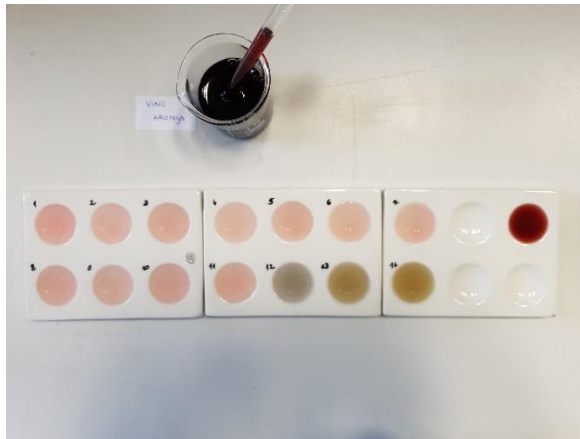
Slika 130. Suha aronija.



Slika 131. a) Suha aronija u Eppendorf tubama; b) suha aronija u tubama nakon 24 h.

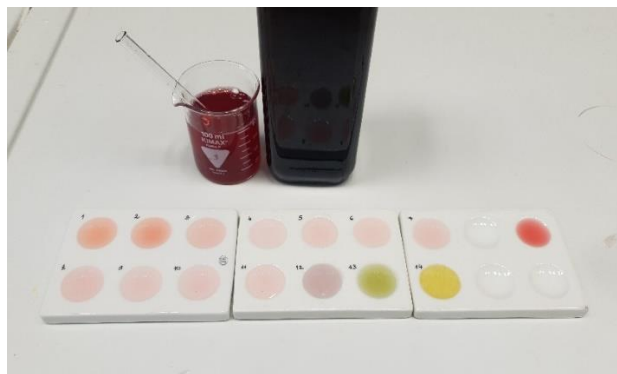


Slika 132. Džem od aronije.

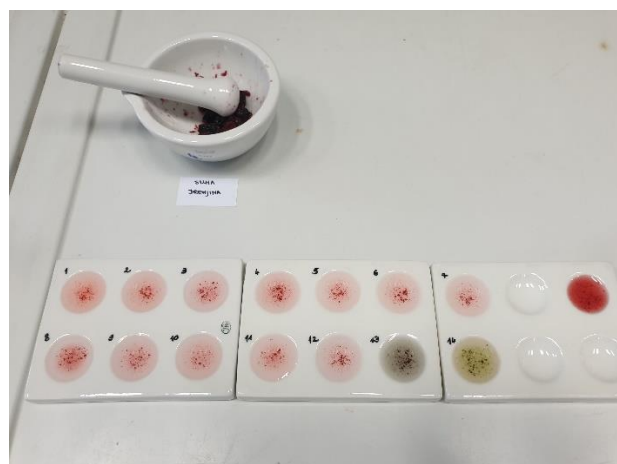


Slika 133. Vino od aronije.

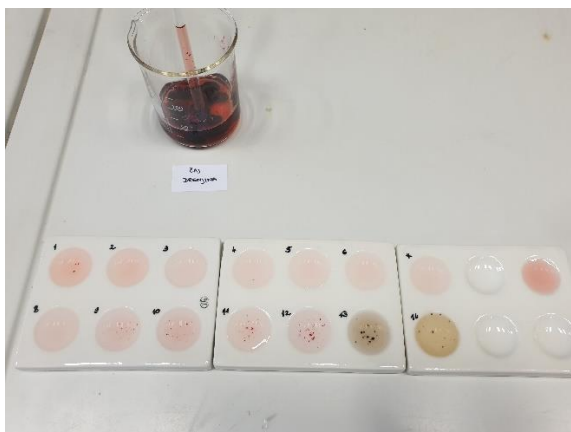
#### 4.2.10. Drijen, *Cornus mas* L.



Slika 134. Sok od drijena 100%.



Slika 135. Suhi drijen.



Slika 136. Čaj od drijena.

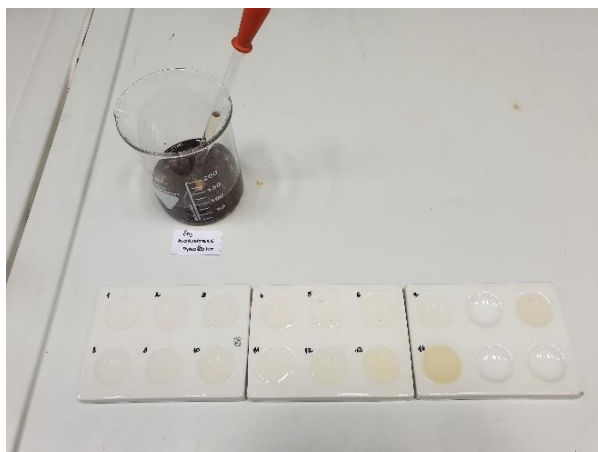


Slika 137. Svježi drijen.

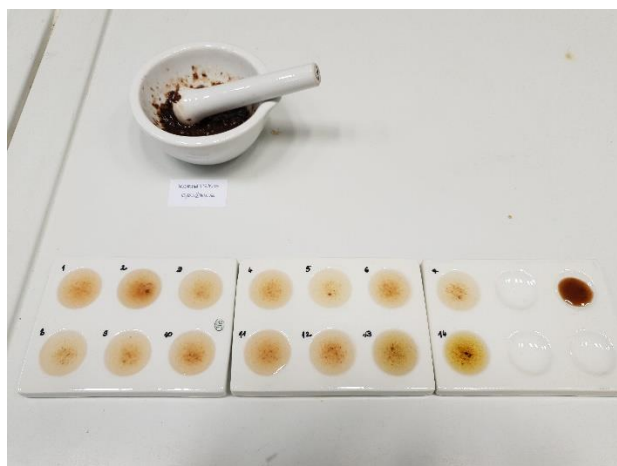


Slika 138. Džem od drijena.

#### 4.2.11. Korintska groždica, *Vitis vinifera* L.



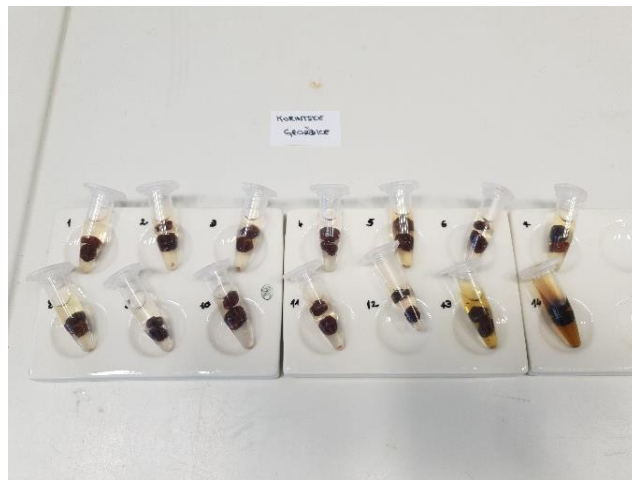
Slika 139. Čaj od korintskih groždica.



Slika 140. Korintske groždice.



a)



b)

Slika 141. Korintske groždice – prema pripremi u Eppendorf tubama a) i b) nakon 24 h.



## 5. RASPRAVA

pH vrijednost je važna za ekologiju, nastavu, svakodnevni život, industriju i biomedicinska istraživanja [158]. Naime, pH je parametar o kojem ovise kemijski i biološki procesi u vodi i na tlu, ona utječe na topljivost spojeva, biodostupnost nutrijenata, aktivnost mikroorganizama te je i pokazatelj staničnog metabolizma i enzimske aktivnosti [159-161]. Stoga ne čudi da su indikatori predmet brojnih istraživanja te su i danas aktualna tema i područje na kojem se može napraviti i naučiti puno novoga. Neka od tih istraživanja usmjerena su na potencijal primjene biljnih materijala kao indikatora.

Uporabom borovnice za pripremu pH-indikatorskih filmova za pametno pakiranje hrane bavilo se nekoliko istraživača [162-164]. Luchese i sur. (2017) su ispitali utjecaj dodatka praha borovnice (radi se o industrijskom otpadu) pri pripremi ovakvih filmova [162]. Slično istraživanje proveli su godinu kasnije, kada su ispitali mogućnost primjene ostatka borovnice koji zaostane nakon proizvodnje soka [163]. Andretta i sur. (2019) su u svom istraživanju koristili smrznute borovnice [164]. Sva tri istraživanja ukazuju na potencijal primjene borovnice u kreiranju pametne ambalaže.

Choi i sur. (2017) ispitali su primjenu ljubičastog slatkog krumpira za pripremu pametnih pH indikatorskih filmova na bazi agra/škroba [165]. Slično istraživanje proveli su Zhang i sur. (2019) koji su pripremili nove pH indikatore za vizualnu procjenu svježine hrane [166]. Koristili su kukuruzni škrob i polivinil alkohol za proizvodnju filma kojima su dodali ekstrakt ružičastog slatkog krumpira i crvenog kupusa. Oba istraživanja su pokazala veliki potencijal primjene ružičastog slatkog krumpira kao indikatora svježine hrane [165, 166].

Halasz i Csoka (2018) proveli su slično istraživanje, ali su koristili aroniju pomoću koje su priređivali pH-indikatorske filmove. Ovo istraživanje je ukazalo na zanimljive promijene boje u pH rasponu od 1 do 10 te da aronija ima veliki potencijal detektiranja svježine/kvarenja hrane [167].

Ebrahimi Tirtashi i sur. (2019) ispitali su primjenu antocijanina crne mrkve za proizvodnju pametne ambalaže. Njihovo istraživanje je pokazalo da se ovakav indikator može koristiti kao biomaterijal za praćenje svježine/kvarenja mlijeka [168].

Peralta i sur. (2019) ispitali su potencijal primijene vodenog ekstrakta hibiskusa kao prirodnog pH indikatora ugrađenog u prirodne polimerne filmove. Rezultati su ovisili o korištenom prirodnom materijalu za izradu filma, te su pokazali veliki potencijal primijene ekstrakta cvijeta hibiskusa u proizvodnji pametne ambalaže [169].

Rawdkuen i sur. (2020) ispitali su potencijal primjene antocijanina kao vizualnih indikatora u želatinoznim filmovima. Koristili su crveni kupus, slatki krumpir, rozelu, plavi grašak, mangostin i pitaju. Najbolje rezultate dobili su u filmovima s plavim graškom, čiji su antocijanini pokazali najveću osjetljivost na pH vrijednost [170].

Većina aktualne znanstvene literature o alternativnim pH indikatorima odnosi se na njihovu mogućnost primijene u industriji za pametno pakiranje. Nasuprot tome, ovo istraživanje bilo je usmjereno na mogućnost primijene alternativnih indikatora u učionici kemije.

Prema rezultatima ovog rada, svježa jagoda (Slika 50.) je u jakim kiselinama pri pH 1 i 2 narančaste boje, kod pH 3 boja blijedi i svježa jagoda poprima svijetlo narančastu boju. Pri pH 4 boja je svjetlija i do pH 11 promjena boje nije zamjetna, dok se pri pH 12 vidi mala promjena boje svježe jagode u sivkasto, pri pH 13 je sivkasto-smeđa, a pri pH 14 izrazito žute boje.

Sok od jagode (Slika 51.) od pH 1–12 je svijetlosmeđe boje, dok kod pH 13 poprima smeđe-žutu boju, a pri pH 14 je tamnije smeđe-žute boje. Od pH 11, promjena boje 60 % džema od jagode je u, jedva primjetnu, izuzetnu svijetlu narančastu boju, pri pH 12 promjena boje je u lagano sivkasto, pri pH 13 džem od jagode je izražajnije svijetlo sive boje, dok je pri pH 14 svijetlo sive boje s primjesama žute (Slika 52.a)). Kod 66 % džema od jagode (Slika 52.b)) promjene boje su iste kao kod 60 % džema od jagode, s razlikom da su kod 66 % džema boje malo izraženije. Kompot od jagode (Slika 53.) je od pH 1–11 svijetlo smeđe-narančaste boje, kod pH 12 poprima sivkasto boju, pri pH 13 svijetlo sivu boju, a kod pH 14 kompot od jagode je tamnije sivo-smeđe boje.

Suha jagoda (Slika 54.) ima izraženije i ljepše promjene boje od soka, džema i kompota od jagode. Suha jagoda je kod pH 1 svijetlo narančaste boje, pri pH 2 svjetlije narančaste boje, od pH 3–12 suha jagoda je dosta svjetlija, kod pH 12 je sive boje, a pri pH 14 svijetlo žute boje. Čaj od jagode (Slika 55.) pokazao je iste promjene boje kao suha jagoda, samo što su kod suhe jagode promjene boja istaknutije, dok su kod čaja od jagode mnogo svjetlije.

Vino od jagode (Slika 56.) nije se istaknulo kao kiselo-bazni indikator, promjena boje je jedva vidljiva kod jakih lužina, međutim nedovoljno kako bi se vino od jagode moglo koristiti kao kiselo-bazni indikator. Na temelju ispitivanja svježe jagode i prerađevina od jagode kao potencijalnih kiselo-baznih indikatora može se zaključiti kako je svježa jagoda jedina pokazala veći potencijal kao kiselo-bazni indikator od prerađevina od jagode. Također zamjetna je promjena boje čaja od jagode i suhe jagode u kiselom i lužnatom mediju te se također mogu koristiti kao kiselo-bazni indikatori, dok bi se džem i kompot od jagode

mogli koristiti za identificiranje jakih lužina, a vino od jagode se nije pokazalo kao dobar kiselo–bazni indikator, jer promjene boje vina od jagode su jedva ili uopće nisu zamjetne.

Za uočene promjene odgovorni su bioaktivni spojevi koji se mogu vidjeti u Tablici 2. (svježa jagoda) i 3. (džem). Od prisutnih spojeva u svježoj jagodi najzastupljeniji je antocijanin pelargonidin (u esterskom obliku). I u slučaju džema od jagode, najzastupljeniji je antocijin pelargonidin, ali u značajno manjoj koncentraciji, što je vjerojatni razlog uočenih promjena u promjeni boje ne samo džema već i ostalih prerađevina od jagode.

Svježa kupina (Slika 57.) je u jakim kiselinama crvene boje, u otopinama od pH 3–7 svježa kupina je svijetlo crvenkasto-ljubičaste boje, od pH 8–11 crvenkasta boja svježe kupine se gubi i postaje svjetlija, pri pH 12 poprima sivkastu boju, kod pH 13 je modro plave boje, dok je pri pH 14 svježa kupina izrazito žute boje.

Sok, džem i vino od kupine imaju poprilično slične promjene boje pri istim pH vrijednostima. Kupinovo vino (Slika 60.) je u otopini pH 1 svijetlo ružičaste boje, u otopini pH 2 je svjetlije ružičaste boje, od pH 3–11 je blijedo ružičaste boje, pri pH 12 kupinovo vino poprima lagano sivkastu boju, kod pH 13 je zeleno-sive boje, a pri pH 14 žuto-zelenkaste boje. Džem od kupine (Slika 59.) pri pH 1 i pH 2 je svijetlo ružičaste boje, od pH 3–11 svijetlo ružičasto crvenkaste boje, pri pH 12 je crvenkasto-sive boje, u otopini pH 13 je sive boje i pri pH 14 zelenkasto sive boje. Sok od kupine (Slika 58.) ima iste promjene boje kao i džem od kupine, jedino je pri pH 14 zelenkasto-sivo-žute boje.

Suha kupina (Slika 61.) je pokazala izvrstan potencijal kao kiselo–bazni indikator. U otopini pH 1 suha kupina je crvene boje, u otopini pH 2 svijetlocrvene boje, dok od pH 3–11 poprima purpurno crvenu boju. U otopini pH 12 plave je boje, pri pH 13 je zelene boje, dok je u otopini pH 14 žute boje. Čaj od kupine (Slika 62.) je u jakim kiselinama ružičaste boje, u otopinama od pH 3–11 čaj od kupine je svijetlo ružičaste boje, pri pH 12 je modro zelene boje, kod pH 13 sivkaste boje, dok je pri pH 14 žuto zelene boje.

Smrznuta kupina (Slika 63.) je u jakim kiselinama crvenkaste boje, pri pH 3 boja smrznute kupine blijedi i do pH 11 prisutno je svijetlo crvenkasto-ljubičasto obojenje. U otopini čiji je pH 12 smrznuta kupina je sivkasto ljubičaste boje, pri pH 13 je intenzivno zelene boje, dok pri pH 14 poprima žutu boju. Na temelju ispitivanja svježe kupine i prerađevina od kupine kao potencijalnih kiselo–baznih indikatora može se zaključiti kako je kupina u svim oblicima pokazala izvrstan potencijal za korištenje kao kiselo-baznog indikatora.

Bioaktivni spojevi u svježoj kupini i džemu od kupine prikazani su u Tablicama 4. i 5. U oba slučaja dominantan je antocijanin cijanidin, te je on vjerojatno glavni spoj odgovoran

za uočene promjene boje. U svježoj kupini još se mogu naći i drugi spojevi u visokim koncentracijama (flavanol epikatehin, elaginska kiselina) koji su vjerojatno više zaslužni za učinak prehrane kupinama na zdravlje nego na uočene promijene boje.

Svježa malina (Slika 64.) je u otopinama pH 1 i pH 2 intenzivno crveno-narančaste boje, od pH 3–12 je svjetlije crveno-narančaste boje, pri pH 13 poprima zeleno-plavu boju, dok pri pH 14 je žute boje. Džem od maline (Slika 67.) pri pH 1–3 je svijetlo ružičaste boje, od pH 4–12 boja blijedi, kod pH 13 je sivkaste boje, dok je u otopini čiji je pH 14 maslinasto zelene boje. Promjene boje soka od maline (Slika 65.) u otopinama pH vrijednosti od 1 do 14 slične su, ako ne i iste, kao kod džema od maline. Suha malina (Slika 68.) je u jakim kiselinama crvenkasto ružičaste boje, od pH 3–11 svijetlo ružičaste boje, pri pH 12 poprima plavkastu boju, u jakoj lužini pri pH 13 je maslinasto zelene boje, dok je pri pH 14 žuto zelenkaste boje. Čaj od maline (Slika 66.) je u otopinama od pH 1–11 crvene boje, s razlikom da je jakim kiselinama crvena boja čaja intenzivnija. U otopini čiji je pH 12 čaj od maline poprima blijedo crvenkastu boju, pri pH 13 je maslinasto zelene boje, a kod pH 14 poprima oker boju. Smrznuta malina (Slika 69.) je pri pH 1 i 2 crveno-narančaste boje, boja smrznute maline od pH 3–12 blijedi, pri pH 13 je zelene boje i kod pH 14 je žute boje. Može se zaključiti kako su malina i proizvodi od maline pokazali izvrstan potencijal primjene kao kiselo–baznih indikatora.

Fenolni profil maline i proizvoda od maline prikazani su u Tablicama 6.–8. I u ovom slučaju dominira antocijanin cijanidin (u esterskom obliku), a od ostalih bioaktivnih spojeva u većim koncentracijama zastupljeni su flavanol kvercetin i neke od hidroksibenzojevih kiselina, a koji svi izuzetno doprinose antioksidacijskom potencijalu ovog voća.

Bijeli dud kao čaj, suhi i smrznuti proizvod nije pokazao zavidan potencijal kao kiselo–bazni indikator. U jakim lužinama, pri pH 13 i pH 14, pokazuje promjenu boje u žutu i prema tome bi se moglo zaključiti kako bi suhi bijeli dud (Slika 71. i Slika 72. a) i b)), čaj od bijelog dudu (Slika 70.) i smrznuti proizvod bijelog dudu (Slika 73.) mogao poslužiti jedino u identificiranju jakih lužina. Obzirom na boju bijelog dudu, ovo su očekivani rezultati. Vjerojatno bi crni dud pokazao bolji potencijal primjene kao kiselo–bazni indikator.

Čaj od crne maline (Slika 74.) ima vizualno obećavajuće promjene boje u otopinama. U otopinama pH 1–3 čaj od crne maline poprima crvenu boju. Što je veća pH vrijednost otopina, crvena boja čaja od maline blijedi u svjetlije crveno, dok u otopini pH 12 promjena boje čaja je u tamnu ljubičastu, pri pH 13 u tamno zelenu, a pri pH 14 u maslinasto zelenu boju. Suha crna malina (Slika 75.a)) koja je prema pripremi stavljena u Eppendorf tube pokazala je istu promjenu boje kao čaj od crne maline. Nakon 24 h čaj od crne maline u

tubama (Slika 75.b)) imao je iste promjene boje kao i prije 24 h, s razlikom da je pri pH 12 nakon 24 h tamno ljubičasta boja izbledila u crvenkastu, pri pH 13 došlo je do promjene u maslinasto zelenu, a kod pH 14 promjena je u oker boju. Može se zaključiti kako suhi proizvod crne maline i čaj od crne maline mogu poslužiti u identificiranju jakih kiselina, te također otopina čiji je pH 12, 13 i 14.

Pretragom Phenol-Explorer baze utvrđeno je da svježa malina sadrži u visokim koncentracijama kvercetin i elaginsku kiselinu, koji su odgovorni za bioaktivnost ovog voća. Baza ne sadrži radove u kojima je istražen sadržaj bioaktivnih spojeva u suhoj crnoj malini, kao ni u slučaju bijelog dunda i tayberry bobica.

Tayberry čaj (Slika 77.) je u kiseloj sredini pri pH 1 i 2 svijetlo crvene boje, dok od pH 3–11 svijetlo crvena boja blijedi. Pri pH 12 tayberry čaj poprima sivu boju, kod pH 13 je maslinasto zelene boje, a pri pH 14 poprima oker boju. Suhi tayberry u Eppendorf tubama (Slika 78.a)) u otopini pH 1 je crvene boje i crvena boja u svakoj idućoj otopini do pH 12 blijedi. Pri pH 13 suhi tayberry je zelene boje, a u tubi otopine pH 14 je žuto zelene boje. Nakon 24 h (Slika 78.b)) razlika u boji nije toliko primjetna sve do pH 13 gdje je promjena boje suhog tayberrija u maslinasto zelenu, a pri pH 14 u oker boju. Tayberry sok (Slika 76.) je pri pH 1 svijetlo ružičaste boje i boja soka blijedi do pH 12, gdje tayberry sok poprima sivkasto ružičastu boju, pri pH 13 je svijetlo zelenkaste boje, a pri pH 14 svijetlo maslinasto zelene boje. Može se zaključiti kako ispitivanje tayberry bobica kao potencijalnog kiselobaznog indikatora ima rezultata i mogu poslužiti u identificiranju kisele i lužnate otopine.

Kod ispitivanja svježeg grožđa kao potencijalnog kiselobaznog indikatora korištena je kožica plavog (crnog) grožđa za ispitivanje. Pokazalo se da u jakim kiselinama svježe grožđe (Slika 80.) poprima ružičastu boju koja blijedi sve do pH 11, uključujući i pH 11. Kod pH 12 svježe grožđe je zelenkaste boje, pri pH 13 žuto-zelene boje, a u otopini pH 14 poprima intenzivno žuto obojenje.

Sok od grožđa (Slika 79.) također u jakim kiselinama poprima ružičastu boju i ona blijedi do pH 11, pri pH 12 poprima svijetlu sivkastu ružičastu boju, pri pH 13 je maslinasto zelene boje, dok pri pH 14 poprima žuto zeleno obojenje. Crna vina *Plavac mali* (Slika 84.) i *Cabernet Sauvignon* (Slika 83.) imaju iste promjene boje u otopinama od pH 1–14. U kiselom, neutralnom i lužnatom mediju do pH 12 su ružičaste boje, ali kod jakih kiselina ružičasta je boja intenzivnija. Pri pH 12 boje vina poprimaju sivkastu ružičastu boju, kod pH 13 poprimaju maslinasto zelenu boju, dok u otopini pH 14 poprimaju zelenkastu žutu boju. Primjetno je kako vinski ocat (Slika 81.) ima iste promjene boje kao prethodna dva vina, s razlikom da vinski ocat pri pH 12 poprima sivu boju. Za razliku od vina *Plavac mali* i

*Cabernet Sauvignon*, *Rose* vino (Slika 82.) se nije pokazalo kao dobar kiselo–bazni indikator, jer do pH 13 ne pokazuje zadovoljavajuću promjenu boje, a tek u jakim lužinama poprima žutu boju.

Groždice (Slika 85. i 86.a)) se također nisu istaknule kao potencijalni kiselo–bazni indikator. Do pH 13 otopine u kojima su prisutne groždice su bezbojne, dok otopine pH 13 i pH 14 su žute boje. Također je ispitano hoće li se pokazati drugačije ukoliko groždice ostanu u Eppendorf tubama 24 h. Nakon 24 h (Slika 86.b)) vidljivo je kako su otopine poprimile boju grožđica sve do pH 13 i pH 14 gdje su otopine žute boje kao i prije 24 h. Aceto balsamico (Slika 87.) nije se vizualno istaknuo i njegova boja u svim otopinama je smeđe boje.

Bioaktivni spojevi u grožđu, vinu i grožđicama prikazani su u Tablicama 10.–13. U svježem grožđu dominira antocijanin malvidin, koji se može naći i u crnom vinu, ali u znatno smanjenoj koncentraciji. Međutim u grožđicama i u *rose* vinu nije pronađen što je vjerojatni razlog uočenih promjena boje, odnosno njihovog izostanka u slučaju ovih proizvoda od grožđa.

Sok od crnog ribiza (Slika 88.) ružičaste je boje u svim područjima pH vrijednosti, s razlikom da je ružičasta boja izraženija u jakim kiselinama, dok je u otopini pH 13 zelenkaste boje i otopini pH 14 žuto zelene boje. Džem od crnog ribiza (Slika 89.) poprima crvenkastu boju u jakim kiselinama i boja blijedi do pH 12. Pri pH 13 poprima sivkasto zelenu boju, dok je u otopini pH 14 maslinasto zelene boje.

Suhi crni ribiz (Slika 90.) poprima narančastu boju u svim područjima pH vrijednosti do pH 13 i 14 gdje poprima smeđu boju. Čaj od crnog ribiza (Slika 91.) intenzivno je crvene boje u jakim kiselinama, kako pH raste tako boja blijedi. Pri pH 12 poprima svijetlo ružičastu boju, kod pH 13 je smaragdno zelene boje i kod pH 14 prelazi u svijetlo zelenu boju. Vino od crnog ribiza (Slika 92.) vizualno nije dojmio promjenom boje. U jakim kiselinama poprima jako svijetlu, jedva vidljivu, ružičastu boju. Kako pH raste postaje bezbojan, dok u jakim lužinama poprima svijetlu maslinastu zelenu boju.

Prah suhog crnog ribiza u Eppendorf tubama (Slika 93.a)) s jakim kiselinama je crvene boje. Crvena boja praha povećanjem pH blijedi i kod pH 13 poprima smaragdno zelenu boju, a kod pH 14 je zeleno–žutu boju. Nakon 24 h (Slika 93.b)) nije došlo do bitne vizualne promjene, osim kod otopine pH 13 gdje je prah crnog ribiza iz smaragdno zelene promijenio boju u maslinasto zelenu boju, a pri pH 14 iz zeleno–žute u oker boju. Smrznuti crni ribiz (Slika 94.) u jakim je kiselinama crvene boje, te rastom pH crvena boja blijedi, kod pH 13 poprima zelenkastu boju, a pri pH 14 žuto-zelenu boju. Može se zaključiti kako od ispitanih

proizvoda crnog ribiza, najveći potencijal kao kiselo–bazni indikator pokazuju sok, džem, čaj i prah od crnog ribiza, te također smrznuti crni ribiz, dok se vino i suhi crni ribiz nisu vizualno istaknuli.

Bioaktivni spojevi u crnom ribizu i proizvodima od njega prikazani su u Tablicama 14.–16. U svježem crnom ribizu utvrđene su izuzetno visoke koncentracije antocijanina delfinidina i cijanidina, koji su također pronađeni i u džemu, ali u izuzetno niskim koncentracijama dok u vinu nisu pronađeni. Kako su ovi spojevi vjerojatno glavni spojevi odgovorni za promjene boje uočene kod crnog ribiza, zbog njihovog nedostatka u slučaju vina dobila se vizualno manjkava promjena boje.

Svježi crveni ribiz (Slika 95.) u kiselom, neutralnom i lužnatom mediju poprima crvenkastu boju, do pH 13 gdje poprima svijetlo plavu boju, a pri pH 14 je žuto zelene boje. Suhi crveni ribiz (Slika 96.) do pH 12 poprima crvenkastu boju koja je jačeg intenziteta u jakim kiselinama. Pri pH 13 prelazi u sivkasto zelenu boju, dok je pri pH 14 žuto zelene boje.

Ispitani su domaći i kupovni crveni ribiz, jer kupovni crveni ribiz dolazi iz mješavine voća koje stajanjem i prilikom odmrzavanja ipak pusti dio soka (u kojemu se nalaze bioaktivni spojevi), pa uočena promjena boje u ovisnosti o pH može biti posljedica drugog voća iz voćnog miksa, a ne samog crvenog ribiza. Smrznuti domaći crveni ribiz (Slika 97.) u jakim lužinama poprima crvenu boju koja do pH 12 blijedi. Pri pH 13 poprima plavo sivu boju, dok je pri pH 14 svijetlo zelene boje. Smrznuti kupovni crveni ribiz (Slika 99.) ima slične promjene boje kao smrznuti domaći crveni ribiz. U jakim je kiselinama crvene boje čija boja blijedi do pH 12 gdje poprima svijetlo ružičastu boju. U otopini pH 13 poprima plavo zelenkastu boju, dok je u otopini pH 14 zelene boje.

Čaj od crvenog ribiza (Slika 98.) kroz pH područje ima iste promjene boje kao smrznuti domaći crveni ribiz, s razlikom da su kod čaja od crvenog ribiza boje svijetlije.

Bioaktivni spojevi prisutni u svježem crvenom ribizu prikazani su u Tablici 17. Količinski najzastupljeniji je antocijanin cijanidin, koji je u visokoj koncentraciji pronađen i u crnom ribizu. Kao i u slučaju crnog ribiza, i crveni ribiz sadrži antocijanin delfinidin, ali je u ovom slučaju njegova koncentracija izuzetno mala i znatno niža od koncentracije izmjerene u crnom ribizu. Dominirajući cijanidin vjerojatno je glavni spoj odgovoran za uočene promjene boje crvenog ribiza pri određenoj pH vrijednosti.

Rakija s plavim ogrozdnom i ogrozd iz rakije se nisu vizualno iskazali kao kiselo–bazni indikatori. Rakija (Slika 100.) nema izražene promjene boje u cijelom pH području. Ogrozd iz rakije (Slika 101.) poprima svijetlo narančastu boju u cijelom pH području, osim u jakim

kiselinama gdje je zelenkaste boje. Svježi plavi ogrozd (Slika 102.), odnosno jošta, poprima u jakim kiselinama intenzivno crvenu boju koja blijedi rastom pH vrijednosti. Pri pH 13 poprima plavu boju, dok je pri pH 14 zelenkaste boje. Na temelju ispitivanja proizvoda od ogrozda kao potencijalnih kiselobaznih indikatora možemo zaključiti kako rakija od ogrozda nije zadovoljila kao kiselobazni indikator, ogrozd iz rakije može se koristiti u identificiranju jakih lužina, dok je jošta pokazala dojmljivu promjenu boje kroz cijelo pH područje.

Bioaktivni spojevi utvrđeni u svježem ogrozdu prikazani su u Tablici 18. Dominantan spoj je antocijanin cijanidin, ali je prisutan u prilično niskim koncentracijama koje se prilikom prerade vjerojatno izgube zbog čega proizvodi od ogrozda (rakija) nisu pokazali potencijal primjene kao kiselobazni indikator.

Svježa borovnica (Slika 103.) u jakim je kiselinama crvene boje, dok od pH 3–12 poprima svijetlu narančastu boju. U jakim kiselinama kod pH 13 poprima maslinasto zelenu boju, a pri pH 14 žutu boju. Sok od borovnice (Slika 104.) u svim je područjima pH vrijednosti, osim u jakim lužinama, svijetlo ružičaste boje. Pri pH 13 poprima sivkasto zelenu boju, a kod pH 14 je maslinasto zelene boje. Džem od borovnice (Slika 105.) u jakim je kiselinama crveno-ružičaste boje, dok porastom pH ta boja blijedi. U otopini pH 12 poprima sivkasto ružičastu boju, pri pH 13 je sivo zelene boje, dok pri pH 14 poprima zelenu boju.

Suha borovnica (Slika 106.) u otopini pH 1 je crvenkaste boje, od pH 2–11 je svijetlo smeđe boje, u otopini pH 12 je sive boje, pri pH 13 maslinasto zelene boje, dok kod pH 14 je žuto zelene boje. Čaj od borovnice (Slika 107.) nije se vizualno iskazao kao svježa borovnica i proizvodi od borovnice. Promjene boja koje je čaj pokazao su dosta svijetle i teško primjetne. U jakim kiselinama do pH 11 je svijetlo crvene boje, pri pH 12 je svijetlo zelene, pri pH 13 svijetlo maslinasto zelene, dok pri pH 14 svijetlo žuto zelene boje.

Za razliku od čaja, smrznuta borovnica (Slika 108.) pokazala je vizualno dojmljiviju promjenu boje. U jakim kiselinama je izrazito crvene boje, koja porastom pH blijedi sve do pH 12 kada je bezbojna. U otopini pH 13 poprima plavo-zelenu boju, a u otopini pH 14 poprima žuto zelenu boju.

Bioaktivni spojevi u svježoj borovnici prikazani su u Tablici 19. Dominantni spojevi su kvercetin i ferulična kiselina koja doprinose izvrsnom antioksidacijskom potencijalu borovnice, ali nisu značajni za uočene promjene boje.



Sok od brusnice (Slika 109.) ima izrazito svijetle promjene boje. U jakim je kiselinama svijetlo ružičaste boje i boja blijedi do pH 12 gdje poprima svijetlo sivu-zelenkastu boju. U otopini pH 13 je svijetlo zelenkaste boje, a u otopini pH 13 poprima svijetlo žutu boju.

Suha brusnica (Slika 111.) je u otopinama od pH 1–11 svijetlo crvenkaste boje, u otopini pH 12 prelazi u sivkastu boju, dok je u otopini pH 13 svijetlo maslinasto zelene boje i otopini pH 14 svijetlo žute boje. Također, potencijal suhe brusnice kao kiselo-baznog indikatora ispitan je u Eppendorf tubama prema pripremi. Ustanovljeno je da su promjene boje suhe brusnice nakon 24 h jednake kao i prije 24 h, s razlikom da su promjene boje intenzivnije nakon 24 h (Slika 112. a) i b)).

Čaj od brusnice (Slika 110.), za razliku od suhe brusnice i soka od brusnice, ima oku vidljivije promjene boje. U jakim kiselinama poprima crvenu boju koja porastom pH blijedi do pH 12 gdje je svijetlo ružičaste boje. U otopini pH 13 je maslinasto zelene boje, a u otopini pH 14 poprima žutu boju. Džem od brusnice (Slika 113.) u otopinama od pH 1–12 je svijetlo narančaste boje, u otopini pH 13 svijetlo smeđe boje, dok je u otopini pH 14 svijetlo žuto smeđe boje.

Bioaktivni spojevi u brusnici i džemu od brusnice prikazani su u Tablicama 19.–21. Dominantan spoj u svježoj (američkoj) brusnici je antocijanin peonidin, ali i cijanidin koji znatno doprinose uočenim bojama. U slučaju džema također su uočeni, ali u manjim koncentracijama.

Svježi ružin šipak (Slika 114.) vizualno se nije istaknuo promjenom boje. U svim područjima pH vrijednosti je narančaste boje, jedino je u jakim lužinama narančasta boja tamnija i intenzivnija. Također, potencijal svježeg šipka kao kiselo-baznog indikatora ispitan je prema pripremi u Eppendorf tubama. Sve otopine su bile bezbojne (Slika 120.a)), dok nakon 24 h (Slika 120.b)) promjene boje su vidljive u jakim lužinama pri pH 13 gdje je otopina poprimila žutu boju, a otopina pH 14 narančastu boju.

Čaj od šipka (Slika 48.) pri pH 1 poprima crvenu boju i ona blijedi do pH 11. U otopini pH 12 čaj poprima sivu boju, u otopini pH 13 je zelene boje, dok je u otopini pH 14 oker boje. Otopine od pH 1–12 u kojima je džem od šipka (Slika 115. i Slika 116.) poprimaju narančastu boju, otopina pH 13 smeđe je boje, dok otopina pH 14 je bezbojna.

Suhi šipak (Slika 117. i Slika 118.) je u otopinama od pH 1–12 narančaste boje, dok je u otopini pH 13 smeđe boje i u otopini pH 14 žuto smeđe boje. Također, suhi šipak stavljen je prema pripremi u Eppendorf tube i nakon 24 h (Slika 119.) iskazao je vidljivije promjene boje u jakim lužinama pri pH 13 gdje je poprimio intenzivnu tamno smeđu boju, dok je pri pH 14 poprimio tamniju narančasto smeđu boju. Smrznuti šipak (Slika 121.) nije se pokazao

kao idealan kiselo–bazni indikator, jer je u svim područjima pH vrijednosti narančaste boje. Može se zaključiti kako se ružin šipak u svježem obliku i prerađevinama nije pokazao kao savršen kiselo–bazni indikator, osim čaj od šipka.

Svježe goji bobice (Slika 122.) nisu pokazale potencijal kao kiselo–bazni indikator, jer su u svim područjima pH vrijednosti narančaste boje. Suhe goji bobice (Slika 124.) mogle bi se iskoristiti samo u određivanju otopina pH 1, jer je otopina pH 1 svijetlo žute boje, dok su ostale otopine do pH 14 narančaste boje. Suhe goji bobice također su ispitane prema pripremi u Eppendorf tubama (Slika 125.a)). Nakon 24 h u tubama (Slika 125.b)) goji bobice nisu promijenile boju, osim što su boje postale tamnije nego što su bile prije 24 h. Čaj od goji bobica (Slika 123.) je svijetlo žute boje, jedva primjetne, u jakim kiselinama. Boja postaje tamnija porastom pH i prema tome u otopinama pH 13 i pH 14 poprima svijetlo žutu boju.

Svježa aronija pokazala se dojmljivim pH indikatorom, te također proizvodi od aronije. Svježa aronija (Slika 126.) u jakim je kiselinama tamno crvene boje i porastom pH boja blijedi. U otopini pH 12 poprima svijetlo ružičastu boju, pri pH 13 je plavo zelene boje, dok je u otopini pH 14 zeleno žute boje. Sok od aronije (Slika 127.) u svim područjima pH vrijednosti je tamno crvene boje, dok pri pH 13 prelazi u zelenu boju, a pri pH 14 poprima žuto zelenu boju. Sok od sibirske aronije (Slika 128.) ima jednake promjene boje kao sok od aronije, jedina razlika je da su promjene boje kod soka od sibirske aronije malo svijetlije.

Čaj od aronije (Slika 129.) u otopinama pH–3 crvene je boje, od pH 4 boja čaja posvijetli i do pH 11 je svijetlo ružičaste boje. U otopini pH 12 je sivo zelene boje, u otopini pH 13 žuto zelene boje, dok u otopini pH 14 poprima oker boju. Suha aronija (Slika 130.) u svim otopinama poprima izuzetno tamne boje. Od pH 1–12 je tamno crvene boje, pri pH 13 je tamno zelene boje, a pri pH 14 žute je boje. Ispitan je potencijal suhe aronije kao kiselo–baznog indikatora u Eppendorf tubama (Slika 131.a)). Suha aronija u tubama nakon 24 h (Slika 131.b)) nije pokazala zamjetnu razliku u boji.

Džem od aronije (Slika 132.) crvene je boje do pH 11, u otopini pH 12 je sivkasto ružičaste boje, u otopini pH 13 je sivo zelene boje i u otopini pH 14 žuto zelene boje. Vino od aronije (Slika 133.) je svijetlo ružičaste boje u kiselinama, neutralnoj otopini i lužnatim otopinama do pH 11. U otopini pH 12 je sive boje, u otopini pH 13 poprima sivo zelenu boju, dok je u otopini pH 14 maslinasto zelene boje. Bioaktivni spojevi pronađeni u aroniji prikazani su u Tablici 22. U aroniji je pronađena izuzetno visoka koncentracija različitih estera antocijanina cijanidina koji su zaslužni za uočene promjene boje ovih bobica.

Svježi drijen (Slika 137.) ružičaste je boje u jakim kiselinama, od pH 3–11 je izuzetno svijetlo ružičaste boje, pri pH 12 zelene je boje, kod pH 13 poprima žuto zelenu boju i u otopini pH 14 žute je boje. Suhi drijen (Slika 135.) svijetlo je crvene boje u jakim kiselinama, od pH 3–12 boja blijedi i suhi drijen poprima svijetlo ružičastu boju. U jakim lužinama, pri pH 13 sive je boje i pri pH 14 sivo zelene boje. Sok od drijena (Slika 134.) narančasto crvene je boje u otopinama pH 1 i pH 2, svijetlo ružičaste boje u otopinama pH 3–11, u otopini pH 12 je svijetlo ljubičaste boje, pri pH 13 zelene boje, dok je u otopini pH 14 žute boje. Čaj od drijena (Slika 136.) je pri pH 1 i 2 svijetlo narančaste boje, boja blijedi do pH 12 gdje je svijetlo ružičaste boje. Pri pH 13 je sivkaste boje, dok je pri pH 14 svijetlo sivo žute boje. Džem od drijena (Slika 138.) crvenkaste je boje u otopinama pH 1–12, pri pH 13 poprima zelenu boju, dok je u otopini pH 14 žuto zelene boje.

Korintske grožđice nisu se iskazale kao kiselo–bazni indikator. Korintske grožđice (Slika 140.) su svijetlo smeđe boje od pH 1–12, u otopini pH 13 su svijetlo zelene boje, dok su u otopini pH 14 svijetlo žute boje. Čaj od korinjskih grožđica (Slika 139.) nema primjetljive promjene boje i otopine su bezbojne do pH 13 gdje se vidi lagana promjena u svijetlo žutu boju, a u otopini pH 14 je žute boje. Također, ispitan je potencijal korinjskih grožđica kao kiselo–baznog indikatora prema pripremi u Eppendorf tubama (Slika 141.a)) gdje su otopine bezbojne do pH 12. Pri pH 13 poprimaju svijetlo žutu boju, dok pri pH 14 tamnije žutu boju. Nakon 24 h (Slika 141.b)) nije došlo do zamjetne promjene boje osim pri pH 13 gdje je došlo do promjene u žutu boju, a pri pH 14 u svijetlo smeđu boju.

## 6. METODIČKI DIO

### 6.1. Priprema za nastavni sat

Za obradu nastavne jedinice „Kisele, neutralne i lužnate otopine“ predviđena su dva školska sata. Tijek i obrada nastavnog sata navedeni su u pripremi.

<b>NASTAVNI PREDMET:</b>	Kemija
<b>RAZRED:</b>	Sedmi razred
<b>BROJ NASTAVNOG SATA:</b>	
<b>NASTAVNA CJELINA:</b>	Tvari, vrste tvari i njihova svojstva
<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	Kisele, neutralne i lužnate otopine
<b>CILJ NASTAVNE JEDINICE:</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Definirati pojmove: kiselina, lužina i indikatori</li><li>2. Ispitati svojstva kiselih, neutralnih i lužnatih otopina</li><li>3. Upoznati učenike s pojmom indikatori i čemu indikatori služe</li><li>4. Ispitati kiselost i lužnatost vodenih otopina indikatorima koji su dostupni</li><li>5. Poticati učeničku znatiželju</li></ol>
<b>KLJUČNI POJMOVI:</b>	Kiseline, neutralne otopine, lužine, indikatori, pH vrijednost
<b>POTREBNO PREDZNAVANJE:</b>	
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni, individualni, razgovor, grupni rad
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	PowerPoint prezentacija, laptop i projektor, udžbenik, radni listići
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Predavanje, razgovor

<b>KORELACIJA GRADIVA:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Biologija</li> </ul> <p>Zajedno kroz razgovor s učenicima povezati uočeno s prethodno stečenim znanjem iz kemije i biologije</p>
<b>LITERATURA:</b>	Tamara Banović, Karmen Holenda, Sandra Lacić, Elvira Kovač-Andrić, Nikolina Štiglic: Kemija 7, Profil Klett d.o.o., Zagreb, 2. izdanje 2020. 53.str.-56.str.

### OČEKIVANA POSTIGNUĆA

- ✓ razlikovati pojmove otapalo, otopljena tvar i otopina
- ✓ objasniti i razlikovati pojmove kiselina, lužina i neutralna otopina
- ✓ kritički razmatrati upotrebu anorganskih i organskih tvari i njihov utjecaj na zdravlje čovjeka i okoliš
- ✓ primijeniti pravila sigurnoga ponašanja pri rukovanju kemikalijama, posuđem i priborom
- ✓ razlikovati i navesti indikatore za kiseline i lužine
- ✓ objasniti zašto je sok crvenog kupusa univerzalni indikator

<b>ETAPE NASTAVNOG SATA</b>	<b>Aktivnosti učitelja/nastavnika</b>	<b>Aktivnosti učenika</b>	<b>Sociološki oblici rada</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ponoviti s učenicima stečeno znanje o otopinama, otapalima i otopljenim tvarima</li> </ul>		

<p><b>Uvodni dio</b> <b>(5min)</b></p>	<p>1. Što je otapanje? Očekivani odgovor: Otapanje je fizikalni proces miješanja čestica dviju ili više različitih tvari na razini čestica.</p> <p>2. Navedi primjer otapanja i kakva smjesa je dobivena na osnovu navedenog primjera? Očekivani odgovor: npr. otapanje šećera u vodi. Dobivena smjesa je homogena smjesa i naziva se otopina.</p> <p>3. Objasni na prošlom primjeru koji su sastavni dijelovi otopine. Očekivani odgovor: Sastavni dijelovi otopine su otapalo (voda) i otopljena tvar (šećer).</p>	<p><b>-odgovaranje na pitanja</b></p> <p><b>-prisjećanje</b></p> <p><b>-govorenje</b></p>	<p>✓ <b>razgovor</b></p> <p>✓ <b>frontalni rad</b></p>
<p><b>Središnji dio</b> <b>(75min)</b> <b>blok sat</b></p>	<p>✓ pred učenike složiti na stol različite tvari iz</p>		

	<p>kućanstva: limun, deterdžent, kuhinjska sol, sapun, ocat i jabuka. Navesti učenike da prepoznaju tvari i da pokušaju navesti neka njihova svojstva.</p> <p>✓ <i>Uočiti slična svojstva kod nekih tvari, te na osnovu sličnih svojstava razvrstati ih u najviše 3 skupine.</i></p> <p>- učenici objašnjavaju prema kojim kriterijima su podijelili tvari i navode podjelu.</p> <p>- Očekivani odgovor:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. skupina: limun, jabuka, ocat</li> <li>2. skupina: sapun, deterdžent</li> <li>3. skupina: kuhinjska sol</li> </ol> <p>✓ <i>Upoznati učenike s 3 velike skupine tvari.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uočavanje</li> <li>- razgovor</li> <li>- slušanje</li> <li>- razgovor</li> <li>- zaključivanje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>frontalni i individualni rad</b></li> <li>✓ <b>grupni rad</b></li> <li>✓ <b>razgovor</b></li> <li>✓ <b>pisanje</b></li> </ul>
--	---	--	---

	<p>3 velike skupine: <b>kiseline, lužine i soli.</b></p> <p>✓ <i>Objasniti što su kiseline, navesti primjere nekih kiselina, te njihovu ulogu i u koje dvije skupine dijelimo kiseline.</i></p> <p><b>Kiseline</b> nastaju u tijelu mnogih živih bića.</p> <p>Mravlja kiselina je sastavni dio sline mrava, klorovodična kiselina ima važnu u probavi hrane.</p> <p><b>Kiseline ubrajamo u kemijske spojeve.</b></p> <p>Kiseline dijelimo u dvije skupine:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- organske kiseline (npr. vinska, mliječna, octena, limunska)</li> <li>- anorganske kiseline (npr. sumporna, klorovodična, ugljična, dušična).</li> </ul> <p>✓ <i>Objasniti što su lužine i kako se pripremaju.</i></p>		
--	---	--	--



	<p><i><b>Nabrojati najčešće korištene lužine.</b></i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Lužine</b> su vodene otopine suprotnih svojstava od kiselina.</li> <li>- Jednostavna priprema lužina je otapanjem hidroksida metala u vodi.</li> <li>- u pokusima se često rabe kalcijeva i natrijeva lužina.</li> </ul> <p>✓ <i><b>Objasniti što se događa reakcijom kiseline i lužine.</b></i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- međusobnom reakcijom odgovarajuće kiseline i lužine nastaje neutralna otopina.</li> <li>- <b>kiselina + lužina ↔ sol + voda</b></li> </ul> <p><i><b>Na temelju naučenog svaki učenik, tvari s početka sata, razvrstava u skupine (kiseline, lužine i soli) kojima te tvari pripadaju.</b></i></p> <p>1. skupina: limun, jabuka, ocat -</p> <p><b>KISELINE</b></p>		
--	---	--	--

	<p>2. skupina: sapun, deterdžent - <b>LUŽINE</b></p> <p>3. skupina: kuhinjska sol – <b>SOLI</b></p> <p>✓ <b><i>Kako možemo ispitati kiselost, neutralnost ili lužnatost otopina?</i></b></p> <p>- kemikalijama se ne ispituje okus!</p> <p>- za ispitivanje kiselosti, neutralnosti ili lužnatosti neke otopine koriste se <b>INDIKATORI</b></p> <p>- <b>Indikatori su tvari koje promjenom svoje boje dokazuju prisutnost druge tvari</b></p> <p><i>-Učitelj podijeli učenike u grupe, podijeli učenicima radni listić s uputama za rad i pribor za praktični rad. Učenici izvršavaju praktični rad prema uputama na radnom listiću, te zaključuju, zapisuju opažanja te na kraju svaka grupa iznosi svoje zaključke pred cijelim razredom. Učitelj prati izvršavaju li učenici</i></p>		
--	--	--	--

*zadatak. Radni listić se nalazi na kraju pripreme ( RADNI LISTIĆ 1 – INDIKATORI).*

*Nabroji nekoliko indikatora pomoću kojih se može odrediti lužnatost, neutralnost i kiselost otopina.*

- Plavi lakmusov papir služi za dokazivanje kiselina
- Crveni lakmusov papir služi za dokazivanje lužina
- Univerzalni indikatorski papir promjenom boje dokazuje kiselu, neutralnu ili lužnatu otopinu
- Otopina metiloranža je u kiseloj sredini crvena, a u lužnatoj sredini žuta
- Otopina fenolftaleina je u

	<p>kiseloj sredini bez boje, a u lužnatoj sredini ružičasta (purpurna)</p> <p><i>-Objasni ljestvicu pH vrijednosti za kiselost, neutralnost i lužnatost.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ljestvica pH vrijednosti univerzalnog indikatora je u vrijednosti od 0 do 14.</li> <li>• pH vrijednosti manje od 7 odgovaraju kiselinama, pH vrijednosti veće od 7 odgovaraju lužinama, dok pH vrijednost koja je jednaka 7 predstavlja neutralne otopine.</li> </ul> <p><i>- Učitelj podijeli učenike u grupe, podijeli pribor za praktični rad, te podijeli radne listiće. Cilj</i></p>		
--	---	--	--

	<p><i>praktičnog rada je upoznati učenike s prirodnim indikatorima.</i></p> <p><i>Učenici zapisuju opažanja i donose zaključke. Svaka grupa tj. predstavnik grupe nakon odrađenog praktičnog rada iznosi opažanja i zaključke svoje grupe. Radni listić se nalazi na kraju pripreme ( RADNI LISTIĆ 2 – PRIRODNI INDIKATOR – SOK CRVENOG KUPUSA).</i></p>		
<p><b>Završni dio (10min)</b></p>	<p>- Ponavljanje gradiva putem rješavanja zadataka s radnog listića. Svaki učenik dobije radni listić kojim se provjerava usvojenost sadržaja. Radni se listić nalazi na</p>	<p>- <b>Pisanje</b></p> <p>- <b>zaključivanje</b></p>	<p>✓ <b>individualni rad</b></p> <p>✓ <b>pisanje</b></p> <p>✓ <b>razgovor</b></p>

	kraju pripreme (RADNI LISTIĆ 3 – KISELE, NEUTRALNE I LUŽNATE OTOPINE - ponavljanje).		
--	--	--	--

## PLAN UČENIČKOG ZAPISA

### KISELE, NEUTRALNE I LUŽNATE OTOPINE

#### Indikatori:

- tvari koje promjenom svoje boje dokazuju prisutnost druge tvari
- tvari koje u dodiru s kiselinama i lužinama mijenjaju boju
- plavi i crveni lakmusov papir, univerzalni indikatorski papir, metiloranž, fenolftalein

	plavi lakmusov papir	crveni lakmusov papir	metiloranž	fenolftalein
kiselo područje	crvena	/	Crvena	/
lužnato područje	/	plava	/	crvenoljubičasta

#### Prirodni indikatori

- obojeni prirodni sokovi u nekome voću ili povrću (npr. sok od crvenog kupusa, sok od cikle)

#### Soli

- kemijski spojevi (npr. natrijev klorid, modra galica)

## 6.2. Primjeri radnih listića

### RADNI LISTIĆ 1 – INDIKATORI

**PONOVIMO:** Koja su pravila sigurnoga ponašanja pri rukovanju kemikalijama, posuđem i priborom?



- ✓ Naučili smo da kemikalijama ne ispitujemo okus tj. ne smijemo ih kušati.
- ✓ Da je nešto kiselo, neutralno ili lužnato, određujemo pomoću indikatora.
- ✓ Indikatori su tvari koje promjenom boje dokazuju prisutnost neke druge tvari.

**Pribor:** vodena otopina deterdženta, vodena otopina sode bikarbone, destilirana voda, ocat, vodena otopina limuna, metiloranž, fenolftalein, crveni i plavi lakmus papir, stalak s epruветama satno staklo, univerzalni indikator papir, pinceta.

#### **Postupak:**

**Korak 1.** U epruветama se nalaze otopine tvari raspoređene prema navedenom redosljedu.

**Korak 2.** U svaku epruветu uz pomoć pincete uroni najprije crveni lakmus papir, a zatim plavi lakmus papir. U svaku epruветu stavi novi papir. Upotrijebljeni papir odloži na satno staklo. Prati promjene i zabilježi opažanja u tablicu.

**Korak 3.** U svaku epruветu dodaj par kapi otopine metiloranža. Zabilježi promjene u tablicu.

**Korak 4.** U novi set epruветa dodaj kap otopine fenolftaleina. Zabilježi promjene u tablicu.

**Opažanje:**

	<b>Crveni lakmus papir</b>	<b>Plavi lakmus papir</b>	<b>Otopina metiloranža</b>	<b>Otopina fenolftaleina</b>
<b>vodena otopina deterdženta</b>				
<b>vodena otopina sode bikarbone</b>				
<b>destilirana voda</b>				
<b>ocat</b>				
<b>vodena otopina limuna</b>				

**Zaključak:**

--



## RADNI LISTIĆ 2

### PRIRODNI INDIKATOR – SOK CRVENOG KUPUSA

**Pribor i kemikalije:** pribor za ribanje, nož, posuda, prozirne čaše (plastične), zaštitne rukavice, kuhalo za vodu, cjedilo, destilirana voda, crveni kupus, vodovodna voda, sok limuna, sredstvo za čišćenje drvenog namještaja, vodena otopina sode bikarbone, domestos, sredstvo za čišćenje pećnice, ocat.



#### **Postupak:**

##### **Korak 1. Priprema indikatora**

Izribaj pola male glavice crvenog kupusa. Na izribani kupus dodati vrelu destiliranu vodu i sve dobro promiješati i ostaviti da odstoji 5minuta. Nakon toga kupus procijediti kroz cjedilo. Zaostali kupus na cjedilu baciti.

**Korak 2.** U čašice staviti malo svake od navedenih tvari i u svaku kapnuti par kapi soka crvenog kupusa. Promatraj i zabilježi promjene.

#### **Opažanje:**

	<b>sok crvenog kupusa</b>
vodovodna voda	
sok limuna	
sredstvo za čišćenje drvenog namještaja	
vodena otopina sode bikarbone	
<i>Domestos</i>	
sredstvo za čišćenje pećnice	
ocat	

#### **Zaključak:**



## **RADNI LISTIĆ 3 – KISELE, NEUTRALNE I LUŽNATE OTOPINE -**

### **ponavljanje**



**1. Dopuni rečenicu:**

Indikatori su tvari koje promjenom \_\_\_\_\_ dokazuju prisutnost neke druge tvari.

**2. Nabroji 3 kiseline iz kućanstva.**

**3. Zaokruži točan odgovor.**

Indikatori za kiseline su crveni lakmusov papir i fenolftalein.      **DA**      **NE**

**4. Indikator metiloranž bit će crven u sljedećim otopinama (zaokruži točne odgovore):**

- Limunade
- Vodene otopine sapune za ruke
- Narančinog soka
- Vodovodne vode
- Jabučnog octa
- Vodene otopine deterdženta

**5. Dopuni rečenicu:**

Indikatori za lužine su \_\_\_\_\_ i \_\_\_\_\_.

**6. Spoji parove:**

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1. plavi lakmusov papir je crven.                    | neutralna otopina |
| 2. crveni i plavi lakmusov papir ne mijenjanju boju. | lužnata otopina   |
| 3. crveni lakmusov papir je plav.                    | kisela otopina    |

**7. Zaokruži točan odgovor.**

a) **pH vrijednost jake kiseline bila bi:**

- a. 1-2
- b. 5-6
- c. 8-9
- d. 12-13

b) **pH vrijednost slabe lužine bila bi:**

- a. 1-2
- b. 5-6
- c. 8-9
- d. 12-13

### 6.3. Rješenja radnih listića

## RADNI LISTIĆ 1 - INDIKATORI

### Opažanje:

	<b>Crveni lakmus papir</b>	<b>Plavi lakmus papir</b>	<b>Otopina metiloranža</b>	<b>Otopina fenolftaleina</b>
<b>vodena otopina deterdženta</b>	plavo obojenje	nema promjene boje	žuto obojenje	blijedo ružičasto obojenje
<b>vodena otopina sode bikarbone</b>	plavo obojenje	nema promjene boje	žuto obojenje	ružičasto obojenje
<b>destilirana voda</b>	nema promjene boje	nema promjene boje	žuto obojenje	bez boje
<b>ocat</b>	nema promjene boje	crveno obojenje	crveno obojenje	bez boje
<b>vodena otopina limuna</b>	nema promjene boje	crveno obojenje	crveno obojenje	bez boje

### Zaključak:

**Zaključujemo da su vodena otopina deterdženta i vodena otopina sode bikarbone lužnate otopine prema promjenama boje na 4 indikatora (otopina metiloranža je žuta, otopina fenolftaleina je od blijedo ružičasta do intenzivno ružičasta, crveni lakmus papir je poplavio, dok na plavom lakmus papiru nema promjene boje. Ocat i vodena otopina limuna su kisele otopine, jer otopina metiloranža i plavi lakmus papir poprimaju crveno obojenje, dok na crvenom lakmus papiru nema promjene boje, a otopina fenolftaleina je bezbojna. Zaključujemo da je destilirana voda neutralna otopina, jer na crvenom i plavom lakmus papiru nema promjene boje, otopina fenolftaleina je bezbojna, a otopina metiloranža žuta.**

## RADNI LISTIĆ 2 – PRIRODNI INDIKATOR – SOK CRVENOG

### KUPUSA

#### Opažanje:

	sok crvenog kupusa
vodovodna voda	<u>Sok crvenog kupusa u vodovodnoj vodi je plavo-ljubičast. Otopina je neutralna.</u>
sok limuna	<u>Sok crvenog kupusa u soku od limuna poružičasti. Otopina je kisela.</u>
sredstvo za čišćenje drvenog namještaja	<u>Sok crvenog kupusa u sredstvu za čišćenje drvenog namještaja poplavi. Otopina je lužnata.</u>
vodena otopina sode bikarbone	<u>sok crvenog kupusa u vodenoj otopini sode bikarbone poplavi. Otopina je lužnata.</u>
<i>Domestos</i>	<u>Sok crvenog kupusa u vodenoj otopini domestosa požuti. Otopina je lužnata.</u>
sredstvo za čišćenje pećnice	<u>Sok crvenog kupusa sredstvu za čišćenje pećnice pozeleni, a zatim nakon vremena požuti. Otopina je lužnata.</u>
ocat	<u>Sok crvenog kupusa u octu poružičasti. Otopina je kisela.</u>

#### Zaključak:

Iz dobivenih rezultata provedenog pokusa možemo zaključiti da je crveni kupus univerzalni indikator. Kada se u indikator (otopinu) crvenog kupusa ulije neka lužnata kemikalija ona mijenja boju u plavo ili žutozelenu, a kada se u indikator (otopinu) crvenog kupusa ulije neka kisela kemikalija ona mijenja boju u ružičasto. Kada je neka otopina ili kemikalija neutralna indikator crvenog kupusa ne mijenja boju.

## RADNI LISTIĆ 3 – KISELE, NEUTRALNE I LUŽNATE OTOPINE –

### ponavljanje

**1. Dopuni rečenicu:**

Indikatori su tvari koje promjenom **boje** dokazuju prisutnost neke druge tvari.

**2. Nabroji 3 kiseline iz kućanstva.**

Npr. limun, jabučni ocat, vinska kiselina.

**3. Zaokruži točan odgovor.**

Indikatori za kiseline su crveni lakmusov papir i fenolftalein.      **DA**       **NE**

**4. Indikator metiloranž bit će crven u sljedećim otopinama (zaokruži točne odgovore):**

- Limunade
  - Vodene otopine sapune za ruke
- Narančinog soka
  - Vodovodne vode
- Jabučnog octa
  - Vodene otopine deterdženta

**5. Dopuni rečenicu:**

Indikatori za lužine su crveni lakmusov papir i fenolftalein.

**6. Spoji parove:**

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1. plavi lakmusov papir je crven.                    | neutralna otopina |
| 2. crveni i plavi lakmusov papir ne mijenjanju boju. | lužnata otopina   |
| 3. crveni lakmusov papir je plav.                    | kisela otopina    |
-

**7. Zaokruži točan odgovor.**

**a) pH vrijednost jake kiseline bila bi:**

- a. 1-2
- b. 5-6
- c. 8-9
- d. 12-13

**b) pH vrijednost slabe lužine bila bi:**

- a. 1-2
- b. 5-6
- c. 8-9
- d. 12-13

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitan je potencijal primjene odabranog biljnog materijala kao kiselobaznog indikatora. Istraženi biljni materijal bilo je jagodičasto i bobičasto voće. Biljni materijal je ispitan u obliku svježeg voća i u obliku dostupnih prerađevina (sušeno voće, sokovi, čajevi, džemovi, te u pojedinim slučajevima i voćno vino), a u rad su uključene one prerađevine koje sadrže najveći udio voća te nisu sadržavale umjetne boje i arome kao ni druge potencijalne kiselobazne indikatore (npr. cvijet hibiskusa).

Istraživanje provedeno na jagodi i proizvodima od jagode pokazuje kako od sveg ispitanog materijala svježja jagoda pokazuje vizualno najuočljivije promjene boje za pojedinu pH vrijednost. U slučaju kupine i maline svježi, suhi, smrznuti materijal i čaj pokazali su najuočljivije promjene boje za pojedinu pH vrijednost. Međutim, preostali proizvodi od kupine i maline pokazali su potencijal primjene kao indikatori. Crna malina i tayberry su pokazali veliki potencijal primjene u svim ispitanim oblicima, dok se bijeli dud nije pokazao dojmljivim kiselobaznom indikatorom. Za tu bi namjenu vjerojatno bio bolji crni dud koji zbog nedostupnosti na tržištu nismo uključili u istraživanje.

Istraživanje provedeno na vinovoj lozi pokazalo je veliki potencijal primjene grožđa i proizvoda na bazi grožđa, ali se *Rose* vino, grožđice i aceto balsamico nisu vizualno istaknuli. Slično je i s crnim ribizom, kod kojeg se suho voće i voćno vino nisu pokazali vizualno dojmljivima. U slučaju ogrozda, samo je svježi plavi ogrozd pokazao potencijal primjene, dok je u slučaju crvenog ribiza potencijal primjene pokazao sav ispitan materijal. Čaj od borovnice je pokazao najmanje dojmljivu promjenu boje u ovisnosti o pH medija, a u slučaju brusnice to je bio sok od brusnice. Ružin šipak, goji bobice i korintske grožđice nisu se istakli kao potencijalni indikatori, dok su aronija i drijenak pokazali veliki potencijal primijene kao kiselobazni indikatori.

Dobiveni rezultati dokazuju učinkovitost alternativnih kiselobaznih indikatora za vizualizaciju i razumijevanje pH vrijednosti. Istraživanje pokazuje i potencijal voća kao alata za učenje, posebno u razumijevanju lekcija iz kemije (primjerice u razumijevanju kemijskih struktura i procesa, pojmova kiseline i baze, pH vrijednosti i pH indikatora), te u razumijevanju prisutnosti i važnosti kemije u stvarnom životu. Učenici lakše razumiju sve informacije koje mogu povezati sa svakodnevnim životom. Rezultati rada pokazali su da se svakodnevni materijal može uspješno implementirati u učionici kemije.

Sintetski indikatori imaju komplicirana imena, nemaju vezu sa svakodnevnim životom, a mogu biti i prilično skupi. U ovom radu je pokazano da se sintetski indikatori



mogu uspješno zamijeniti odabranim biljnim materijalom koji ima niz prednosti pred sintetskim indikatorima. Niska cijena, dostupnost cijele godine, jednostavna priprema bez štetnih nusprodukata pripreme (bilo po okoliš ili po zdravlje), mogućnost pripreme u malim količinama i pohrane u hladnjaku na duži period, jednostavno skladištenje neke su od prednosti ispitanog biljnog materijala kao kiselo–baznog indikatora.

## 8. LITERATurna VRELA

- [1] <https://sciencing.com/common-acid-base-indicators-8375206.html> (3.9.2020.)
- [2] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/15cf791a-4c97-4f29-84d9-17c1b47ceccc/kemija-2/m04/j03/index.html> (3.9.2020.)
- [3] <https://www.hindawi.com/journals/bri/2015/381721/> (19.8.2020.)
- [4] <https://sciencing.com/function-litmus-paper-5072700.html> (8.8.2020.)
- [5] <http://edieacidbase.weebly.com/indicators.html> (31.8.2020.)
- [6] <https://www.preclaboratories.com/product/neutral-litmus-test-paper/> (31.8.2020.)
- [7] <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z89jq6f/revision/1> (21.8.2020.)
- [8] <https://www.thoughtco.com/definition-of-ph-indicator-605499> (1.9.2020.)
- [9] <https://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=univerzalni+indikator> (21.8.2020.)
- [10] <http://www.biocoshop.eu/instrumenti-i-testeri/176-indikator-papir-u-rolici-ph-1-14-.html> (1.9.2020.)
- [11] <https://db.degruyter.com/view/IUPAC/iupac.compound.4764> (2.9.2020.)
- [12] <https://byjus.com/chemistry/phenolphthalein/> (20.8.2020.)
- [13] <https://hr.thpanorama.com/articles/qumica/fenolftalena-c20h14o4-estructura-qumica-propiedades.html> (2.9.2020.)
- [14] <https://www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=13444> (3.9.2020.)
- [15] <https://www.chemistryworld.com/podcasts/phenolphthalein/3009674.article> (20.8.2020.)
- [16] <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/33518?lang=en&region=HR> (1.9.2020.)
- [17] <https://www.britannica.com/science/phenolphthalein> (31.8.2020.)
- [18] <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/mechanism-phthalic-anhydride-phenolphthalein-2-eqv-phenol-q7323693> (1.9.2020.)
- [19] <https://www.ch.ic.ac.uk/vchemlib/course/indi/> (2.9.2020.)
- [20] <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/methylorange3273354758011?lang=en&region=HR> (3.9.2020.)
- [21] <https://www.chemguide.co.uk/physical/acidbaseeqia/indicators.html> (3.9.2020.)
- [22] <https://socratic.org/questions/56f8aa8f7c01497bac13bd26> (4.9.2020.)
- [23] <https://byjus.com/chemistry/bromothymol-blue/> (1.9.2020.)
- [24] <https://study.com/academy/lesson/bromothymol-blue-definition-uses-formula.html> (1.9.2020.)

- [25] <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/114413?lang=en&region=HR> (1.9.2020.)
- [26] <https://alchetron.com/Bromothymol-blue> (1.9.2020.)
- [27] <https://www.simply.science/popups/working.html> (1.9.2020.)
- [28] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10303> (4.9.2020.)
- [29] <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/methylred2693049352711?lang=en&region=HR> (4.9.2020.)
- [30] [https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_EN\\_CB1112962.htm](https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB1112962.htm) (4.9.2020.)
- [31] <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40828-016-0026-4.pdf> (4.9.2020.)
- [32] <https://alchetron.com/Methyl-red> (4.9.2020.)
- [33] <https://microbeonline.com/methyl-red-mr-test-principle-procedure-results/> (5.9.2020.)
- [34] <https://www.toppr.com/guides/science/acids-bases-and-salts/natural-indicators-around-us/> (5.9.2020.)
- [35] [https://globallab.org/en/project/cover/rastitelnye\\_indikatory.en.html#.X1kX43kzbIU](https://globallab.org/en/project/cover/rastitelnye_indikatory.en.html#.X1kX43kzbIU) (5.9.2020.)
- [36] <https://zenodo.org/record/1048226#.X0PpYsgzbIU> (5.9.2020.)
- [37] <https://www.thoughtco.com/home-and-garden-ph-indicators-601971> (4.9.2020.)
- [38] [https://www.profil-klett.hr/system/files/repozitorij/pdf/biljke\\_kao\\_kiselo\\_bazni\\_indikatori.pdf](https://www.profil-klett.hr/system/files/repozitorij/pdf/biljke_kao_kiselo_bazni_indikatori.pdf) (4.9.2020.)
- [39] <https://www.stevespanglerscience.com/lab/experiments/red-cabbage-chemistry/#:~:text=Red%20cabbage%20contains%20a%20water,a%20pH%20greater%20than%207.> (5.9.2020.)
- [40] <https://abqstew.com/2017/04/07/the-only-test-you-dont-need-to-study-for/> (4.9.2020.)
- [41] [https://etd.ohiolink.edu!etd.send\\_file?accession=osu1437655932&disposition=inline](https://etd.ohiolink.edu!etd.send_file?accession=osu1437655932&disposition=inline) (5.9.2020.)
- [42] <https://www.intechopen.com/books/phenolic-compounds-natural-sources-importance-and-applications/anthocyanin-pigments-importance-sample-preparation-and-extraction> (5.9.2020.)
- [43] <https://www.intechopen.com/books/food-additives/nutritional-bioactive-and-physicochemical-characteristics-of-different-beetroot-formulations> (6.9.2020.)
- [44] <https://www.childrenofterra.org/apps/blog/entries/show/46059417-diy-turmeric-indicator> (26.8.2020.)
- [45] <https://www.mdpi.com/1420-3049/19/12/20091/pdf> (30.8.2020.)

- [46] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1021949817301345?via%3Dihub> (30.8.2020.)
- [47] <https://www.americanscientist.org/article/curious-chemistry-guides-hydrangea-colors> (10.9.2020.)
- [48] <https://hr.happydiysite.com/1581014-> (10.9.2020.)
- [49] [https://www.researchgate.net/figure/The-chemical-structure-of-delphinidin-3-glucoside-Dp\\_fig9\\_250925983](https://www.researchgate.net/figure/The-chemical-structure-of-delphinidin-3-glucoside-Dp_fig9_250925983) (10.9.2020.)
- [50] <https://chronicleflask.com/tag/natural-indicator/#:~:text=Strawberry%20juice%20acts%20as%20an,acid%2C%20about%20pH%203> (12.9.2020.)
- [51] <https://www.agroklub.ba/sortna-lista/voce/jagoda-8/> (15.9.2020.)
- [52] <http://phenol-explorer.eu/contents/food/79> (12.9.2020.)
- [53] <https://www.agroklub.ba/sortna-lista/voce/kupina-12/> (15.9.2020.)
- [54] <https://www.agroklub.ba/sortna-lista/voce/malina-15/> (15.9.2020.)
- [55] <http://phenol-explorer.eu/contents/food/67> (15.9.2020.)
- [56] [https://www.researchgate.net/publication/332615098\\_The\\_Mulberry\\_Morus\\_alba\\_L\\_The\\_Medicinal\\_Herbal\\_Source\\_for\\_Human\\_Health](https://www.researchgate.net/publication/332615098_The_Mulberry_Morus_alba_L_The_Medicinal_Herbal_Source_for_Human_Health) (15.9.2020.)
- [57] <https://kupisadnice.ba/index.php?item=dud-bijeli-p9--kom&action=article&aid=4243&lang=hr#.X2EiB2gzbIU> (15.9.2020.)
- [58] <https://uzgajanje.com/crna-malina-sadnja-uzgoj/> (15.9.2020.)
- [59] [https://specialtyproduce.com/produce/Tayberries\\_12376.php](https://specialtyproduce.com/produce/Tayberries_12376.php) (15.9.2020.)
- [60] <https://soria-natural.hr/crni-ribiz-ribes-nigrum-l/> (16.9.2020.)
- [61] <https://www.prakticanzivot.com/ribiz-9390> (16.9.2020.)
- [62] [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612014000100020](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612014000100020) (16.9.2020.)
- [63] [https://www.exotic-seeds.store/en/home/black-grape-seeds-vitis-vinifera.html?product\\_rewrite=black-grape-seeds-vitis-vinifera](https://www.exotic-seeds.store/en/home/black-grape-seeds-vitis-vinifera.html?product_rewrite=black-grape-seeds-vitis-vinifera) (16.9.2020.)
- [64] <https://www.plantea.com.hr/ogrozd/> (16.9.2020.)
- [65] [https://www.kupinko.hr/index.php?route=tmdblog/blog&blog\\_id=32](https://www.kupinko.hr/index.php?route=tmdblog/blog&blog_id=32) (16.9.2020.)
- [66] <https://www.dietpharm.com/en/blog/brusnica-kao-snazan-antioksidans-ljekovita-svojstva-upotreba-i-djelovanje/> (16.9.2020.)
- [67] <https://seoskiposlovi.com/2014/11/25/uzgoj-brusnice-vaccinium-l/> (16.9.2020.)
- [68] <https://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/article/sipak> (16.9.2020.)
- [69] <https://www.dugzivot.com/Naslovnica/goji-bobice/> (16.9.2020.)

- [70] <http://vocarskisavjeti.blogspot.com/2011/10/aronija.html> (16.9.2020.)
- [71] <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-019-03313-0> (16.9.2020.)
- [72] K.R. Maatta-Riihinen, A. Kamal-Eldin, A.R. Torronen, *J. Agric. and Food Chem.* 52 (2004), 6178-6187.
- [73] S.Y. Wang, Z. Wei, G.J. Galletta, *J. Agric. Food Chem.* 50 (2002), 6534-6542.
- [74] K. Skupien, J. Oszmianski, *Eur. Food Res. Technol.* 219 (2004), 66-70.
- [75] I.C.W. Arts, B. van de Putte, P.C.H. Hollman, *J. Agric. Food Chem.* 48 (2000), 1746-1751.
- [76] S. de Pascual-Teresa, C. Santos-Buelga, J.C. Rivas-Gonzalo, *J. Agric. Food Chem.* 48 (2000), 5331-5337.
- [77] S. Ehala, M. Vaher, M. Kaljurand, *J. Agric. Food Chem.* 53 (2005), 6484-6490.
- [78] B. Schuster, K. Herrmann, *Phytochemistry* 24 (1985) 2761-2764.
- [79] P. Mattila, J. Kumpulainen, *J. Agric. Food Chem.* 50 (2002), 3660-3667.
- [80] B.R. Cordenunsi, J.R. Oliveira-do-Nascimento, M.I. Genovese, F.M. Lajolo, *J. Agric. Food Chem.* 50 (2002), 2581-2586.
- [81] B.R. Cordenunsi, M.I. Genovese, J.R. Oliveira-do-Nascimento, N.M.A. Hassimotto, R.J. Santos, F.M. Lajolo, *Food Chem.* 91 (2005), 113-121.
- [82] C. Garcia-Viguera, P. Zafrilla, F.A. Tomas-Barberan, *J. Sci. Food Agric.* 73 (1997), 207-213.
- [83] M.J. Cho, L.R. Howard, R.L. Prior, J.R. Clark, *J. Sci. Food Agric.* 84 (2004), 1771-1782.
- [84] L. Wada, O. Boxin, *J. Sci. Food Agric.* 50 (2002), 3495-3500.
- [85] W. Mullen, A.J. Stewart, M.E.J. Lean, P. Gardner, G.G. Duthie, A. Crozier, *J. Sci. Food Agric.* 50 (2002), 5197-5201.
- [86] B. de Ancos, E. Ibanez, G. Reglero, M.P. Cano, *J. Sci. Food Agric.* 48 (2000), 873-879.
- [87] B. de Ancos, E. Gonzalez, M.P. Cano, *Z Lebensm Unters Forsch* 208 (1999), 33-38.
- [88] P. Zafrilla, F. Ferreres, F.A. Tomas-Barberan, *J. Sci. Food Agric.* 49 (2001), 3651-3655.
- [89] A. Rommel, R.E. Wrolstad, *J. Sci. Food Agric.* 41 (1993), 1941-1950.
- [90] A. Rommel, R.E. Wrolstad, *J. Sci. Food Agric.* 41 (1993), 1951-1960.
- [91] E. Cantos, J.C. Espin, F.A. Tomas-Barberan, *J. Sci. Food Agric.* 50 (2002), 5691-5696.
- [92] S. Kallithraka, A.A.A. Mohdaly, D.P. Makris, P. Kefalas, *J. Sci. Food Agric.* 18 (2005), 375-386.
- [93] L. Bavaresco, M. Fregoni, M. Trevisan, F. Mattivi, U. Vrhovsek, R. Falchetti, *Vitis* 41 (2002), 133-136.

- [94] I. Kolouchova-Hanzlikova, K. Melzoch, V. Filip, J. Smidrkal, *Food Chem.* 87 (2004), 151-158.
- [95] A. de Villiers, G. Vanhoenacker, P. Majek, P. Sandra, *J. Chromatogr. A* 1054 (2004), 195-204.
- [96] P. Dugo, O. Favoino, M.L. Presti, R. Luppino, G. Dugo, L. Mondello, *J. Sep. Sci.* 27 (2004), 1458-1466.
- [97] M. Rossouw, J. Marais, *South African J. Enol. Vitic.* 25 (2004), 94-104.
- [98] G. Gonzalez-Neves, C. Gomez-Cordoves, L. Barreiro, *J. Wine Res.* 12 (2001), 125-133.
- [99] M. Schwarz, P. Quast, D. v. Baer, P. Winterhalter, *J. Agric. Food Chem.* 51 (2003), 6261-6267.
- [100] E.N. Frankel, A.L. Waterhouse, P.L. Teissedre, *J. Agric. Food Chem.* 43 (1995), 890-894.
- [101] P.L. Teissedre, N. Landrault, *Food Res. Int.* 33 (2000), 461-467.
- [102] M. Schwarz, G. Hofmann, P. Winterhalter, *J. Agric. Food Chem.* 52 (2004), 498-504.
- [103] X. Vitrac, J.P. Monti, J. Vercauteren, G. Deffieux., J.M. Merillon, *Anal. Chim. Acta* 458 (2002), 103-110.
- [104] N. Landrault, F. Larronde, J.C. Delaunay, C. Castagnino, J. Vercauteren, J.M. Merillon, F. Gasc, G. Cros, P.L. Teissedre, *J. Agric. Food Chem.* 50 (2002), 2046-2052.
- [105] I.C.W. Arts, B. van de Putte, P.C.H. Hollman, *J. Agric. Food Chem.* 48 (2000), 1752-1757.
- [106] J. Burns, P.T. Gardner, J. O'Neil, S. Crawford, I. Morecroft, D.B. McPhail, C. Lister, D. Matthews, M.R. MacLean, M.E. Lean, G.G. Duthie, A. Crozier, *J. Agric. Food Chem.* 48 (2000), 220-230.
- [107] S. Carando, P.L. Teissedre, L. Pascual-Martinez, J.C. Cabanis, *J. Agric. Food Chem.* 47 (1999), 4161-4166.
- [108] R.C. Minussi, M. Rossi, L. Bologna, L. Cordi, D. Rotilio, G.M. Pastore, N. Duran, *Food Chem.* 82 (2003), 409-416.
- [109] M.A. Rodriguez-Delgado, G. Gonzalez-Hernandez, J.E. Conde-Gonzalez, J.P. Perez-Trujillo, *Food Chem.* 78 (2002), 523-532.
- [110] M.A. Rodriguez-Delgado, S. Malovana, J.P. Perez, T. Borges, F.J.G. Montelongo, *J. Chromatogr. A* 912 (2001), 249-257.
- [111] C. Pavia, S.A. Bufo, A. Scopa, L. Scrano, A. Guerrieri, T.R.I. Cataldi, *Adv. Food Sci.* 23 (2001), 100-107.

- [112] D.M. Goldberg, A. Karumanchiri, E. Tsang, G.J. Soleas, *Am. J. Enol. Vitic.* 49 (1998), 23-34.
- [113] S. Tintunen, P. Lehtonen, *Eur. Food Res. Technol.* 212 (2001), 390-394.
- [114] G.L. La Torre, M. Saitta, F. Vilasi, T. Pellicano, G. Dugo, *Food Chem.* 94 (2006), 640-650.
- [115] P. Jandera, V. Skerikova, L. Rehova, T. Hajek, L. Baldrianova, G. Skopova, V. Kellner, A. Horna, *J. Sep. Sci.* 28 (2005), 1005-1022.
- [116] E. Revilla, *Chromatographia* 22 (1986), 157-159.
- [117] S. Tsanova-Savova, F. Ribarova, *J. Food Composit. Anal.* 15 (2002), 639-645.
- [118] G. Stecher, C.W. Huck, M. Popp, G.K. Bonn, *Fresenius J. Anal. Chem.* 371 (2001), 73-80.
- [119] M.S. McDonald, M. Hughes, J. Burns, M.E. Lean, D. Matthews, A. Crozier, *J. Agri. Food Chem.* 46 (1998), 368-375.
- [120] D.M. Goldberg, E. Tsang, A. Karumanchiri, G.J. Soleas, *Am. J. Enol. Vitic.* 49 (1998), 142-151.
- [121] J.A.B. Baptista, J.F. da P. Tavares, R.C.B. Carvalho, *Food Res. Int.* 34 (2001), 345-355.
- [122] M. Lopez, F. Martinez, C. Del Valle, C. Orte, M. Miro, *J. Chromatogr. A* 922 (2001), 359-363.
- [123] E. Kilinc, H. Kalkan, *J. Wine Res.* 14 (2003), 17-23.
- [124] J. Hernandez-Borges, T. Borges-Miquel, G. Gonzalez-Hernandez, M.A. Rodriguez-Delgado, *Chromatographia* 62 (2005), 271-276.
- [125] R.J. Robbins, S.R. Bean, *J. Chromatogr. A* 1038 (2004), 97-105.
- [126] M.T. Ribeiro de Lima, J.C. Cabanis, *Bulletin OIV* 71 (1998), 1013-1027.
- [127] L. Gambelli, G.P. Santaroni, *J. Food Comp. Anal.* 17 (2004), 613-618.
- [128] M.T. Ribeiro de Lima, P. Waffo-Teguo, P.L. Teissedre, A. Pujolas, J. Vercauteren, J.C. Cabanis, J.M. Merillon, *J. Agric. Food Chem.* 47 (1999), 2666-2670.
- [129] M. Sato, Y. Suzuki, T. Okuda, K. Yokotsuka, *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 61 (1997), 1800-1805.
- [130] X. Vitrac, A. Bornet, R. Vanderlinde, J. Valls, T. Richard, J.-C. Delaunay, J.-M. Mérillon, P.-L. Teissédre, *J. Agric. Food Chem.* 53 (2005), 5664-5669.
- [131] K. Melzoch, V. Filip, D. Buckiova, L. Hanzlikova, J. Smrdrkal, *Czech J. Food Sci.* 18 (2000), 35-40.

- [132] D.M. Goldberg, E. Ng, A. Karumanchiri, J. Yan, E.P. Diamandis, G.J. Soleas, J. Chromatogr. A 708 (1995), 89-98.
- [133] O. Lamikanra, C.C. Grimm, J.B. Rodin, I.D. Inyang, J. Agric. Food Chem. 44 (1996), 1111-1115.
- [134] D.M. Goldberg, E. Ng, A. Karumanchiri, E.P. Diamandis, G.J. Soleas, Am. J. Enol. Vitic. 47 (1996), 415-420.
- [135] M. Mozzon, N. Frega, U. Pallotta, Ital. J. Food Sci. 8 (1996), 145-152.
- [136] R.M. Lamuela-Raventos, A.I. Romero-Perez, A.L. Waterhouse, M.C. de la Torre-Boronat, J. Agric. Food Chem. 43 (1995), 281-283.
- [137] X. Gu, L. Creasy, A. Kester, M. Zeece, J. Agric. Food Chem. 47 (1999), 3223-3227.
- [138] J.F. Moreno-Labanda, R. Mallavia, L. Perez-Fons, V. Lizama, D. Saura, V. Micol, J. Agric. Food Chem. 52 (2004), 5396-5403.
- [139] M. Abril, A.I. Negueruela, C. Perez, T. Juan, G. Estopanan, Food Chem. 92 (2005), 729-736.
- [140] J. Burns, T. Yokota, H. Ashihara, M.E.J. Lean, A. Crozier, J. Agric. Food Chem. 50 (2002), 3337-3340.
- [141] V.G. Dourtoglou, D.P. Makris, F. Bois-Dounas, C. Zonas, J. Food Comp. Anal. 12 (1999), 227-233.
- [142] S. Kallithraka, I. Arvanitoyannis, A. El-Zajouli, P. Kefalas, Food Chem. 75 (2001), 355-363.
- [143] M.A. Rodriguez-Delgado, G. Gonzalez, J.P. Perez-Trujillo, F.J. Garcia-Montelongo, Food Chem. 76 (2002), 371-375.
- [144] A.A. Souto, M.C. Carneiro, M. Seferin, M.J.H. Senna, A. Conz, K. Gobbi, J. Food Comp. Anal. 14 (2001), 441-445.
- [144] J. Zhou, H. Cui, G. Wan, H. Xu, Y. Pang, C. Duan, Food Chem. 88 (2004), 613-620.
- [145] U. Vrhovsek, R. Eder, S. Wendelin, Acta Aliment. 24 (1995), 203-212.
- [146] J.E. Belgaied, J. Wine Res. 12 (2001), 47-52.
- [147] N. Ratola, J.L. Faria, A. Alves, Food Technol. Biotechnol. 42 (2004), 125-130.
- [148] R.M. Lamuela-Raventos, A.L. Waterhouse, J. Agric. Food Chem. 41 (1993), 521-523.
- [149] K.D. McMurtrey, J. Minn, K. Pobanz, T.P. Schultz, J. Agric. Food Chem. 42 (1994), 2077-2080.
- [150] G. Stecher, C.W. Huck, M. Popp, G.K. Bonn, Fresenius J. Anal. Chem. 371 (2001), 73-80.



- [151] A.I. Romero-Perez, R.M. Lamuela-Raventos, A.L. Waterhouse, M.C. de la Torre-Boronat, *J. Agric. Food Chem.* 44 (1996), 2124-2128.
- [152] F. Karadeniz, R.W. Durst, R.E. Wrolstad, *J. Agric. Food Chem.* 48 (2000), 5343-5350.
- [153] X. Wu, L. Gu, R.L. Prior, S. McKay, *J. Agric. Food Chem.* 52 (2004), 7846-7856.
- [154] K.R. Maatta, A. Kamal-Eldin, A.R. Torronen, *J. Agric. Food Chem.* 51 (2003), 6736-6744.
- [155] M. Ollanketo, M.L. Riekkola, *J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol.* 23 (2000), 1339-1351.
- [156] W. Zheng, S.Y. Wang, *J. Agric. Food Chem.* 51 (2003), 502-509.
- [157] Y. Zuo, C. Wang, J. Zhan, *J. Agric. Food Chem.* 50 (2002), 3789-3794.
- [158] D. Wencel, T. Abel, C. McDonagh, *Anal. Chem.* 86 (2013) 15-29.
- [159] S. Bargrizan, R. Smernik, L. Mosley, *Eur. J. Soil Sci.* 70 (2019) 411-420.
- [160] D.W. King, D.R. Kester, *Mar. Chem.* 26 (1989) 5-20.
- [161] S.K. Parks, J. Chiche, J. Pouyssegur, *Nat. Rev. Canc.* 13 (2013) 611-623.
- [162] C. Leites Luchese, N. Sperotto, J. Corralo Spada, I.C. Tessaro, *Int. J. Biol. Macromol.* 104 (2017), 11-18.
- [163] C. Leites Luchese, V. Ferreira Abdalla, J. Corralo Spada, I.C. Tessaro, *Food Hydrocoll.* 82 (2018), 209-218.
- [164] R. Andretta, C. Leites Luchese, I.C. Tessaro, J. Corralo Spada, *Food Hydrocoll.* 93 (2019), 317-324.
- [165] I. Choi, J. Young Lee, M. Lacroix, J. Han, *Food Chem.* 218 (2017), 122-128.
- [166] K. Zhang, T.-S. Huang, H. Yan, X. Hu, T. Ren, *Int. J. Biol. Macromol.* 145 (2020), 768-776.
- [167] K. Halász, L. Csóka, *Food Packag. Shelf Life* 16 (2018), 185-193.
- [168] F. Ebrahimi Tirtashi, M. Moradi, H. Tajik, M. Forough, P. Ezati, B. Kuswandi, *Int. J. Biol. Macromol.* 136 (2019), 920-926.
- [169] J. Peraltaa, C.M. Bitencourt-Cervia, V.B.V. Maciela, C.M.P. Yoshidab, R.A. Carvalho, *Food Packag. Shelf Life* 19 (2019), 47-55.
- [170] S. Rawdkuen, A. Faseha, S. Benjakul, P. Kaewprachu, *Food Biosci.* 36 (2020), 100603.

## 9. DODACI

### 9.1. Životopis

#### Osobni podaci:

Katarina Bilić	Sprečanska 33, Brijest, 31000 Osijek
28. studeni 1993.	E-mail: <a href="mailto:katarina.bilic11@gmail.com">katarina.bilic11@gmail.com</a>

---

#### Obrazovanje:

- 2018. – 2020. Odjel za kemiju, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Diplomski studij – nastavnički smjer – mag. educ. chem.
  - 2012. – 2018. Odjel za kemiju, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Preddiplomski studij – univ. bacc. chem.
  - 2008. – 2012. Isusovačka klasična gimnazija s pravom javnosti u Osijeku
  - 2000. – 2008. Osnovna škola August Šenoa, Osijek
- 

#### Kompetencije i vještine:

- **Sportska (odbojkaška) karijera:**

- **ŽOK Osijek (2007. – 2018.):**

- 2. mjesto u Superkupu Hrvatske (seniorke), 20. listopada 2017.
- 2017. – Sportaš Hrvatske 3. kategorije – Vrhunski sportaš
- 3. mjesto u 1. nacionalnoj odbojkaškoj ligi (seniorke), 2016./2017.
- Sudjelovanje na 3. europskim sveučilišnim sportskim igrama, Zagreb-Rijeka 2016.
- 2. mjesto u Kupu Hrvatske (seniorke) – 2016.
- 2. mjesto na Prvenstvu Hrvatske za juniorke, 2012.
- 3. mjesto na Prvenstvu Hrvatske za kadetkinje, 2010.
- 3. mjesto na Prvenstvu Hrvatske za kadetkinje, 2009.

- **ŽOK Enna Vukovar (2018. – 2020.)**

---

- **XIII. Susret mladih kemijskih inženjera (SMLKI), veljača 2020., Zagreb**

---

- **Osobne vještine:**

- Materinski jezik: hrvatski
  - Strani jezici: engleski – aktivno u govoru i pismu  
njemački – pasivno u govoru i pismu
  - Računalne vještine: odlično služenje MS Office-om, internetom i e-mailom
-