

Primjena svježe aronije, *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott, kao kiselo baznog indikatora

Pejić, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:182:598843>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**

Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Diplomski sveučilišni studij kemije

Anja Pejić

**Primjena svježe aronije, *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott, kao
kiselobaznog indikatora**

Diplomski rad

Osijek, 2022.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Diplomski sveučilišni studij kemije

Anja Pejić

**Primjena svježe aronije, *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott, kao
kiselo-baznog indikatora**

Diplomski rad

Mentor: doc. dr. sc. Ana Amić

Osijek, 2022.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Diplomski studij kemije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Kemija

**PRIMJENA SVJEŽE ARONIJE, ARONIA MELANOCARPA (MICHX.) ELLIOTT,
KAO KISELO-BAZNOG INDIKATORA**

Anja Pejić

Rad je izrađen na: Odjelu za kemiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Mentor: doc. dr. sc. Ana Amić

Sažetak

Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott, nazvana još i crnoplodna aronija, biljka je koja pripada porodici ruža (Rosacea), a svoje stanište pronalazi na kiselom i vlažnom tlu. U prirodi raste u obliku grma, a prepoznatljiva je po ljubičasto-crvenim plodovima koji se pojavljuju u velikom broju. U ovisnosti o pH medija, plod aronije mijenja boju otopine od crvene, roza preko ljubičaste, žute i zelene zbog čega se može koristiti kao alternativni kiselobazni indikator. Stoga je u ispitivanju korišten plod svježe aronije za pripremu kiselobaznih indikatora s odabranim otapalima. Cilj rada bio je utvrditi trajnost ovako pripremljenih indikatora i značaj otapala s kojim se indikator priprema. Ispitivanje uključuje i mogućnost recikliranja biljnog materijala u pripremi novih (recikliranih) indikatora. Rezultati istraživanja pokazuju izuzetnu dugotrajnost indikatora pripremljenih na ova način i samog korištenog prirodnog materijala. Ovakvi indikatori imali bi veliku primjenu zbog niske cijene, dugog roka trajanja, jednostavne pripreme i mogućnosti skladištenja. Zbog svih navedenih karakteristika, svježa je aronija izuzetno primjenjiva u nastavi kemije čime bi se učenicima vizualno približilo gradivo o indikatorima, što ujedno doprinosi boljem shvaćanju i razumijevanju gradiva. Na taj bi se način, primjenom svježe aronije kao kiselobaznog indikatora, zadovoljila potreba kurikularne reforme „Škola za život“ jer bi učenici naučeno gradivo mogli povezati sa svakodnevnim životom i primjenom istog.

Diplomski rad obuhvaća: 105 stranica, 197 slika, 2 tablice, 38 literaturnih navoda i 1 prilog

Jezik izvornika: Hrvatski jezik

Ključne riječi: aronija / pH / otapala / prirodni indikator

Rad prihvaćen: 12. 9. 2022.

Stručno povjerenstvo za ocjenu:

1. doc. dr. sc. Olivera Galović, predsjednica
2. doc. dr. sc. Ana Amić, mentorica i članica
3. izv. prof. dr. sc. Elvira Kovač-Andrić, članica
4. izv. prof. dr. sc. Mirela Samardžić, zamjena člana

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

**THE APPLICATION OF FRESH ARONIA FRUIT, ARONIA MELANOCARPA
(MICHX.) ELLIOTT, AS ACID-BASE INDICATOR**
Anja Pejić

Thesis completed at: Department of Chemistry, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Supervisor: Assist. Prof. Ana Amić, PhD

Abstract

Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott, also called black-fruited aronia and chokeberry, is a plant that belongs to the rose family (Rosacea), and finds its habitat on acidic and moist soil. In nature, we find it in the form of a bush, and it is recognizable by its purple-red fruits that appear in large numbers. Depending on the medium pH, chokeberry fruit changes colour of the medium from red, pink to purple, yellow and green, which is why it can be used as an alternative acid-base indicator. Therefore, in this study fresh chokeberry fruit was used in order to prepare acid-base indicators with selected solvents. The aim of this work was to determine the durability of indicators prepared in this way and the importance of the solvent with which the indicator is prepared. Thesis also includes study of the possibility of recycling plant material in the preparation of new (recycled) indicators. The results of the research show the exceptional durability of indicators prepared in this way and of the used plant material. Such indicators could be widely used due to their low cost, long shelf life, easy preparation and possibility of storage. Due to all the above-mentioned characteristics, fresh chokeberry is very applicable in chemistry classroom since it visually brings the teaching material about indicators closer to students and contributes to better comprehension and understanding of these lessons. The application of fresh chokeberry as an acid-base indicator would meet the need of the "School for Life" curricular reform, as the students would be able to connect the learned material with everyday life and its application.

Thesis includes: 105 pages, 197 figures, 2 tables, 38 references, 1 appendix

Original in: Croatian

Keywords: chokeberry / pH / solvents / natural indicator

Thesis accepted: 12. 9. 2022.

Reviewers:

1. Assist. Prof. Olivera Galović, PhD, chair
2. Assist. Prof. Ana Amić, PhD, mentor and member
3. Assoc. Prof. Elvira Kovač-Andrić, member
4. Assoc. Prof. Mirela Samardžić, substitute member

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

Zahvale

Najprije se od srca želim zahvaliti mentorici doc. dr. sc. Ani Amić koja je svojom strpljivošću, susretljivošću, znanjem i brigom doprinijela izradi ovog diplomskog rada. Bila je iznimna čast i zadovoljstvo imati Vas za mentora i dijeliti s Vama vrijeme u laboratoriju, hvala Vam!

Ipak, najveću zahvalnost, ljubav i poštovanje želim iskazati svojim roditeljima koji su uvijek bili oslonac, rame za plakanje, a ponekad i najveći kritičari na ovome putu. Nije bilo lako, bilo je i uspona i padova, suza, smijeha, odustajanja i ponovnog kretanja, ali se isplatilo. Hvala Vam !

Hvala i mojoj braći, Petru i Benjaminu te prijateljima koji su uvijek stajali uz mene i bili moj vjetar u leđa, hvala za neizmjernu podršku!

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. LITERATURNI PREGLED	2
2.1. Indikatori.....	2
2.2. Kiselo-bazni indikatori	3
2.3. Prirodni kiselo-bazni indikatori	4
2.4. <i>Aronija melanocarpa</i> (Michx.) Elliott.....	8
2.4.1 Bioaktivni spojevi u biljkama	10
3. MATERIJALI I METODE.....	12
3.1. Ispitivani biljni materijal	12
3.2. Pribor i kemikalije	12
3.3. Priprema otopina	13
3.4. Priprema indikatora i plan rada.....	13
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	14
4.1. Indikator pripremljen s hladnom vodom	14
4.2. Indikator pripremljen s vrućom vodom.....	27
4.3. Indikator pripremljen s acetonom	39
4.4. Indikator pripremljen s metanolom.....	53
4.5. Indikator pripremljen s etanolom	67
5. METODIČKI DIO	82
5.1. Priprema za nastavni sat	82
5.2. Prilozi metodičkom dijelu.....	93
5.2.1 Radni listić	93
5.2.2 Tablica za samovrednovanje	96
5.2.3 KWL tablica	96
5.2.4 Istraživački rad	97
5.2.5 Rješenja radnog listića	98
6. ZAKLJUČAK.....	100
7. LITERATurna VRELA.....	102
8. PRILOZI.....	104
8.1. Životopis	104

1. UVOD

Reformom školstva i primjenom kurikularne reforme „Škola za život“, tradicionalni, frontalni način poučavanja zamjenjuje se novim metodama poučavanja što u nastavi kemije podrazumijeva izvođenje pokusa čime bi se učenicima omogućila primjena stečenog znanja u svakodnevnom životu. Učenjem o kiselobaznim indikatorima dolazi se do problema izvođenja pokusa s istima zbog toga što se nerijetko poseže za konvencionalnim indikatorima koji su u principu skupi, a samim time i većini škola nedostupni. Prethodnim ispitivanjima, došlo se do zaključka kako se i prirodni materijali mogu koristiti kao kiselobazni indikatori, a oni su cijenom pristupačniji i jednostavniji u pripremi za izvođenje pokusa u školama.

U prvom dijelu rada prikazani su neki od konvencionalnih indikatora te su navedena područja pH vrijednosti u kojima dolazi do promijene boje. Budući da je rad temeljen na alternativnim kiselobaznim indikatorima, oni su nabrojani, opisani pripadajućim svojstvima te su prikazana područja pH vrijednosti u kojima dolazi do promijene boje ovih indikatora.

U drugom dijelu rada prikazani su materijali i metode korištene u svrhu ispitivanja biljnog materijala te je dan popis korištenih kemikalija i pribora. Prikazana je priprema indikatora od odabranog biljnog materijala, svježe aronije, u različitim otapalima (vruća i hladna voda, aceton, metanol i etanol) te priprema otopina odgovarajućih pH vrijednosti. Nakon toga, u radu su diskutirani rezultati istraživanja koji su potkrijepljeni pripadajućim fotografijama. U završnom dijelu rada, nalazi se metodički dio prikazan pripremom za sat, radnim listićem za učenike u koji zapisuju svoja zapažanja temeljena na pokusu te listićem za ponavljanje gradiva temeljenom na radnoj cjelini „Kisele, neutralne i lužnate otopine“.

Kao cjelokupni zaključak rada, može se reći kako je trajnost indikatora premašila sva očekivanja, budući da je očekivano vrijeme trajanja bilo mjesec do dva dana, a svježa se aronija kao indikator koristila preko četiri mjeseca. Uzimajući u obzir mogućnost recikliranja prirodnog materijala, aronija se pokazala kao relevantan kiselobazni indikator koji svoju primjenu u budućnosti može pronaći u školstvu, a moguće i u puno zahtjevnijim istraživanjima.

2. LITERATURNI PREGLED

2.1. Indikatori

Kemijski indikator može biti bilo koja tvar koja daje vidljivu promjenu, najčešće je to promjena boje, u prisutnosti ili nedostatku granične koncentracije određene kemijske vrste, bilo da se radi o kiselini ili o bazi [1]. Kao primjer može poslužiti metiloranž, koji u bazičnoj sredini daje žutu boju, a dodatkom kiseline postaje crven, nakon što se neutralizira sva baza i pH medija postane kiseo [2].

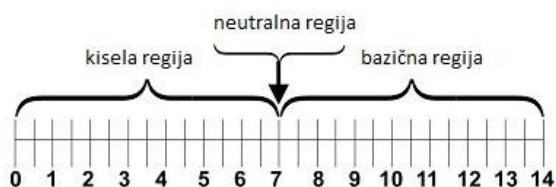
Indikatori se najčešće upotrebljavaju kako bi se otkrila krajnja točka titracije. Iako se promjena boje često susreće kao dokaz primjene indikatora, to nije uvijek slučaj. Naime, kao promjena može se susresti i stvaranje ili nestanak zamućenja medija. Kako bi neki indikator bio učinkovit, isti mora posjedovati visoku osjetljivost, odnosno mora pokazivati određenu osjetljivost već pri vrlo niskim koncentracijama [3].

Indikatori se dijele prema vrsti kemijske reakcije i kemijske titracije te tako osim kiselo-baznih indikatora, koji su i tema rada, postoje još adsorpcijski indikatori, kompleksometrijski indikatori, oksidacijsko-redukcijski indikatori. Adsorpcijski indikatori koriste se prilikom taložnih titracija. Oni su organski spojevi koji se adsorbiraju na površinu taloga prilikom taložne titracije. Posljedica adsorpcije je promjena boje taloga pri određenoj pH vrijednosti. Kao primjer može se spomenuti fluorescein koji se koristi pri titraciji klorida s AgNO_3 [4]. Kompleksometrijski indikatori su tvari koje prilikom titracije s ionima metala tvore kompleks topljiv u vodi. Kako bi se takav indikator mogao koristiti, potrebno je da ima manju konstantu stabilnosti od kompleksa iona metala i kompleksirajućeg titranta. Ovakvi se indikatori nazivaju još i metalokromni, a najvažniji među njima su eriokrom crno T, mureksid i salicilna kiselina [3]. Redoks indikatori su organske tvari, odnosno, slabi reducensi ili slabi oksidansi u kojima je boja oksidiranog i reduciranog dijela različita. Kako se mijenja redoks potencijal u sustavu, tako se mijenja i boja redoks indikatora. Kao primjeri ovakvih indikatora mogu se navesti difenilamin i njegovi derivati, škrob, metilensko plavilo [4].

2.2. Kiselo-bazni indikatori

Kiselo-bazni indikatori su indikatori koji mijenjaju boju u točno određenom pH području [5]. Na pH ljestvici od 0 do 14 (Slika 1.), bazama se smatraju tvari koje imaju pH veći od 7, otopine koje imaju $\text{pH} = 7$ smatraju se neutralnim, dok tvari koje imaju pH od 0 do 7, smatraju se kiselima.

Kiselo-bazni indikator je slaba baza ili slaba kiselina koja uzrokuje promjenu boje u ovisnosti o promjeni koncentracije hidroksidnih ili koncentracije vodikovih iona u vodenoj otopini. Neki od najpoznatiji kiselo-baznih indikatora su lakmus papir, timol plavo, fenol crveno, metiloranž i fenolftalein.

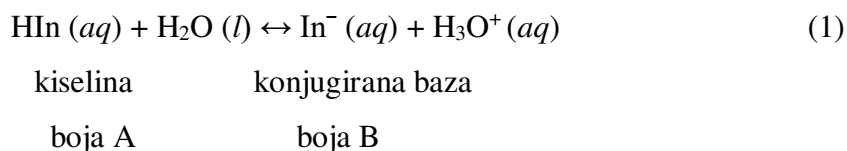


Slika 1. pH ljestvica [6].

Gore navedeni indikatori su konvencionalni kiselo-bazni indikatori te se kao takvi sintetiziraju u laboratoriju. Takvi indikatori imaju nedostatke kao što su visoka cijena te štetnost za zdravlje i okoliš.

Ukoliko je indikator slaba kiselina, tada su kiselina i njena konjugirana baza različite boje. Isto tako, ako je indikator slaba baza, u tom slučaju baza i njena konjugirana kiselina su različite boje [7].

Za indikator slabe kiseline formule HIn , ravnoteža se postiže kemijskom jednadžbom (1):



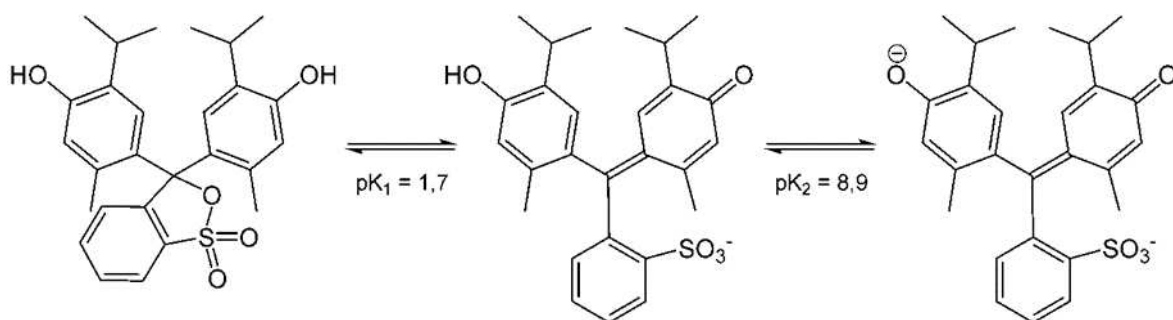
$\text{HIn} (aq)$ je kiselina, koja je različite boje od baze $\text{In}^- (aq)$. Kada je pH nizak, koncentracija hidronijevog iona (H_3O^+) je visoka, a ravnoteža je usmjerena prema lijevo,

stvarajući boju A. Pri visokom pH, koncentracija H_3O^+ je niska, tako da ravnoteža teži desnoj strani jednadžbe i nastanku boje B. Konstanta ravnoteže ove reakcije definirana je formulom (1) [8]:

$$K_{In} = [H_3O^+][In^-] / [HIn] \quad (1)$$

u kojoj je K_{In} konstanta disocijacije indikatora. Promjena boje dolazi u točki u kojoj su koncentracija anionske baze i kiseline izjednačene.

Primjer indikatora slabe kiseline je timolftalein, koji je bezbojan kao slaba kiselina, ali disocira u vodi stvarajući plavi anion. U kiseljoj otopini, ravnoteža je usmjerena ulijevo pa je otopina bezbojna, no kako se pH povećava, ravnoteža se pomiče udesno i vidljiva je plava obojenost [9]. Kao još jedan od primjera može se spomenuti i timol plavo (Slika 2.).



Slika 2. Struktura timol plavog u ovisnosti o pH vrijednosti [10].

Timol plavo je smeđe-zelen ili crvenkasto-smeđi kristalni prah koji se koristi kao pH indikator. Netopljiv je u vodi, ali je topljiv u alkoholu i razrijeđenim lužinama. Prelazi iz žute u crvenu boju pri $pH = 1,2-2,8$ i iz žute u plavu boju pri $pH = 8,0-9,6$ [10].

2.3. Prirodni kiselo-bazni indikator

Alternativni kiselo-bazni indikator ili samo prirodni indikator su vrsta kiselo-baznih indikatora koji se mogu pronaći u prirodi te se njima može odrediti je li tvar ili otopina te tvari kiselja ili bazična. Tako mnoge vrtne biljke, točnije biljni pigmenti, mogu poslužiti kao kiselo-bazni indikator. To su na primjer ksantofili (žuta boja), klorofil A i B (zelena boja), karotenoidi (narančasta boja) i antocijanini (crvena, plava i ljubičasta boja).

Ono što ove indikatore razlikuje od komercijalnih indikatora je prvenstveno prirodno podrijetlo, a nadalje i laka dostupnost i cjenovna pristupačnost, čime postaju prihvatljiviji u izvođenju pokusa u nastavi kemije. Još jedna velika prednost ovih indikatora je što nisu pogubni za zdravlje niti štetni za okoliš [11].

Primjeri alternativnih kiselo-baznih indikatora su: rajčica, cikla, crveni kupus, kurkuma, sok od grožđa, curry u prahu i sl. Osim ovih, postoje i kućni pripravci koji također mogu poslužiti kao pH indikatori, kao što su soda bikarbona i vanilija.

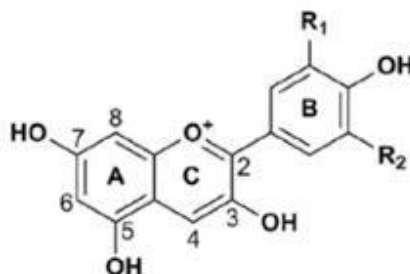
Najpoznatiji predstavnik prirodnih kiselo-baznih indikatora je crveni kupus (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*) koji sadrži veliki broj predstavnika iz skupine organskih spojeva antocijanina. To su pigmenti, topljiv u vodi, a nalaze se još i u grožđu, jabukama, maku, šljivama i drugom cvijeću i voću kojemu daju crvenu, plavu i/ili ljubičastu boju. Na primjer, ukoliko se antocijanin cijanidin nalazi u kiselim otopinama onda će on dati crvenu boju otopini [12]. Ukoliko je otopina neutralna, pigment rezultira ljubičastom bojom. Ovisno u kojem se pH području uzorak kupusa nalazi, promjena boje može rezultirati u rasponu od crvene, preko ljubičaste i plave do žute i zelene. Ovako široka lepeza obojenja posljedica je svih prisutnih pigmenata u crvenom kupusu, od kojih je cijanidin samo jedan, zbog čega se često upotrebljava u nastavi kemije pri izvođenju pokusa (Slika 3.) [13].



Slika 3. Promjena boje indikatora od crvenog kupusa u različitim pH područjima [14].

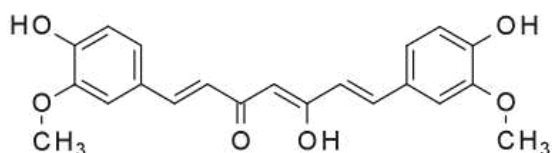
Antocijanini se kod biljaka nalaze u ljusci ili kožici biljke, a kod određenih vrsta mogu se pojaviti i u mesu ploda, kao što je slučaj kod trešnje. Ono što može povećati stabilnost ovih inače nestabilnih spojeva su temperatura, pH i enzimi [15]. Kemijski gledano, ovi spojevi sadrže dva benzilna prstena, A i B (Slika 4.), te jednu glikozidnu jedinicu. Međutim, nije rijetkost da sadrže i dva, tri ili više šećera koji su povezani na različitim položajima prstena, a mogu se pojaviti i kao bočni lanci oligosaharida. R_1 i R_2 označavaju supstituente, a to su najčešće vodik, hidroksilna skupina ili metoksi skupina [16]. Zbog

pozitivnog naboja koji se nalazi na kisiku na prstenu C, antocijanini su dobri antioksidansi. Antioksidacijsku aktivnost povećava i broj hidroksilnih skupina koje su vezane na prsten B, a broj šećera koji su vezani na prsten A i C ju smanjuju [17].



Slika 4. Strukturni prikaz antocijanina [16].

Kurkuma (*Curcuma longa* L.) koristi se kao začim. Najvažniji sastojak ove biljke je kurkumin koji je zaslužan za njezinu žutu boju. Kurkumin je polifenol iz skupine kurkuminoida (Slika 5.). Slabo je topljiv u vodi i nestabilan u kiselom pH području. Pigment mijenja boju od pH = 7,4-8,6. U bazičnoj sredini prikazuje narančasto ili crveno-smeđe obojenje, dok je u kiseloj i neutralnoj sredini žuto obojen (s tim da je boja u kiselom mediju intenzivnija i svjetlija nego u neutralnom mediju) [18].



Slika 5. Struktura kurkumina, $C_{21}H_{20}O_6$ [19].

Hortenzija (*Hydrangea macrophylla* L.) grm je velikih okruglih cvatova čija je boja uvjetovana kiselošću ili bazičnošću tla. Plavi se cvjetovi pojavljuju ukoliko je tlo kiselo, a ružičasti cvjetovi ukoliko je tlo bazično. Kisela tla čiji je pH niži od 5, obojati će cvjetove u plavo, a bazična tla, čiji je pH viši od 5,5, dati će ružičaste ili crvene cvjetove. Ukoliko je tlo blago kiselo do neutralno, pH = 6-7, nastajat će kombinacija plavih i ružičastih cvjetova (Slika 6.). Bijeli cvjetovi hortenzije ostaju takvi kakvi jesu neovisno o pH tla budući da su to kultivari na čiju boju cvijeta (točnije cvata) pH tla nema utjecaja [20].



a)

b)

Slika 6. a) Plavi cvijet hortenzije na kiselom tlu [21] i b) ružičasti cvijet hortenzije na bazičnom tlu [22].

Cikla (*Beta vulgaris* L.) biljka je koja sadrži betalaine, biljne pigmente koji se nalaze u korijenu ove biljke. Cikli daju prepoznatljivu crveno-ljubičastu boju te mogu djelovati kao antioksidansi. Na stabilnost pigmenata utječu svjetlost, temperatura, prisutnost kisika te enzimi kao što su polifenol oksidaza i peroksidaza. Betalaini se mogu podijeliti u dvije osnovne strukturne skupine, a to su crveno-ljubičasti betacijanini i žuti betaksantini. Svaku grupu pigmenata karakterizira R1–N–R2 ostatak u kojemu R1 i R2 mogu biti vodik, aromatska skupina ili neki drugi supstituent [23]. Betalaini su stabilni pri pH = 4-7, no iznad ili ispod tog pH dolazi do promjena strukture koje dovode do promjene boje tih pigmenata [24, 25]. Promjena boje biljnog pigmenta kod cikle prikazana je Slikom 7.



Slika 7. Promjena boje cikle pri različitim pH vrijednostima [26].

Prirodni indikatori predmet su sve većeg broja istraživanja koja se bave pametnim pakiranjima – pakiranjima za hranu koja promjenom boje ukazuju na kakvoću i svježinu hrane. Costa i sur. (2021) proveli su takvo istraživanje, a ispitivali su primjenu tropske biljke nangke ili Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) u pripremi pametnih filmova. Sjeme ove biljke sadrži antocijanine koji bi mogli poslužiti kao indikator svježine hrane, pa je u tu svrhu u radu pomoću pametnog filma s ekstraktom sjemena ove biljke ispitana svježina ribe.

Pripremljeni filmovi mijenjali su boju ovisno o promjeni pH do koje je došlo zbog smanjenja kakvoće ribe stajanjem, čime je pokazano kako se ovako pripremljena pametna pakiranja mogu učinkovito koristiti u svrhu dokazivanja svježine ribe [27].

Slično istraživanje proveli su Azim i sur. (2021), koji su u pripremi pametnih pakiranja koristili ekstrakt kože ploda pitaje (*Hylocereus polyrhizus* (F. A. C. Weber) Britton & Rose). Pripremili su pH-osjetljive želatinozne filmove u koje su inkorporirali ekstrakt ove biljke bogat antocijaninima. Filmovi su pokazali drugačiju boju kada su bili izloženi otopinama različitih pH pa je ovim radom pokazan potencijal ove biljke u pripremi indikatora koji ukazuju na svježinu hrane [28].

Pourjavaher i sur. (2017) razvili su kolorimetrijske pH indikatore napravljene od bakterijskih celuloznih nanovlakana i ekstrakta crvenog kupusa (antocijanini). Ispitali su vezu između koncentracije antocijanina te boje i učinkovitosti indikatora. Uočili su da su indikatori s manjom koncentracijom antocijanina pokazali jasnije boje i jasniji odgovor na promjenu pH medija. Autori smatraju kako bi se naljepnice pripremljene na ovaj način mogle koristiti kao indikator kvarenja skladištene hrane [29].

Halasz i Scoka (2018) su ispitali može li se crna aronija koristiti u pripremi sličnih pametnih pakiranja. U tu svrhu su pripremili filmove koji bi se koristili kao kolorimetrijski indikator. Autori su filmove pripremili tako da su pomiješali kitozan i ekstrakte komine crne aronije, a uočili su da su tako pripremljeni filmovi sadržavali dovoljno visoke koncentracije aktivnih tvari za promjene boje ovisne o pH. Filmovi koje su pripremili su pokazali dobra svojstva te su bili stabilni i pri niskom pH [30].

2.4. *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott

Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott je grm iz porodice ruža (Rosaceae), iz područja Sjeverne Amerike, preciznije iz Kanade i s Floride, a može narasti do visine od dva do tri metra. Crnoplodna aronija je jedna od tri priznata roda aronije te uz ovu postoje još crvena aronija (*A. arbutifolia* (L.) Pers) i ljubičasta aronija (*A. prunifolia* (Marshall) Rehder), nastala križanjem prethodno navedenih vrsta [31].

Tablica 1. Sistematska klasifikacija aronije [31].

Carstvo	Plantae
Odjeljak	Spermatophyta – sjemenjače
Pododjeljak	Angiospermae - kritosjemenjače
Razred	Magnoliopsida - dvosupnice
Podrazred	Rosidae
Red	Rosales
Porodica	Rosaceae - ruže
Potporodica	Amygdaliodeae
Rod	Aronia Medik

Aronija voli kisela i vlažna tla. Optimalna pH vrijednost tla koje pogoduje rastu aronije je pH = 6. Ne smetaju joj visoke ili niske temperature te ju to čini popularnom biljkom za uzgoj. Zbog svoje visoke otpornosti na mraz, dobila je i ime „Sibirska borovnica“. Uz to što je otporna na hladnoću, pokazuje i karakteristiku otpornosti na sušu, kukce i razna zagađenja [32].

Cvjetovi su bijele ili svjetlo roza boje, a sadrže pet okruglih latica i pet lapova. Cvjetovi aronije formiraju gornju, a to je tip cvata (Slika 8. a)). Listovi su zelene boje, sjajni, glatki, ovalnog oblika, nazubljeni i zašiljeni pri rubovima. U kolovozu i srpnju dolazi do cvatnje. Aronija se oprašuje kukcima. Plodovi (Slika 8. b)) su tamno plave bobice okruglog oblika. U plodu se nalazi pet do osam sjemenki, a jedan grozd čini 15 do 20 plodova. Plod aronije je gorkog okusa što je posljedica prisutnih amigdalina i oporih tanina [31-34].



a)

b)

Slika 8. a) Cvjetovi aronije, b) plodovi aronije [35].

Plodovi aronije izvor su tanina, polifenola, flavonoida, karotenoida te brojnih drugih bioaktivnih spojeva. Osim što su bogati raznim farmakološki aktivnim tvarima, plodovi aronije sadrže minerale cink, željezo, kalij, kalcij, jod i dr. Osim nabrojanog, plodovi su odličan izvor vitamina C, vitamina A i vitamina E, koji također doprinose antioksidacijskom učinku ovih bobica [36].

Aronija je prepoznata kao izrazito nutritivna biljka te, kao takva, bilježi porast potražnje na inozemnom i domaćem tržištu. Osim što se koristi kao ukrasna biljka, koristi se i za proizvodnju sirupa, sokova, namaza, želea i čaja.

2.4.1 Bioaktivni spojevi u biljkama

Bioaktivni spojevi u biljkama mogu se definirati kao sekundarni biljni metaboliti koji kod ljudi i životinja izazivaju određene farmakološke ili toksikološke učinke. Sekundarni metaboliti proizvode se u biljkama mimo primarnih biosintetskih i metaboličkih putova odgovornih za proizvodnju spojeva neophodnih za rast i razvoj biljke. Stoga se smatraju proizvodima biokemijskih „sporednih staza“ budući da nisu nužni za svakodnevno funkcioniranje biljke. Međutim, za neke od ovih spojeva utvrđeno je da imaju važnu ulogu za biljni organizam, kao što su zaštita, privlačenje ili signalizacija. Stoga se smatra da većina biljaka proizvodi barem neke od sekundarnih metabolita [37].

Oszmianski i Wojdylo (2005) su istraživali bioaktivne spojeve u aroniji, a rezultati njihovog istraživanja prikazani su u Tablici 2. Tablica sadržava podatke o glavnim utvrđenim skupinama (poli)fenola, spojevima i količini spoja izraženoj u mg / 100g suhe tvari.

Različitim analitičkim metodama moguće je ispitati i provjeriti sadržaj fenolnih tvari u biljnom materijalu. Rezultati prikazani u Tablici 2. dobiveni su pomoću tekućinske kromatografije visoke djelotvornosti (engl. *High Pressure Liquid Chromatography*, HPLC).

Tablica 2. (Poli)fenolni spojevi u svježoj aroniji [38].

Skupina spojeva	Spoj	Količina spoja (mg / 100 g suhe tvari)
flavani	proantocijanidini	5181,6
fenolne kiseline	klorogena kiselina	301,85
	neoklorogena kiselina	290,81
flavonoli	kvercetin-3-galaktozid	36,98
	kvercetin-3-glukozid	21,64
	kvercetin-3-rutinozid	15,1
	derivati kvercetina (neidentificirani)	27,43
antocijanini	cijanidin-3-galaktozid	1282,41
	cijanidin-3-arabinozid	581,5
	cijanidin-3-ksilozid	52,71
	cijanidin-3-glukozid	42,14
ukupni polifenoli		7849,21

Aronija je poznata kao bogat izvor antocijanina i fenolnih kiselina. Rezultati prikazani u Tablici 2. pokazuju da su polimerni proantocijanini najčešće zastupljena skupina spojeva u aroniji i predstavljaju 66 % polifenola u ovom voću. Polimerni flavan-3-oli sastoje se pretežno od (-)epitahina kao konstitutivnih jedinica procijanidina. U plodovima aronije, antocijanini su druga skupina fenolnih spojeva i predstavljaju oko 25 % ukupnih polifenola. Antocijanini koji su prema podacima dostupnim u *Phenol-Exploreru 3.6* utvrđeni u aroniji predstavljaju mješavinu četiri različita cijanidin glikozida: cijanidin-3-galaktozid, cijanidin-3-arabinozid, cijanidin-3-ksilozid i cijanidin-3-glukozid, od kojih je cijanidin-3-galaktozid količinski najzastupljeniji. Klorogena i neoklorogena kiselina čine 7,5 % fenola u voću. Utvrđen sadržaj flavonola u plodovima aronije u odnosu na sadržaj antocijana, klorogenih kiselina i procijanidina je nizak. Flavonoli aronije koji su identificirali Oszmianski i Wojdylo (2005) su tri glikozida kvercetina: kvercetin-3-galaktozid, kvercetin-3-glukozid i kvercetin-3-rutinozid (Tablica 2.). Prema ovom radu, flavonoli čine samo 1,3 % ukupnih fenola ploda aronije [38].

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Ispitivani biljni materijal

Biljni materijal koji je korišten u ovom radu bile su svježe i neobrađene zrele bobice aronije, *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott. Isti biljni materijal korišten je za pripremu originalnih i recikliranih indikatora, odnosno u pripremi recikliranih indikatora reciklirao se prethodno korišten biljni materijal.

3.2. Pribor i kemikalije

U radu su se koristile analitički čiste kemikalije, a voda koja je korištena za pripremu otopina određenih pH vrijednosti je demineralizirana i deionizirana.

Od kemikalija su korištene:

- klorovodična kiselina, HCl (37 %, BDH Prolabo),
- natrijev hidroksid, NaOH ($M = 40,00$ g/mol, T. T. T. doo),
- ultračista voda,
- etanol, C₂H₅OH ($M = 46,07$ g/mol, Kemika),
- metanol, CH₃OH ($M = 32,04$ g/mol, Kemika),
- aceton, C₃H₆O ($M = 58,08$ g/mol, Kemika).

Od pribora je korišteno:

Porculanske jažice, tučak s tarionikom (keramički), staklene čaše (10 mL, 50 mL, 100 mL, 250 mL), odmjerne tikvice (200 mL), kapalice, stakleni štapić, pinceta, mikropipete (5 mL, 1 mL), staklene boce sa čepom, plastične bočice sa čepom.

Od uređaja su korištene:

Analitička vaga, magnetska miješalica, uređaj za ultračistu vodu (TKA, WASSERAUFBEREITUNGSSYSTEME), pH metar (METTLER TOLEDO, SevenEasy).

3.3. Priprema otopina

Otopine određene pH vrijednosti pripravljene su pomoću koncentrirane HCl, krutog NaOH i ultračiste vode, a pH vrijednost svih otopina izmjerena je pH metrom.

Kako bi se pripremio kiseli medij, za otopine pH = 1 i pH = 2, izračunat je potreban volumen HCl, pipetom prenesen u odmjernu tikvicu koja je potom, do oznake, dopunjena ultračistom vodom. Razrjeđivanjem otopine pH = 1, priređene su otopine pH = 3-6. Relacija koja je upotrijebljena za računanje je prikazana formulom (2):

$$c_1 \times V_1 = c_2 \times V_2 \quad (2)$$

Za pripremu otopina za bazični medij, najprije je izračunata masa krutog NaOH koji je prenesen u odmjernu tikvicu, potom otopljen u ultračistoj vodi, a zatim je tikvica, do oznake, napunjena ultračistom vodom. Za pripremu su korištene odmjerne tikvice. Na isti način su pripravljene otopine pH = 11-14, a otopine pH = 8-10 dobivene su razrjeđivanjem koristeći istu relaciju kao i za kiseli medij (formula (2)).

Svim je priređenim otopinama pH određen korištenjem pH metra te su otopine po potrebi bile korigirane. Stupanj tolerancije odstupanja pH vrijednosti bio je $\pm 0,1$.

3.4. Priprema indikatora i plan rada

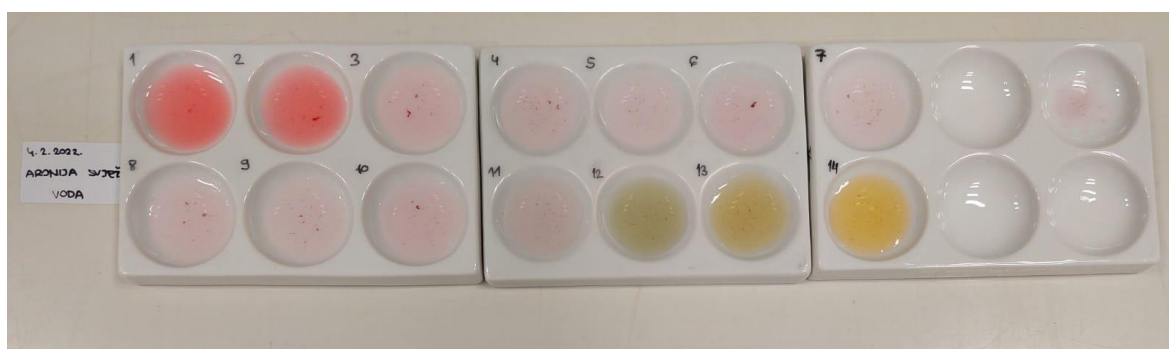
Ispitan je svježi biljni materijal, domaćeg uzgoja, u odabranim otapalima. Bobice su prvo oprane i osušene te potom blago zgnječene u tarioniku. Bobice su zgnječene bez dodatka bilo kakve tekućine. Indikatori su pripremljeni tako da se u bočicu izvagalo 10 mg biljnog materijala (zgnječenih bobica) i dodalo 100 mL odabranog otapala. Kao otapala ispitani su metanol, etanol, aceton te vruća i hladna voda. Indikatori su čuvani u hladnjaku.

Ispitivanje trajnosti tako priređenih indikatora je trajalo od početka veljače do početka srpnja, a provodilo se dva puta tjedno, utorkom i petkom. U zadnjem mjesecu ispitivanja, ispitivani su „reciklirani“ indikatori, odnosno indikatori priređeni od prethodno korištenog biljnog materijala s dodanim novim obrocima otapala. Ukoliko je u uzorku ostalo malo prethodnog otapala, isto se dekantiralo te je dodano 20 mL novog otapala. Na indikatore koji su „presušili“, samo je dodano 20 mL novog otapala. Reciklirani indikatori, (na slikama označeni s R), ispitani su 24 h nakon što su dodani novi obroci otapala te jednom tjedno (nakon prvog ispitivanja).

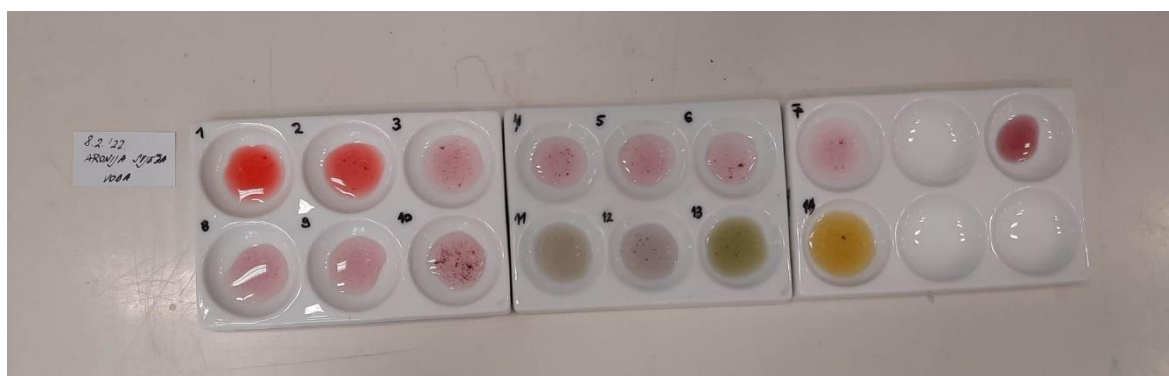
4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Indikator pripremljen s hladnom vodom

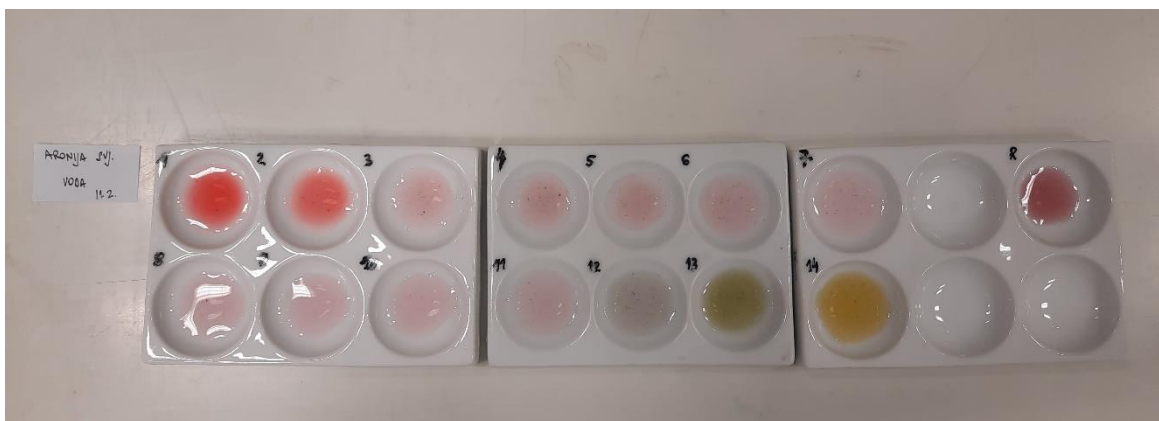
Rezultati ispitivanja trajnosti kiselo-baznog indikatora pripremljenog od svježih bobica aronije i hladne vode prikazani su na Slikama 9.-44. Slike 40.-44. odnose se na ispitivanje s recikliranim indikatorom.



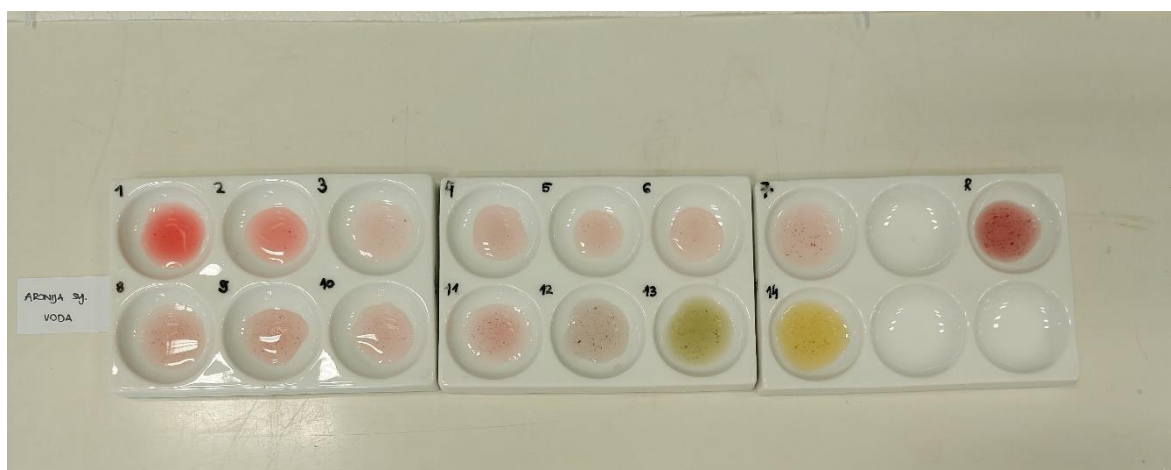
Slika 9. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 4. 2. 2022.



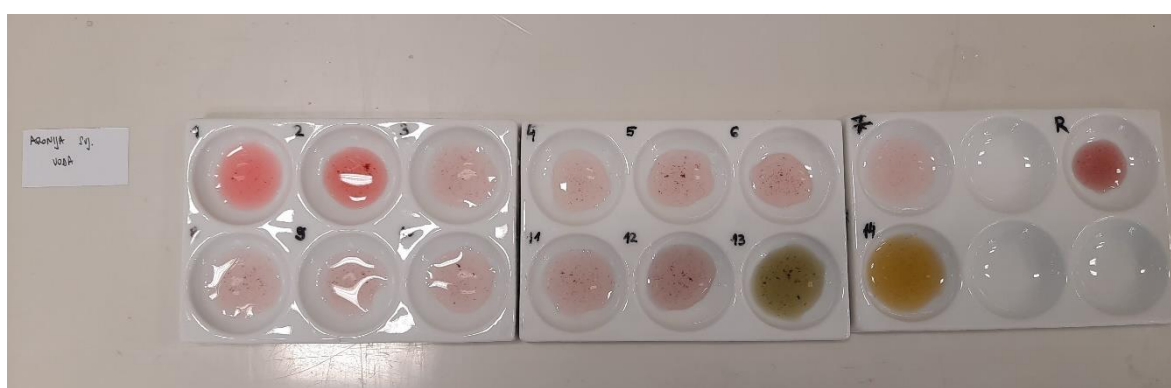
Slika 10. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 8. 2. 2022.



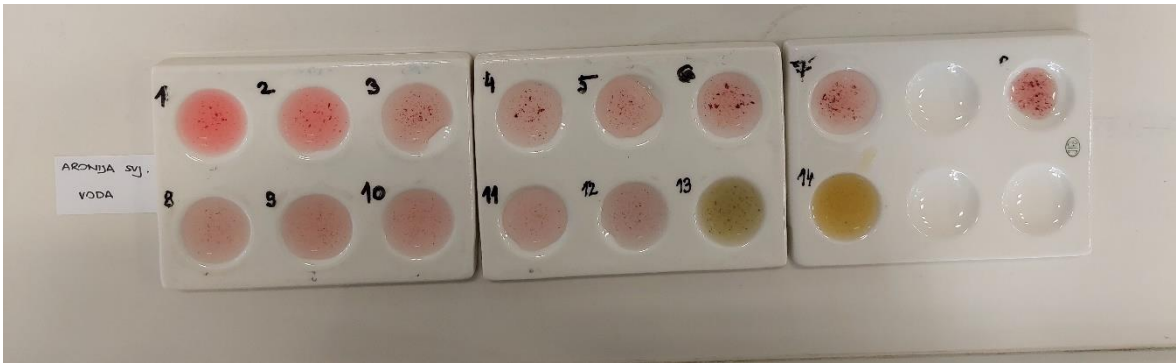
Slika 11. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 11. 2. 2022.



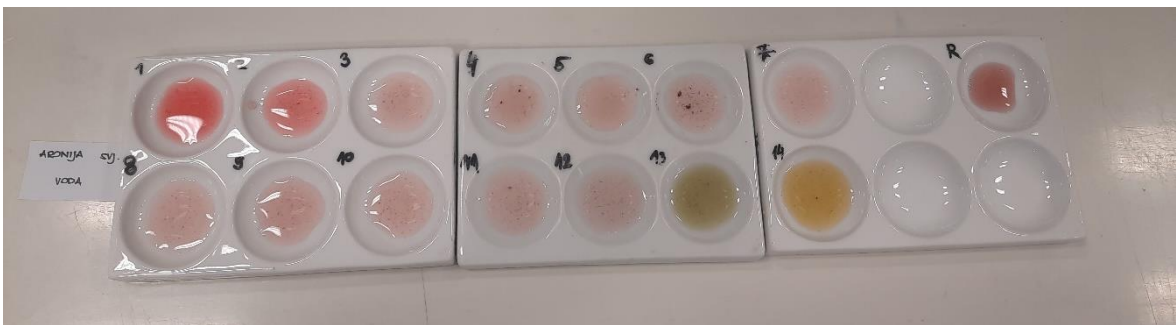
Slika 12. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 15. 2. 2022.



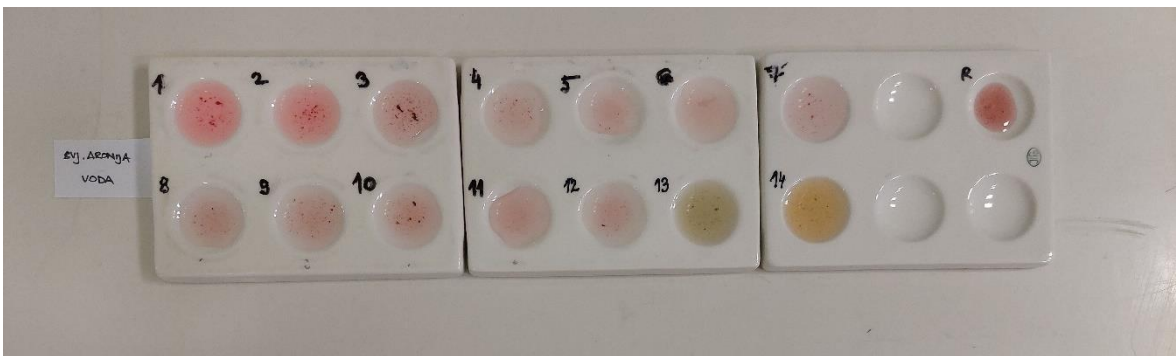
Slika 13. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 18. 2. 2022.



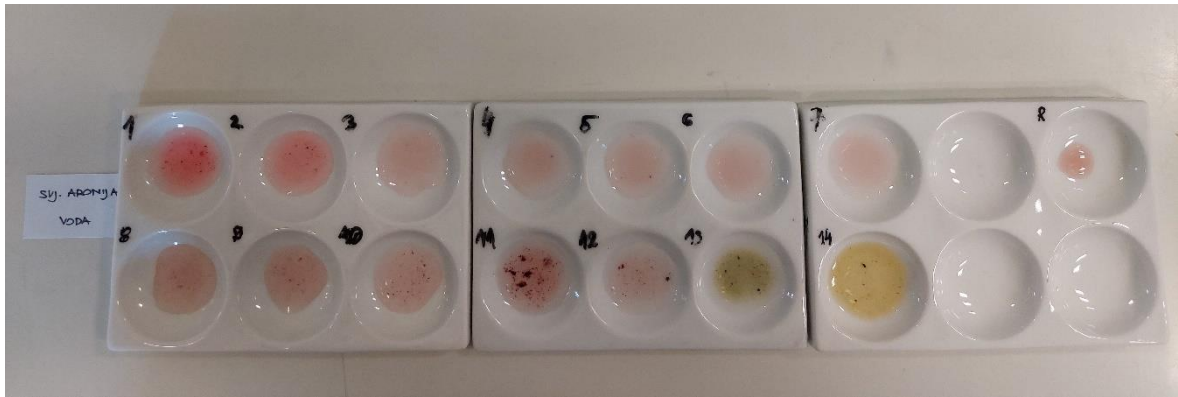
Slika 14. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 22. 2. 2022.



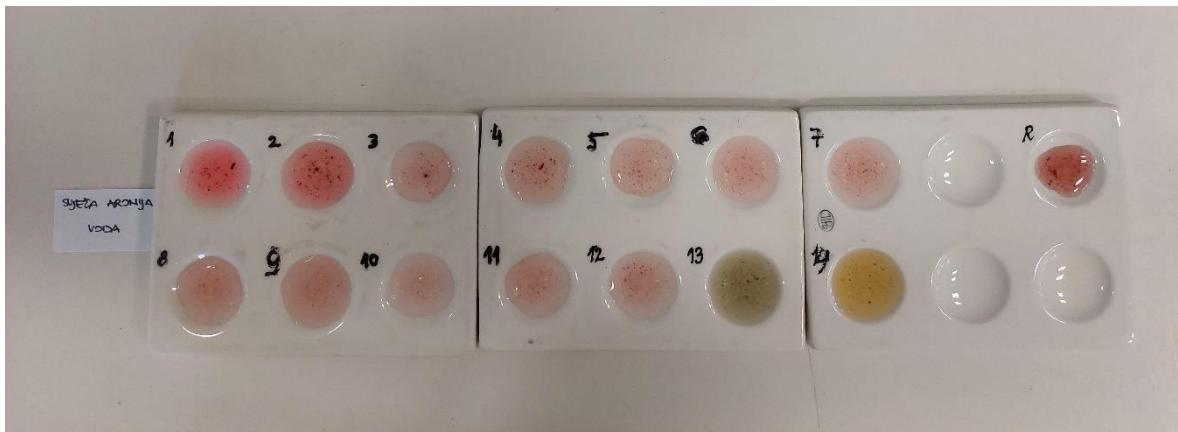
Slika 15. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 25. 2. 2022.



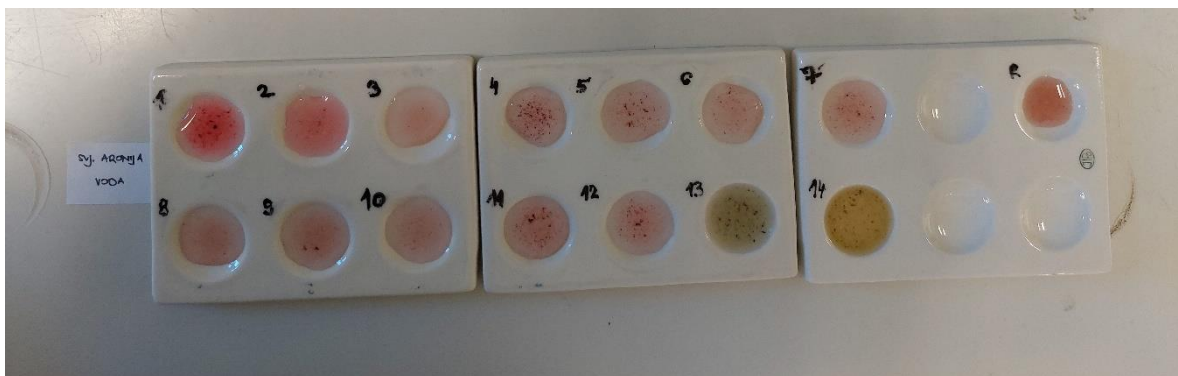
Slika 16. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 1. 3. 2022.



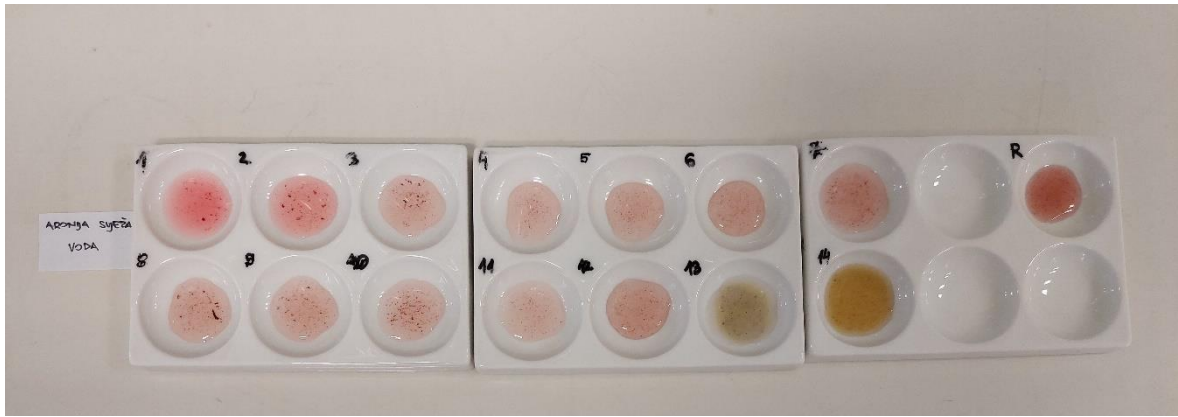
Slika 17. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 4. 3. 2022.



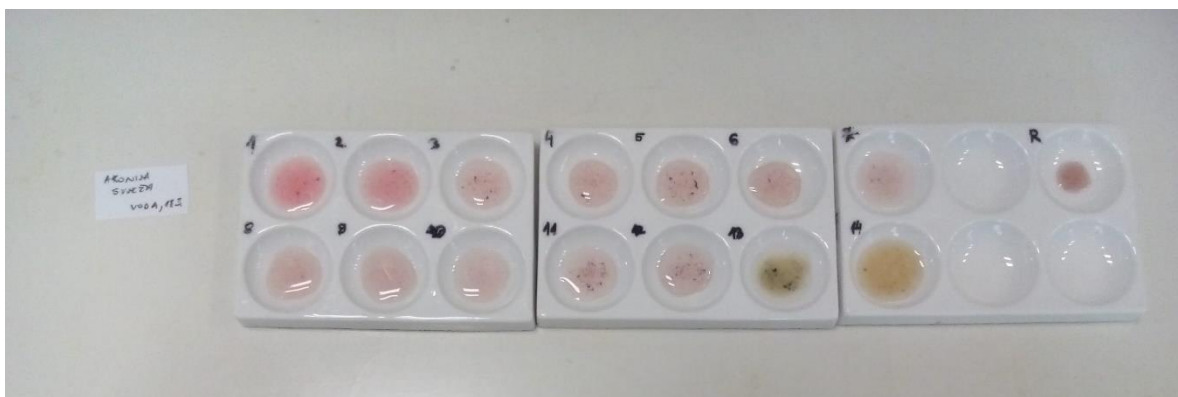
Slika 18. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 8. 3. 2022.



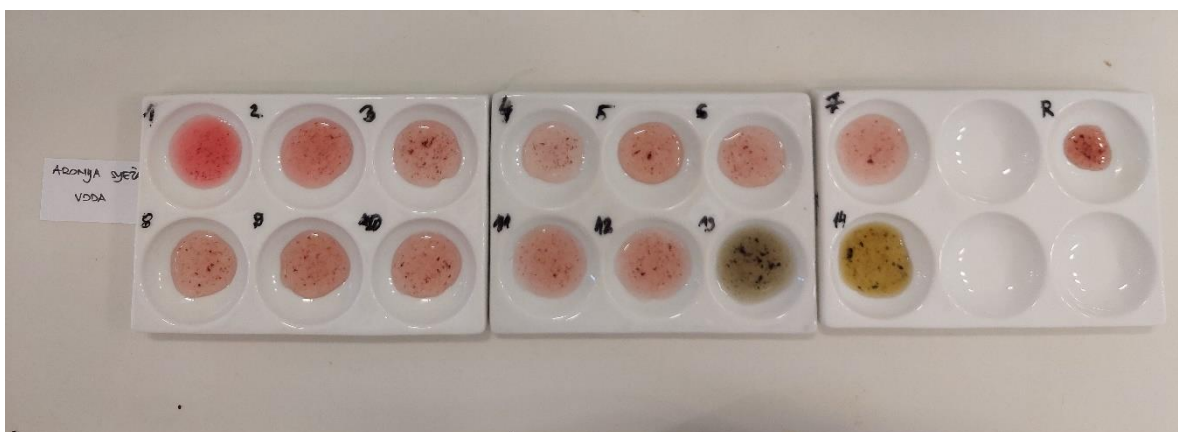
Slika 19. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 11. 3. 2022.



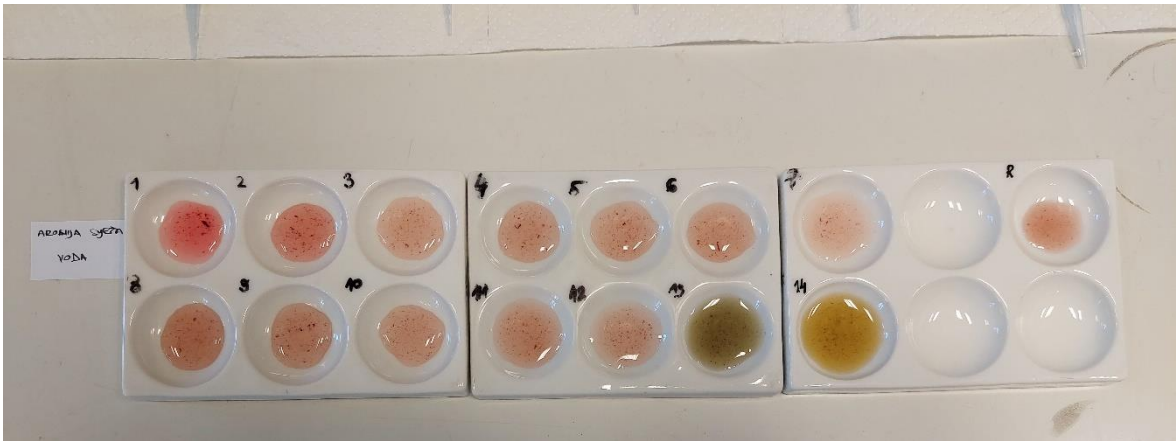
Slika 20. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 15. 3. 2022.



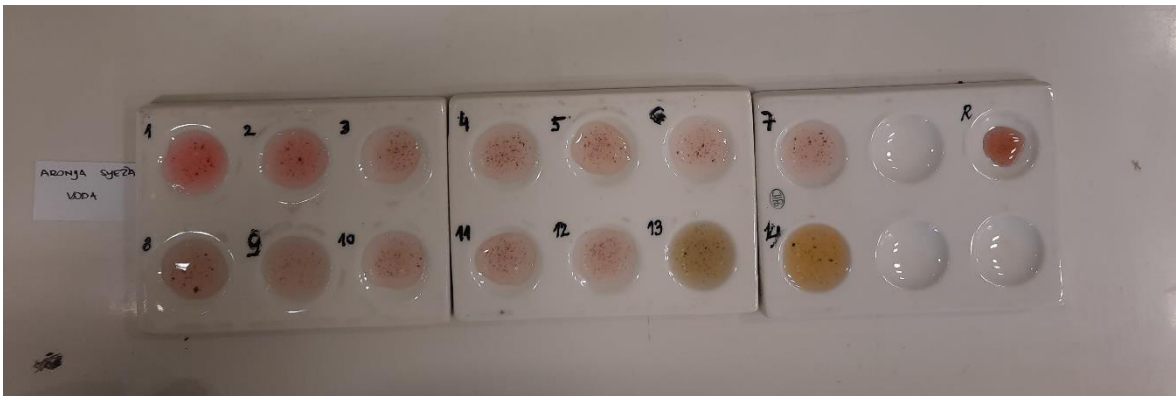
Slika 21. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 18. 3. 2022.



Slika 22. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 22. 3. 2022.



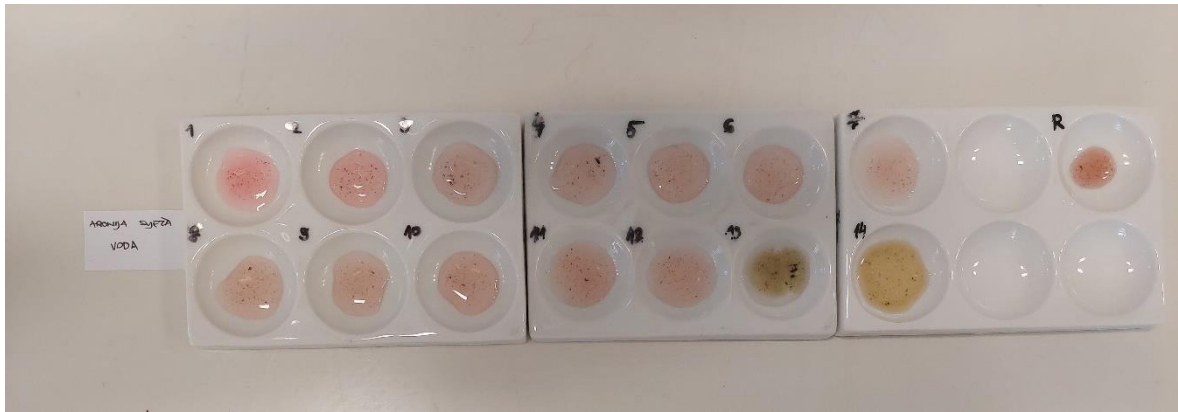
Slika 23. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 25. 3. 2022.



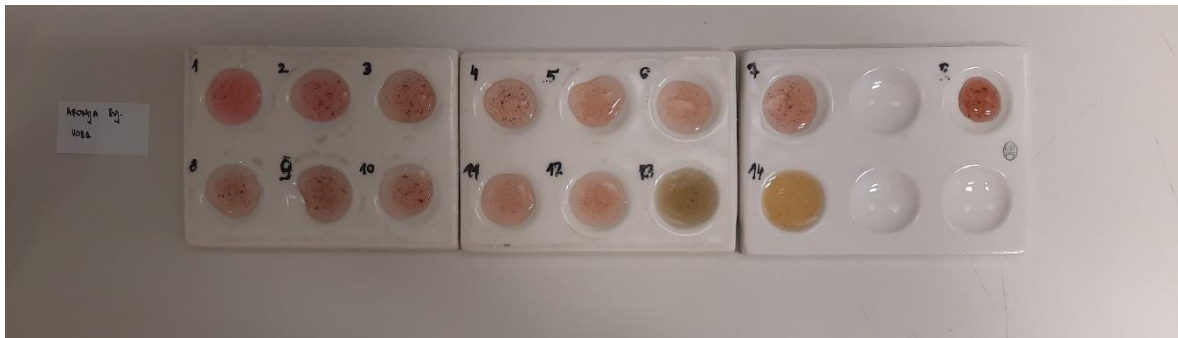
Slika 24. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 29. 3. 2022.



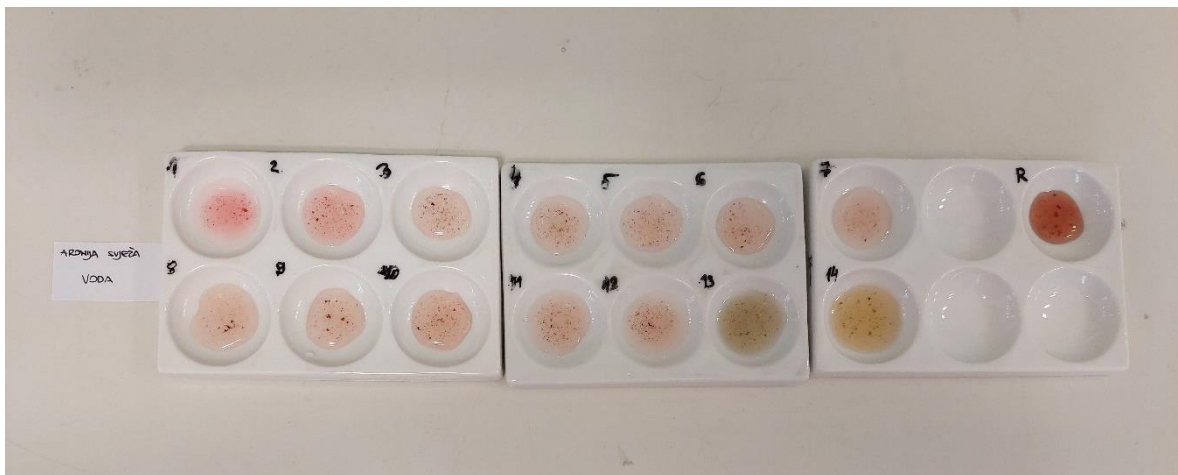
Slika 25. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 1. 4. 2022.



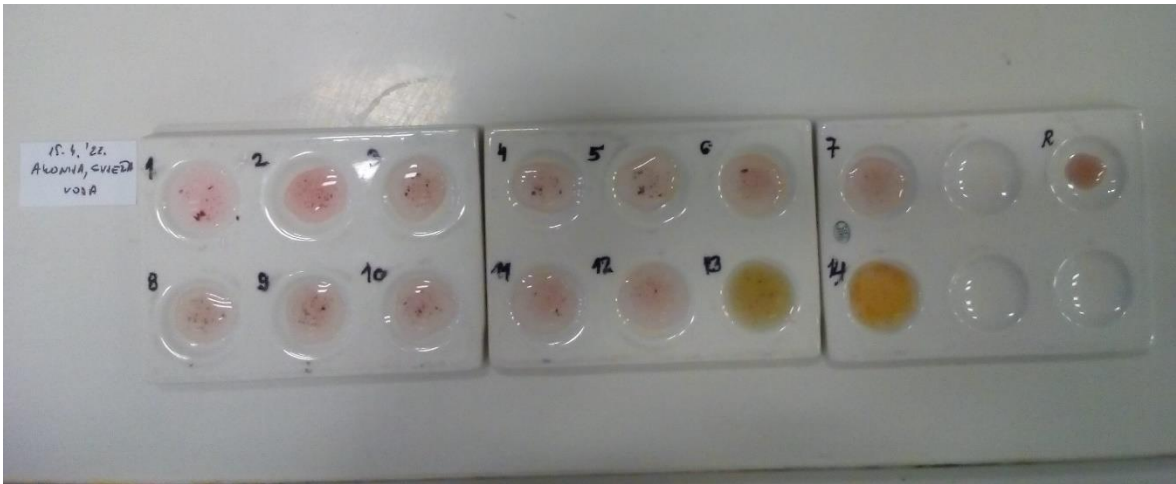
Slika 26. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 5. 4. 2022.



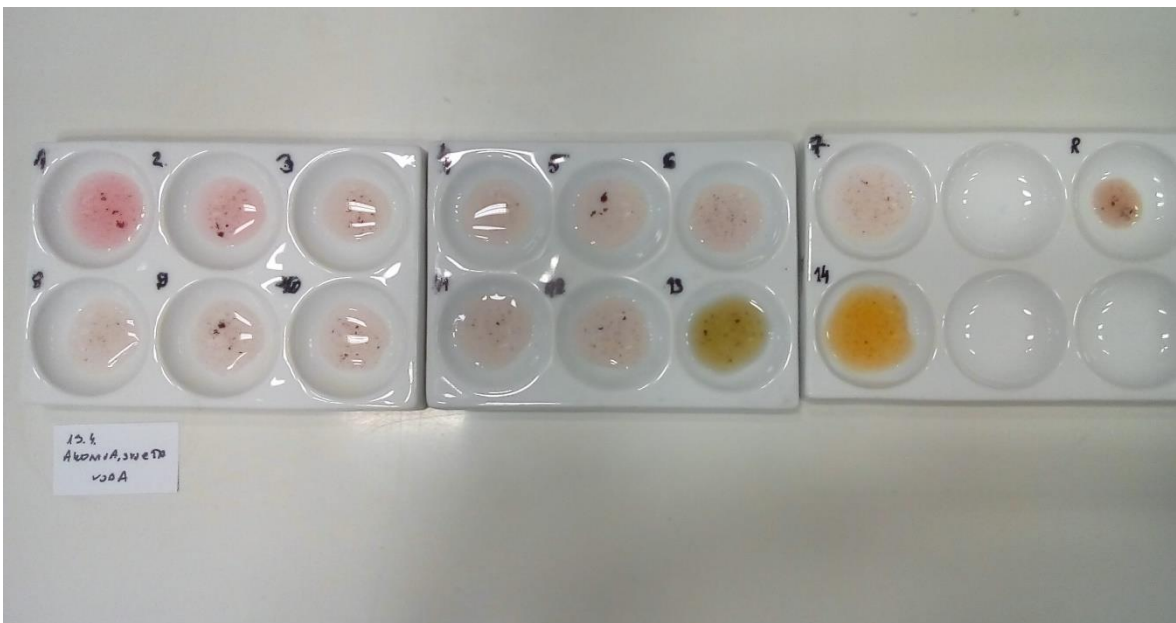
Slika 27. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 8. 4. 2022.



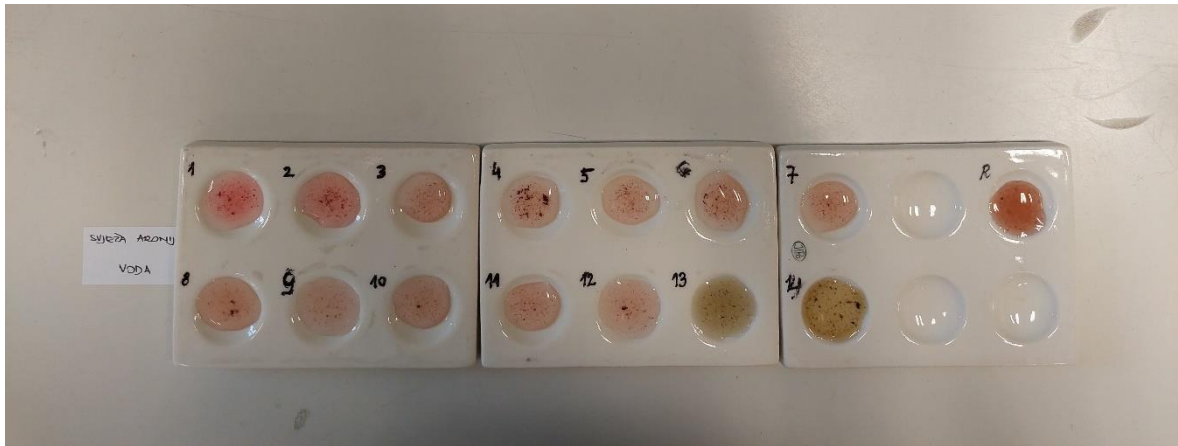
Slika 28. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 12. 4. 2022.



Slika 29. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 15. 4. 2022.



Slika 30. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 19. 4. 2022.



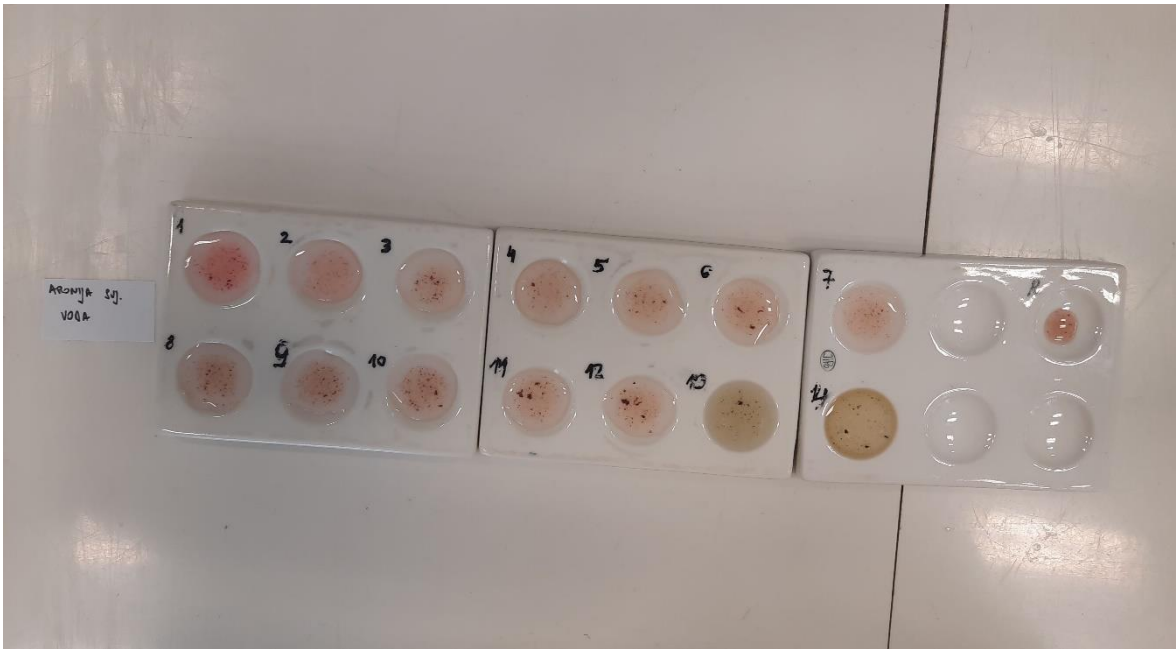
Slika 31. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi 22. 4. 2022.



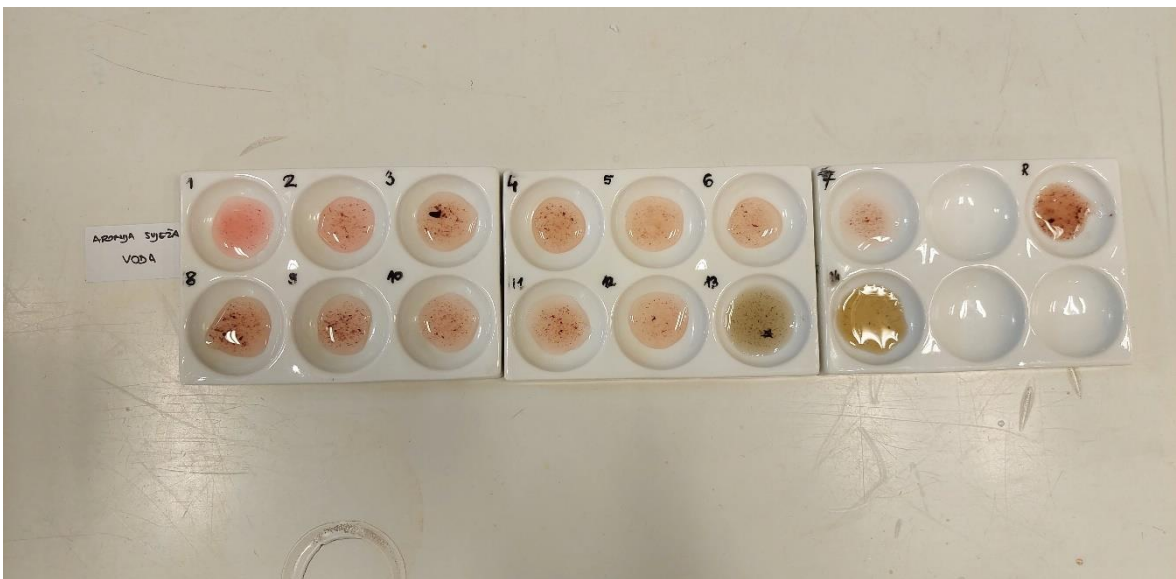
Slika 32. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 26. 4. 2022.



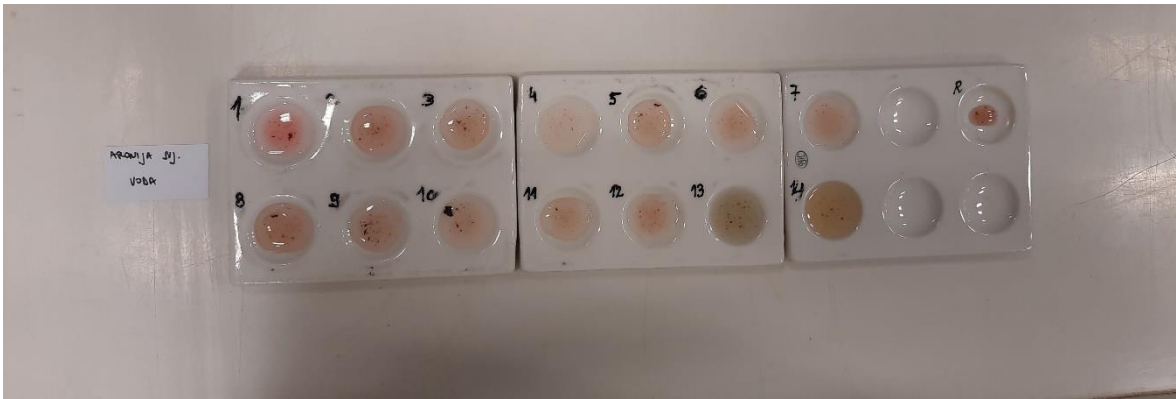
Slika 33. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 29. 4. 2022.



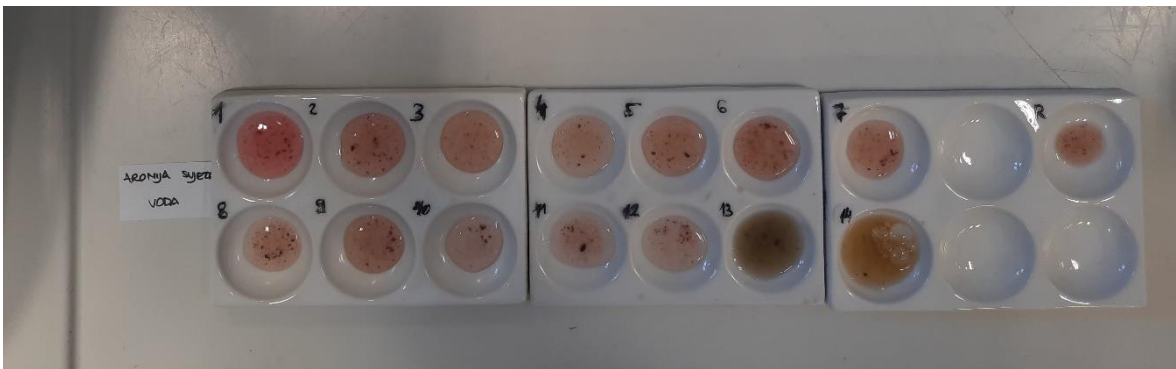
Slika 34. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 3. 5. 2022.



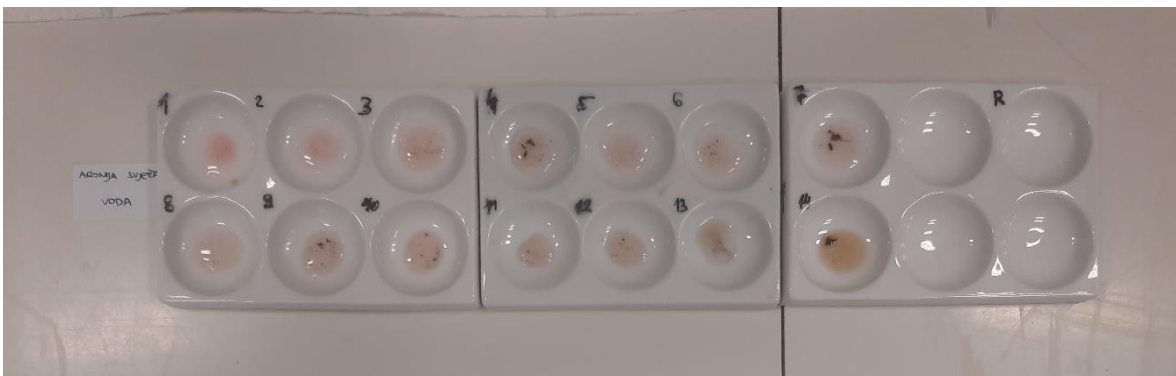
Slika 35. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 6. 5. 2022.



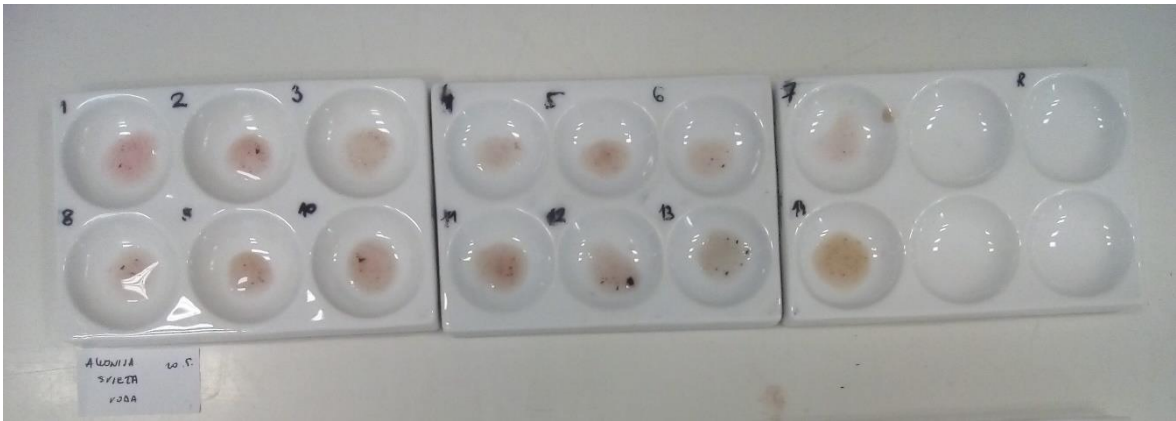
Slika 36. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 10. 5. 2022.



Slika 37. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 13. 5. 2022.



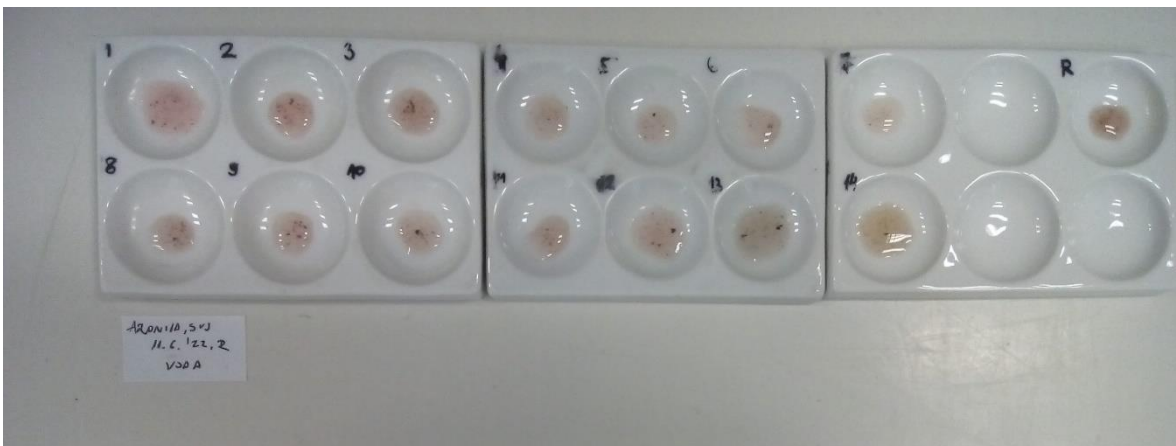
Slika 38. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 17. 5. 2022.



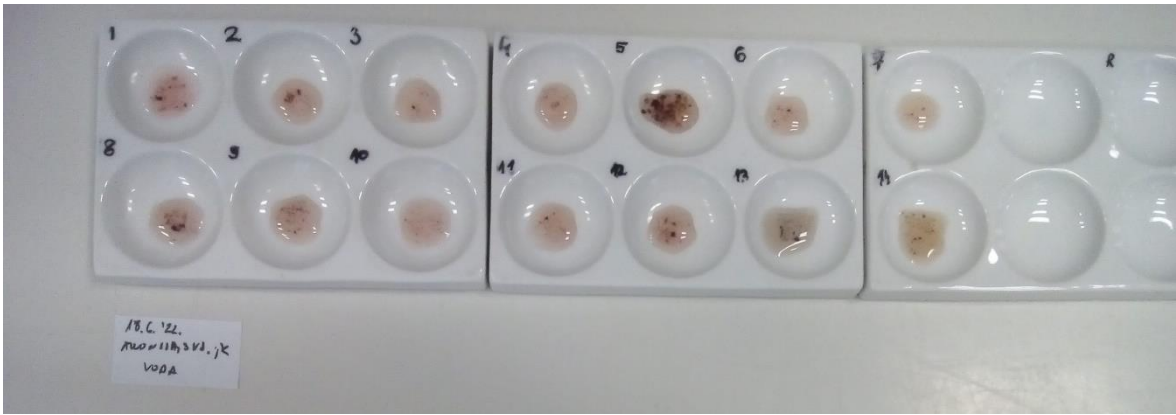
Slika 39. Indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 20. 5. 2022.



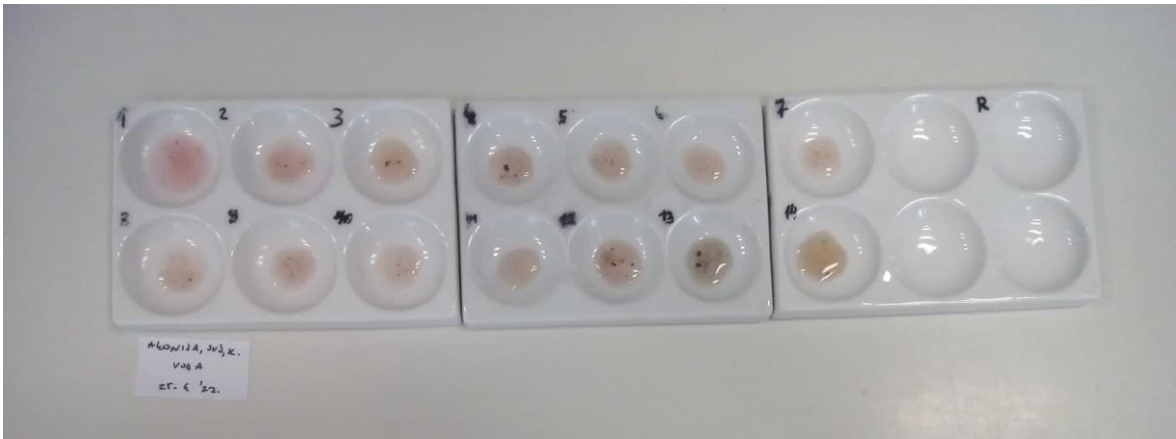
Slika 40. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 4. 6. 2022.



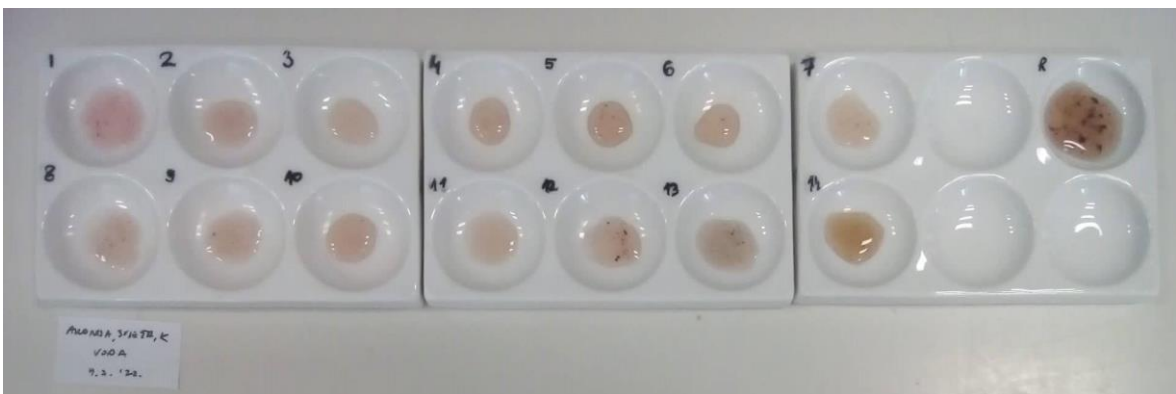
Slika 41. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 11. 6. 2022.



Slika 42. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 18. 6. 2022.



Slika 43. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 25. 6. 2022.



Slika 44. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u hladnoj vodi, 4. 7.2022.

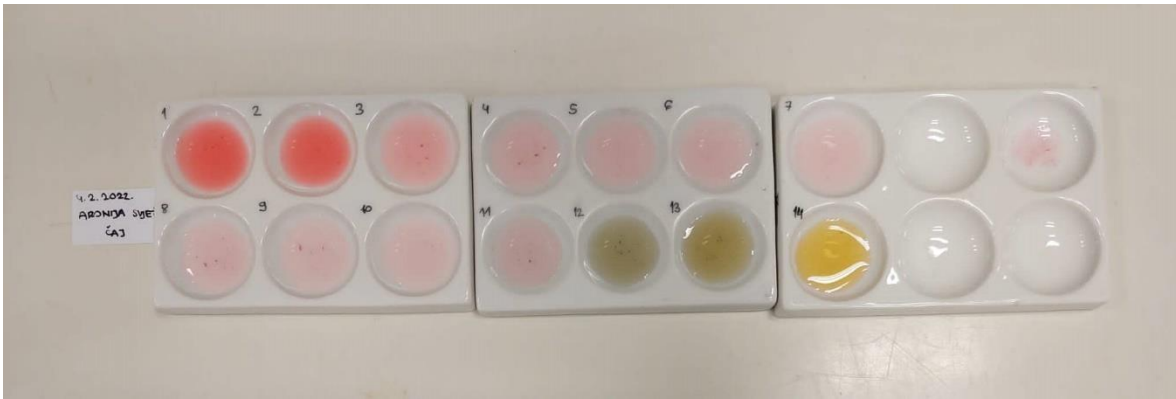
Prvim mjerenjem trajnosti indikatora od svježe aronije u hladnoj vodi uočeno je kako pri pH = 1-2 otopina ima žarko ružičasto obojenje, pri pH= 3-11 blijedo ružičasto obojenje, pri pH = 12 zeleno, pri pH = 13 žućkasto, a pri pH = 14 žuto obojenje što je prikazano na Slici 9. Daljim mjerenjima uočena je promjena pri pH = 12 u kojemu otopina poprima blijedo ljubičastu boju i pri pH = 13 u kojemu otopina ima jasno zelenu boju.

Krajem prvog mjeseca ispitivanja trajnosti kiselo-baznog indikatora uočena je promjena pri pH = 12 u kojemu otopina poprima blijedo ružičastu obojenost što se može uočiti prikazom na Slici 17. Daljim mjerenjima nisu uočene bitne razlike u promjeni boja, pH = 1 je i dalje tamno ružičaste boje, pH = 2-12 blijedo ružičaste obojenosti, dolazi do minimalnih promjena u nijansi što se može opravdati različitim kutom fotografiranja i sjenama. Nadalje, pH = 13 i dalje je zelene obojenosti te stajanjem posvijetli u smeđe-žutu, a pri pH = 14 boja od zelene, stajanjem nakon nekoliko minuta, prelazi u žutu.

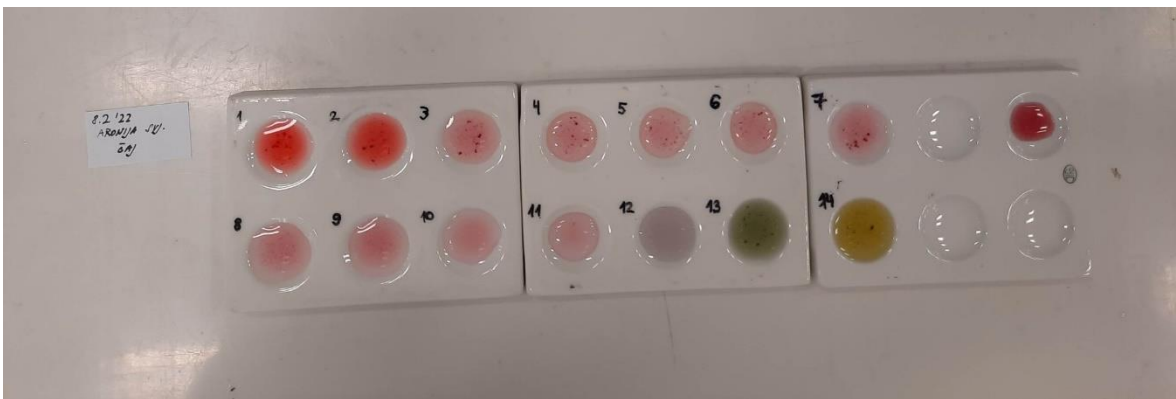
Promatranjem prvih rezultata ispitivanja recikliranog indikatora pripremljenog u hladnoj vodi uočeno je da su boje manje intenzivne u usporedbi s rezultatima ispitivanja u vreljaci. Još uvijek se primjećuju razlike u obojenosti pri različitim pH vrijednostima te tako pri pH = 1 otopina je tamnije ružičaste boje, pH = 2-12 otopina je blijedo ružičaste boje, pri pH = 13 uočava se zelena obojenost, a pri pH = 14 žuta, što je prikazano Slikama 40.-44. Može se zaključiti kako se reciklirani indikator, iako slabijeg intenziteta obojenosti, mogu koristiti kao kiselo-bazni indikator zbog toga što se još uvijek uočavaju promjene obojenosti u različitim pH područjima, odnosno u kiselom i bazičnom mediju.

4.2. Indikator pripremljen s vrućom vodom

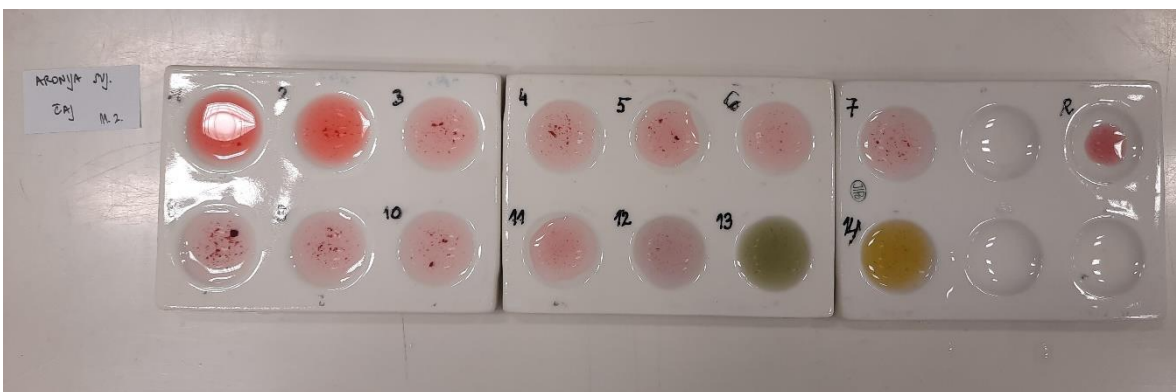
Rezultati ispitivanja trajnosti kiselo-baznog indikatora pripremljenog od svježih bobica aronije i vruće vode prikazani su na Slikama 45.-78., od koji se Slike 74.-78. odnose na reciklirani indikator.



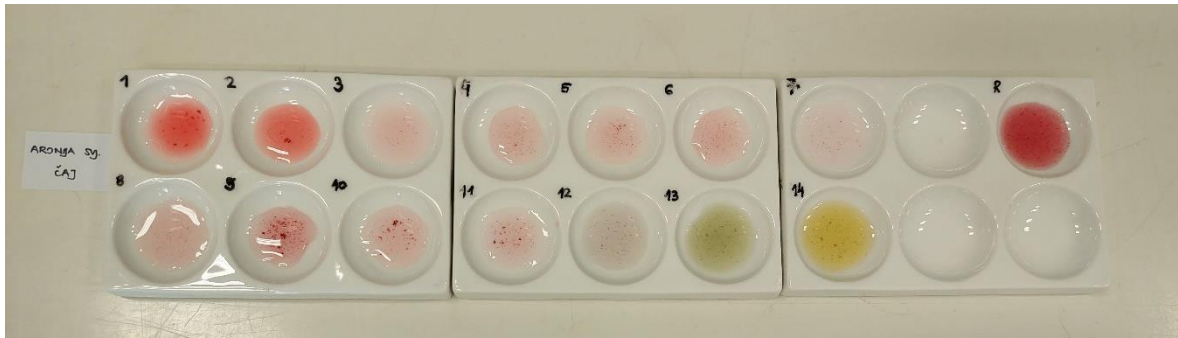
Slika 45. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 4. 2. 2022.



Slika 46. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 8. 2. 2022.



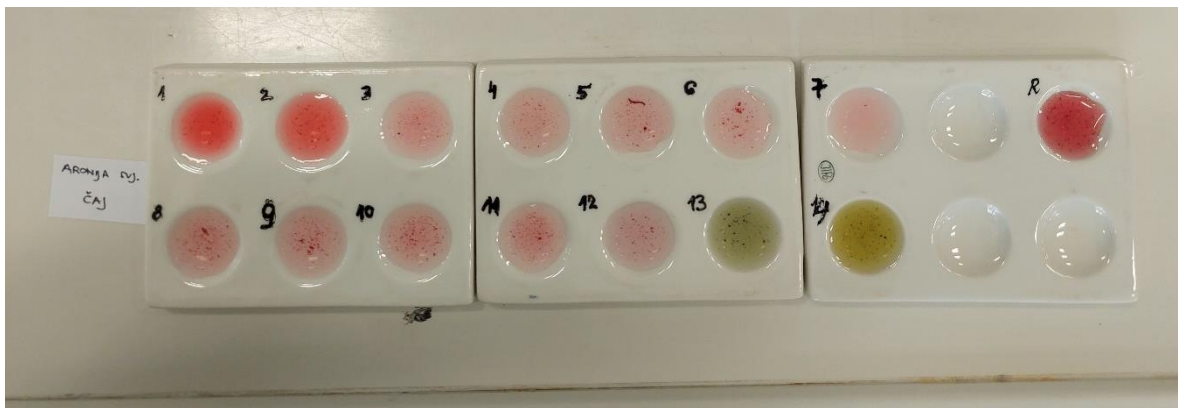
Slika 47. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 11. 2. 2022.



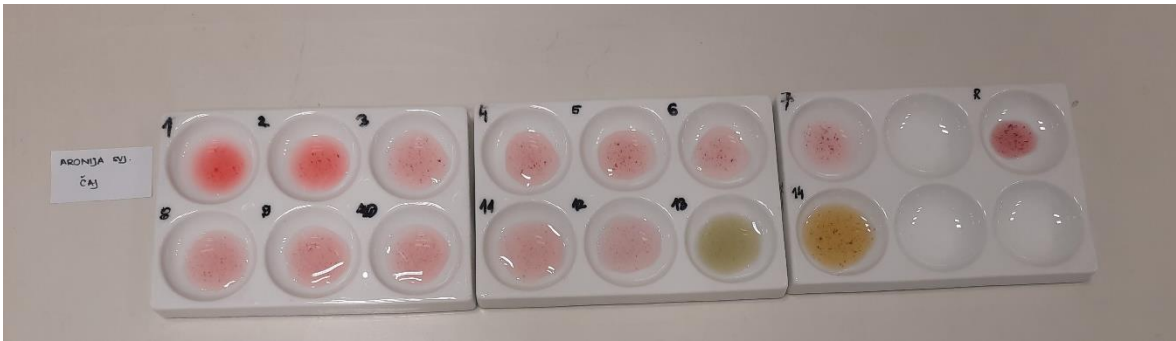
Slika 48. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 15. 2. 2022.



Slika 49. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 18. 2. 2022.



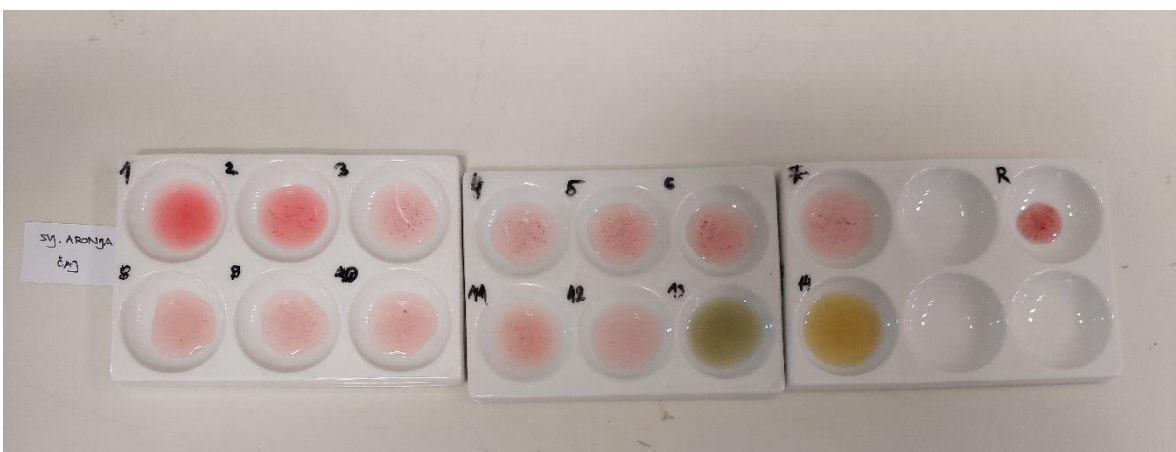
Slika 50. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 22. 2. 2022.



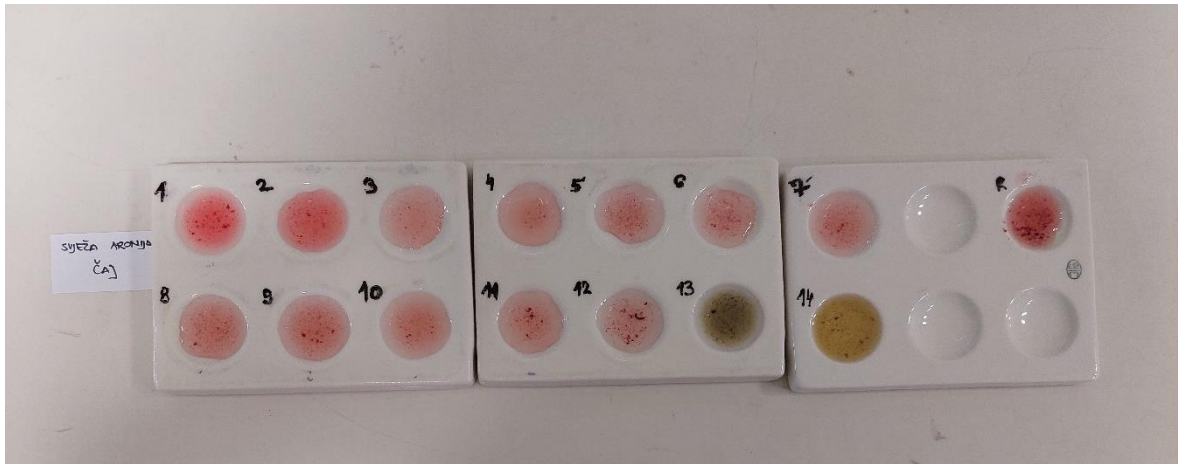
Slika 51. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 25. 2. 2022.



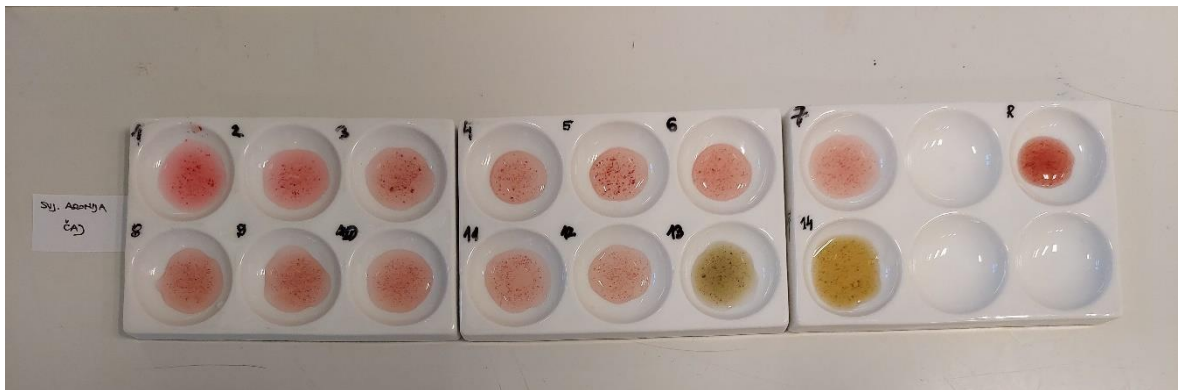
Slika 52. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 1. 3. 2022.



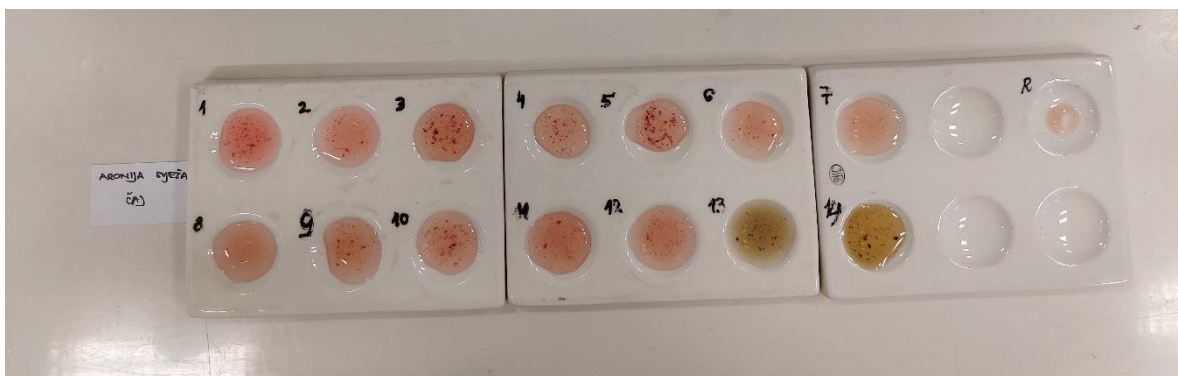
Slika 53. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 4. 3. 2022.



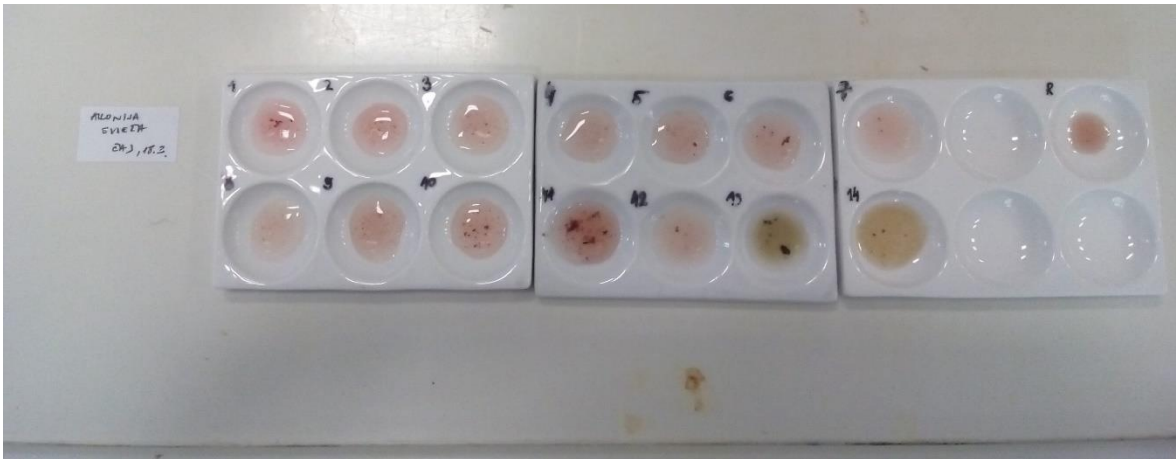
Slika 54. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 8. 3. 2022.



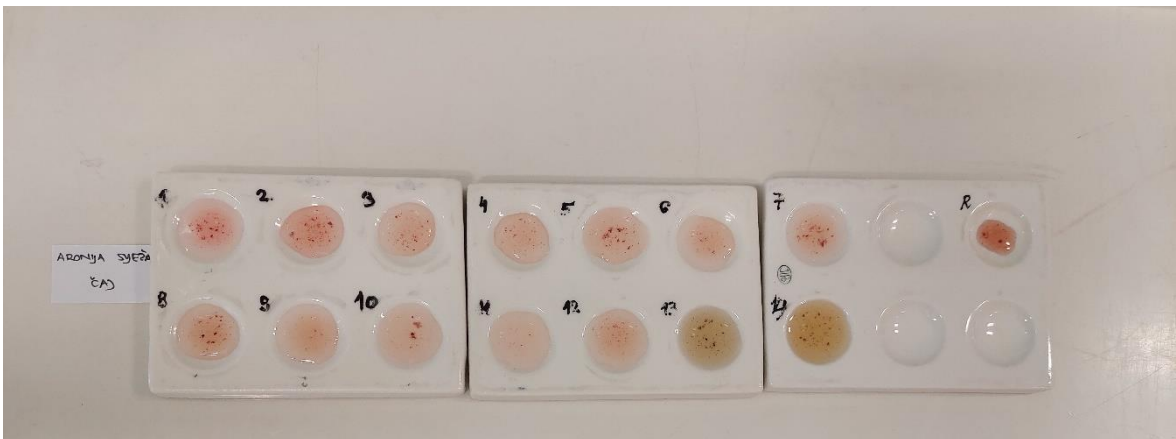
Slika 55. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 11. 3. 2022.



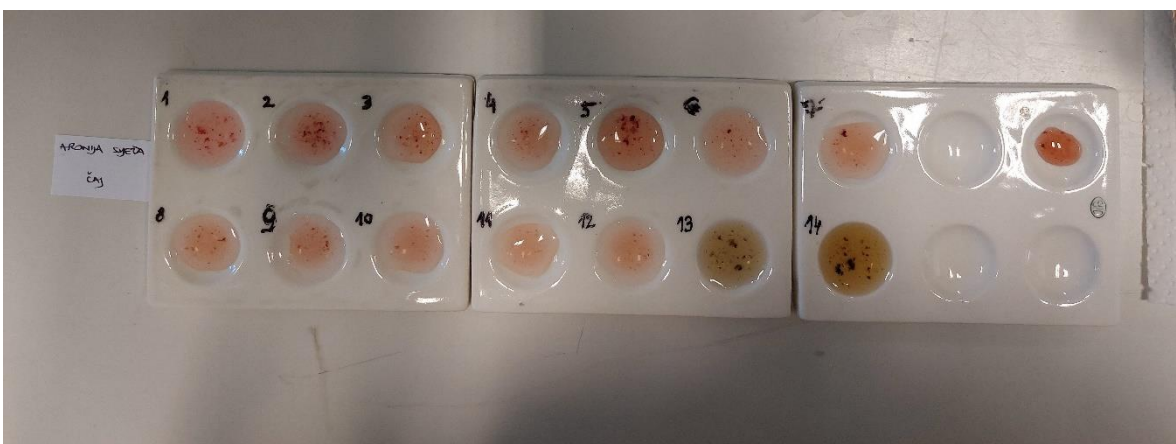
Slika 56. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 15. 3. 2022.



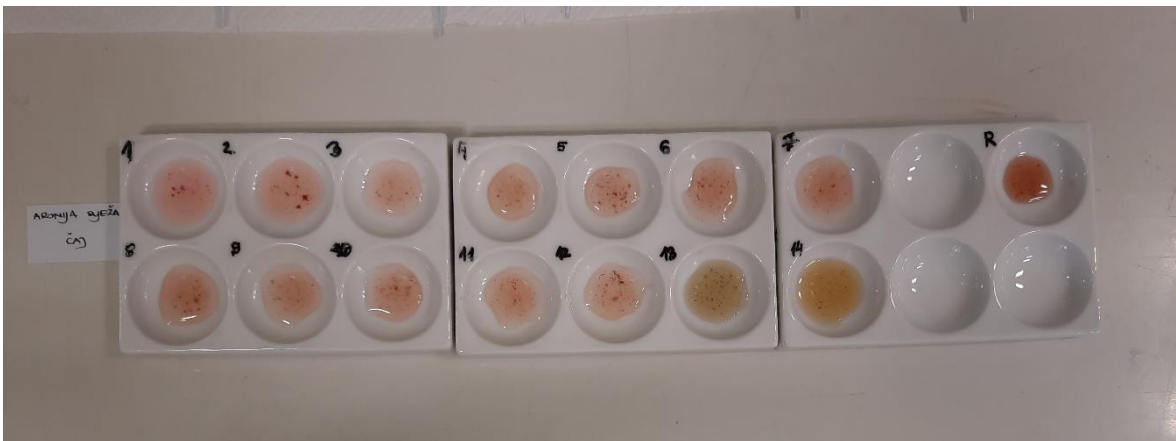
Slika 57. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 18. 3. 2022.



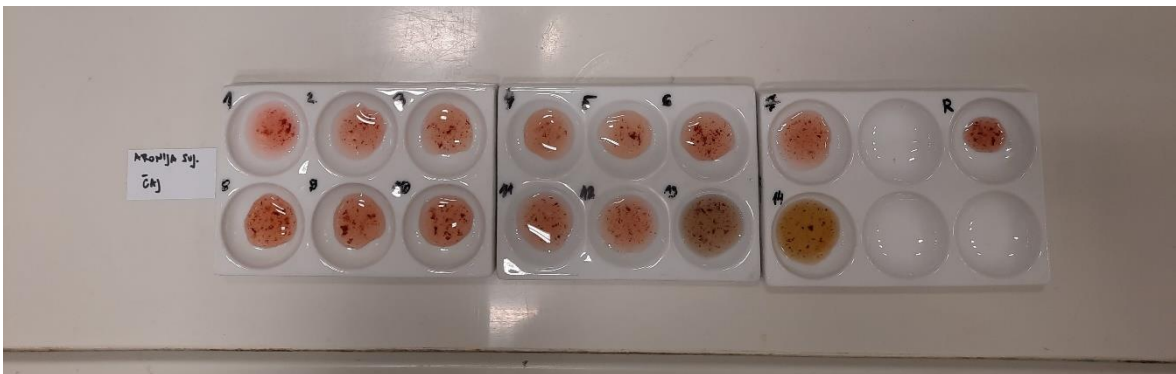
Slika 58. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi 22. 3. 2022.



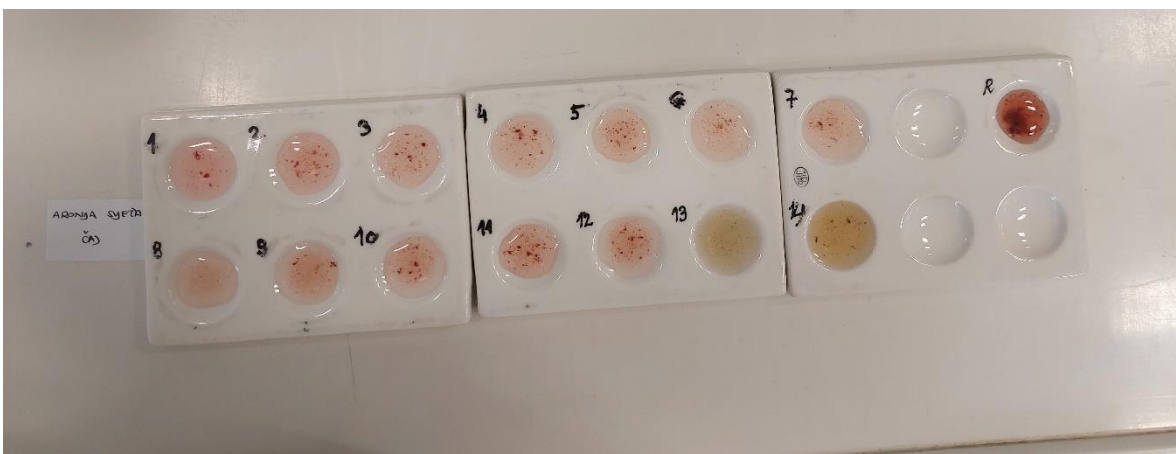
Slika 59. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 25. 3. 2022.



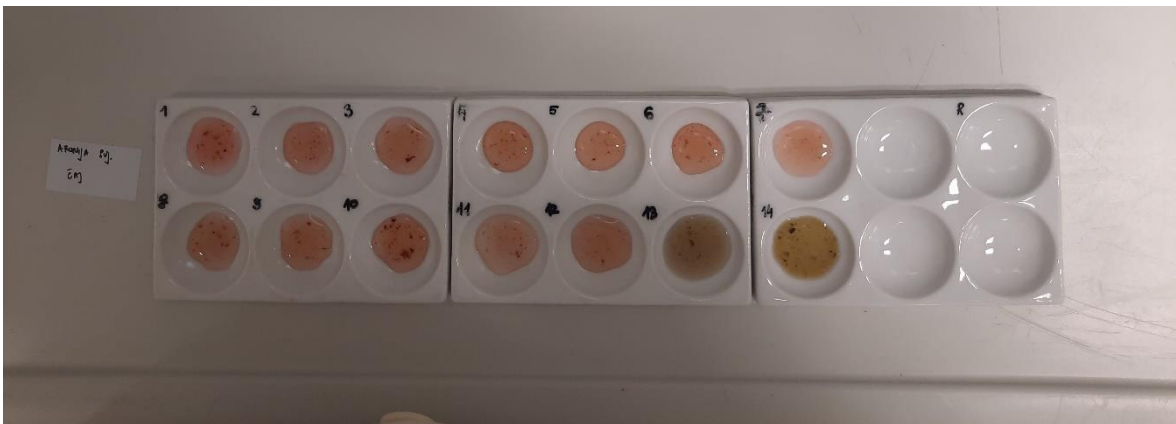
Slika 60. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 29. 3. 2022.



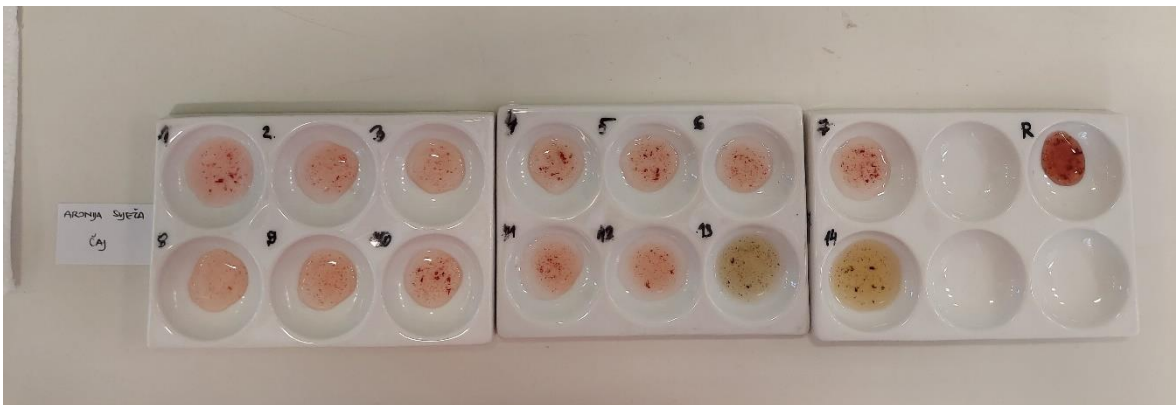
Slika 61. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 1. 4. 2022.



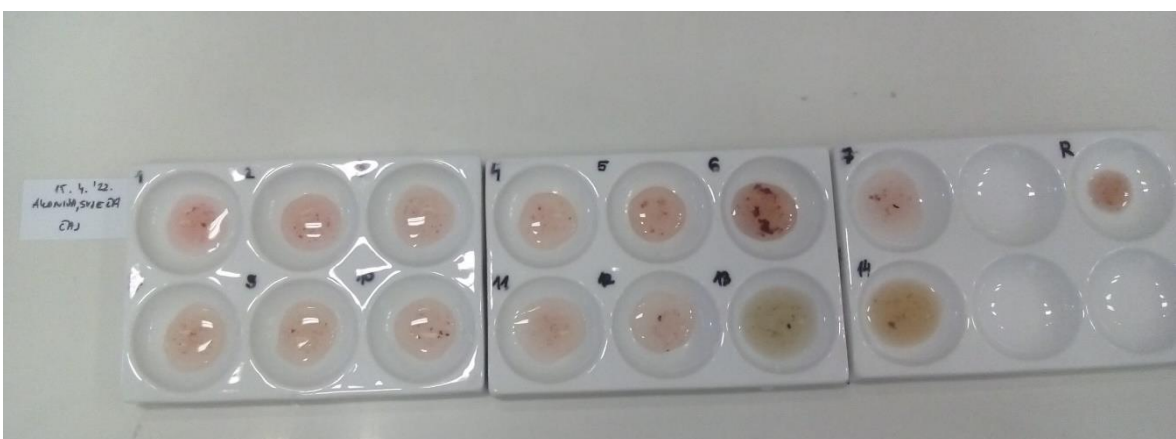
Slika 62. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 5. 4. 2022.



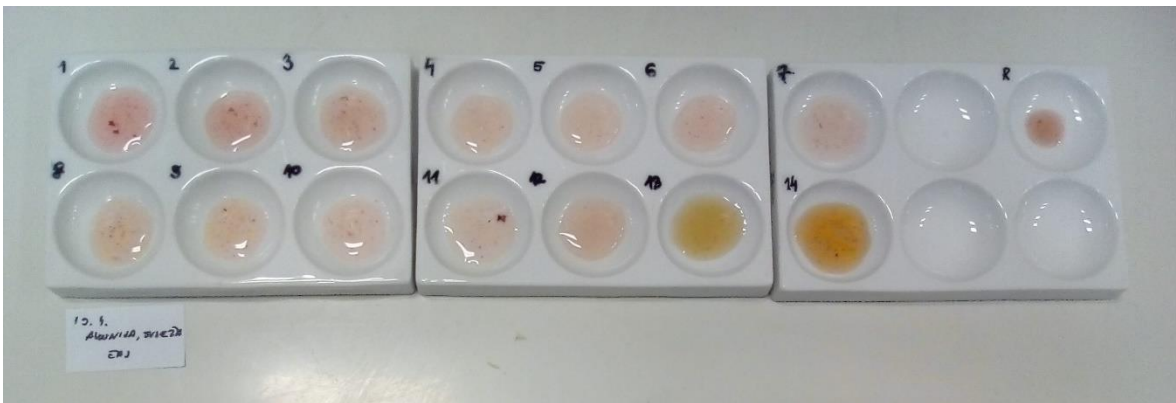
Slika 63. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 8. 4. 2022.



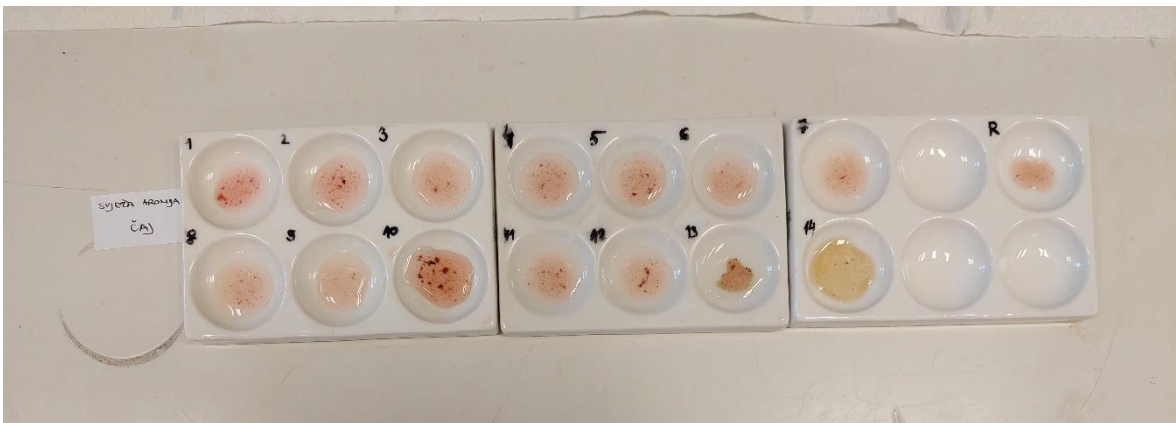
Slika 64. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 12. 4. 2022.



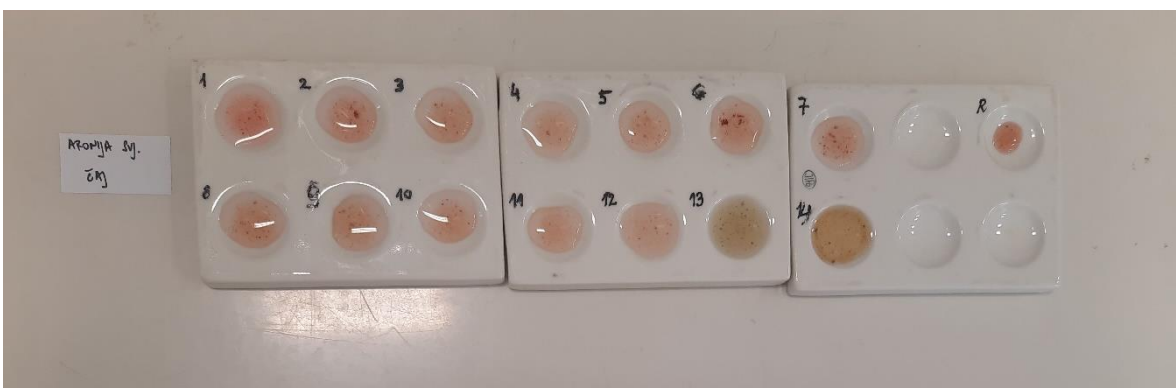
Slika 65. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 15. 4. 2022.



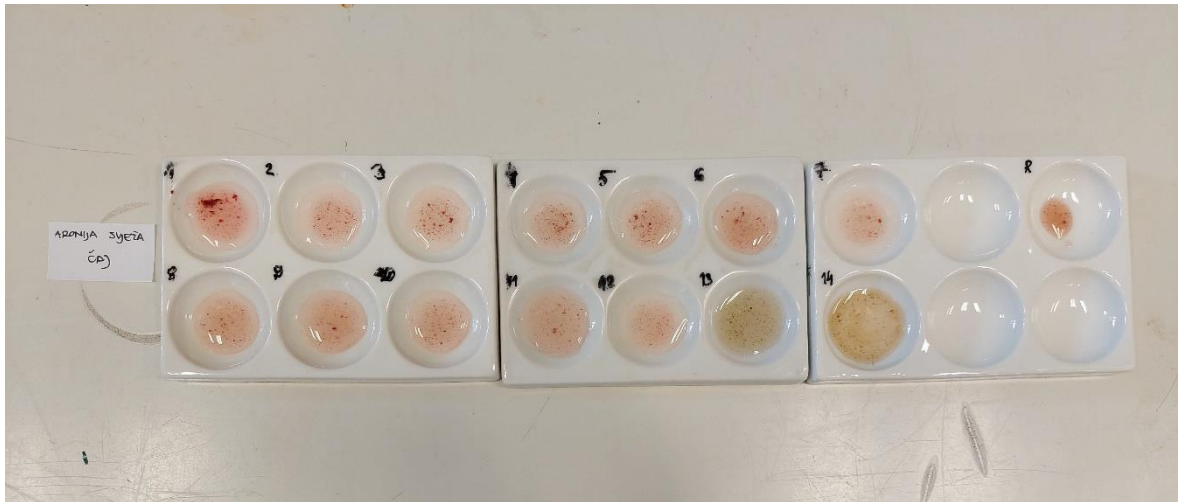
Slika 66. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 19. 4. 2022.



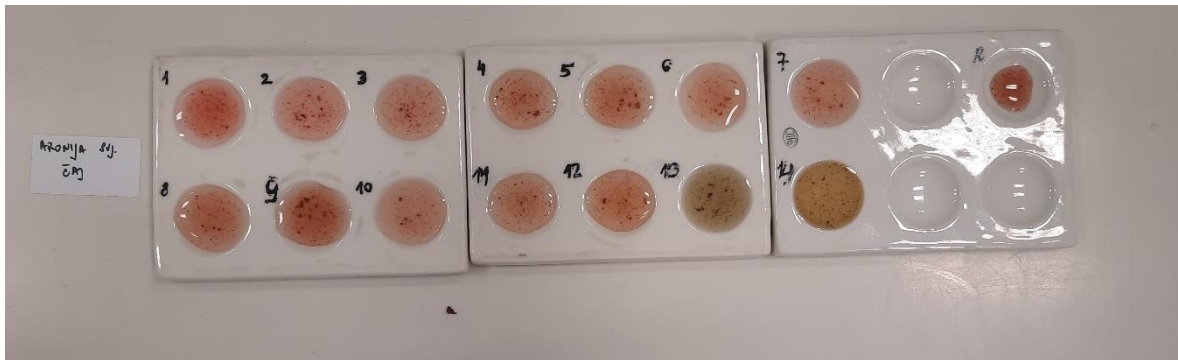
Slika 67. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 22. 4. 2022.



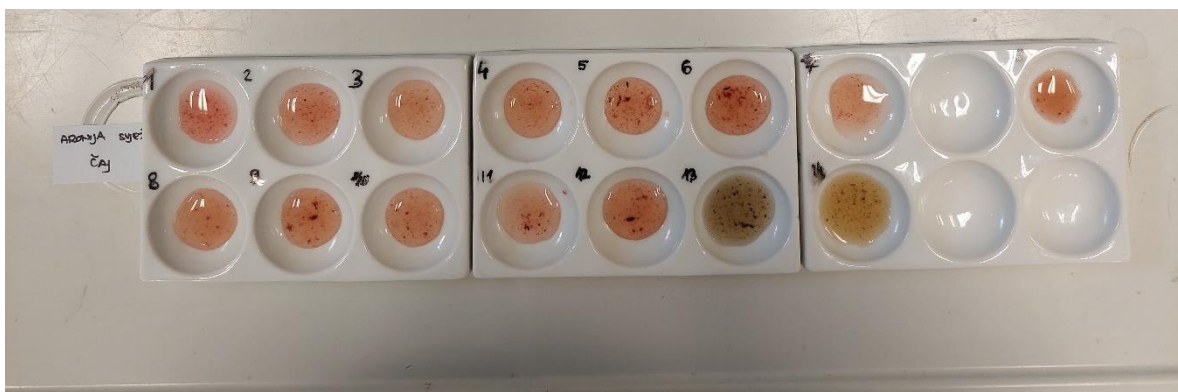
Slika 68. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 26. 4. 2022.



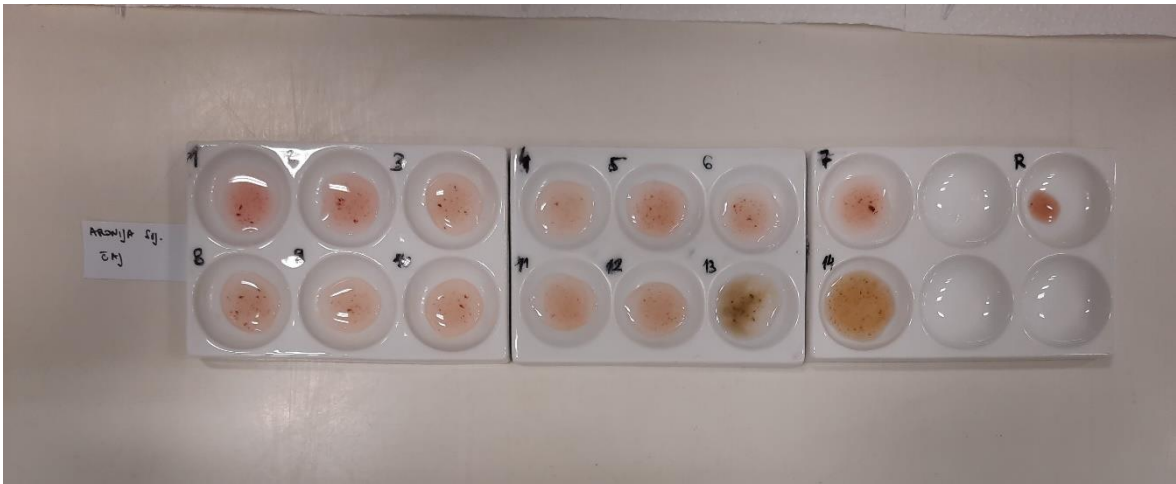
Slika 69. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 29. 4. 2022.



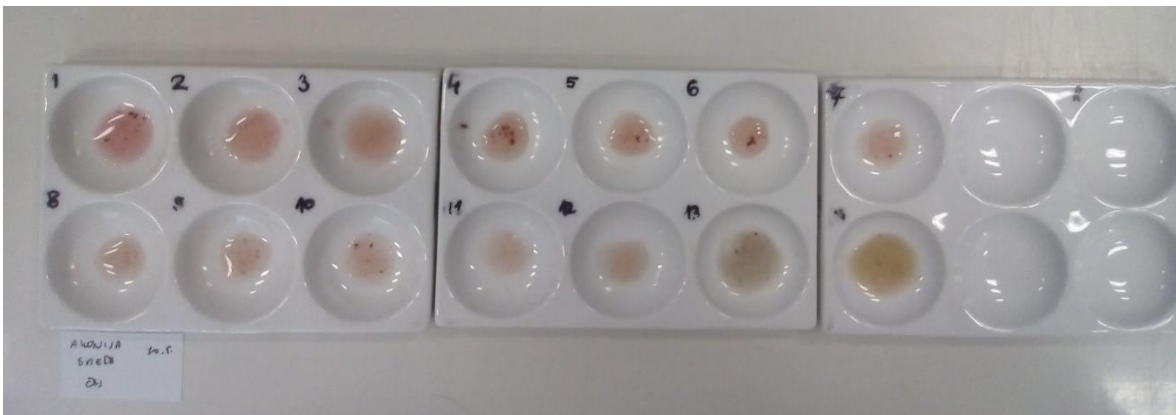
Slika 70. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 3. 5. 2022.



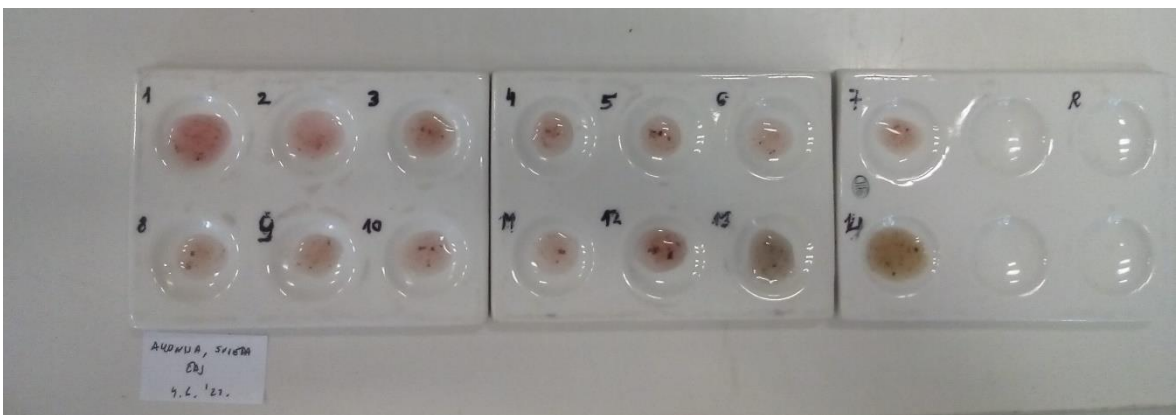
Slika 71. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 6. 5. 2022.



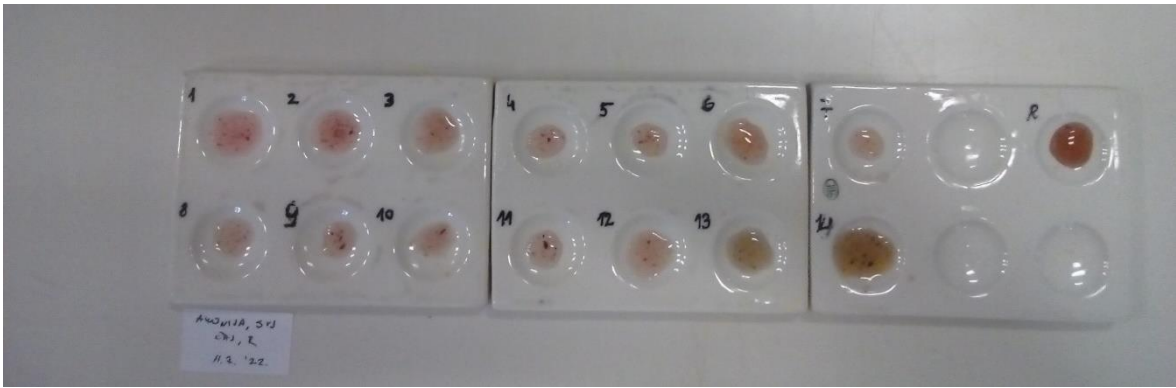
Slika 72. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi 10. 5. 2022.



Slika 73. Indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 20. 5. 2022.



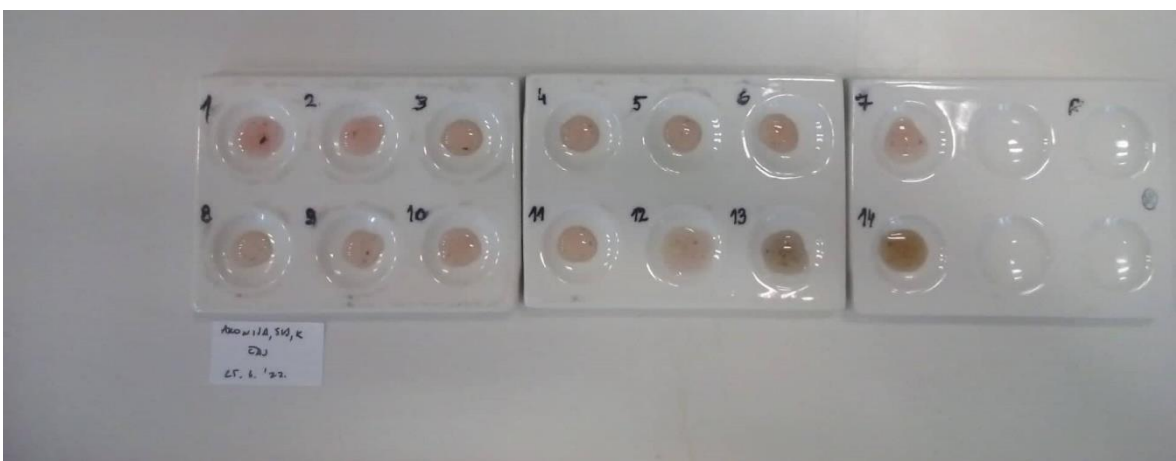
Slika 74. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 4. 6. 2022.



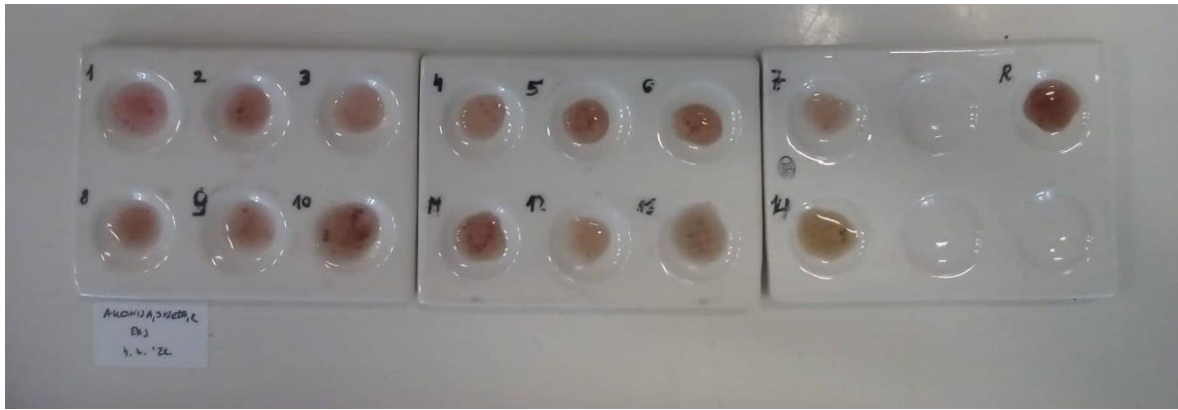
Slika 75. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 11. 6. 2022.



Slika 76. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 18. 6. 2022.



Slika 77. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 25. 6. 2022.



Slika 78. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u vrućoj vodi, 4. 7. 2022.

Prvim ispitivanjem trajnosti indikatora od svježe aronije i vruće vode (veljača) uočava se žarko ružičasta boja pri $\text{pH} = 1$ i $\text{pH} = 2$, blijedo ružičasta obojenost pri $\text{pH} = 3$ -11, zelena obojenost pri $\text{pH} = 12$ i $\text{pH} = 13$, koja se pri $\text{pH} = 13$ stajanjem nakon nekoliko minuta mijenja u smeđe-žutu, te žuta obojenost pri $\text{pH} = 14$, što se može vidjeti na Slici 45. Sljedećim je ispitivanjem uočena razlika pri $\text{pH} = 12$, pri kojemu je došlo do promjene boje otopine iz zelene u lila (Slika 46.). Daljim je ispitivanjima uočena razlika pri $\text{pH} = 12$, pri kojem otopina mijenja boju u blijedo ružičastu.

Nakon prvog mjeseca ispitivanja, koji završava 8. 3. 2022., dolazi do promjene boje pri $\text{pH} = 1$ i $\text{pH} = 2$, pri kojima otopina poprima ružičastu nijansu, sličnu kao pri $\text{pH} = 3$ -12, ali intenzivniju. Nadalje, primjećuju se male razlike u nijansama što kao posljedicu može imati doba dana u kojem je nastala fotografija, kut fotografiranja te sjene.

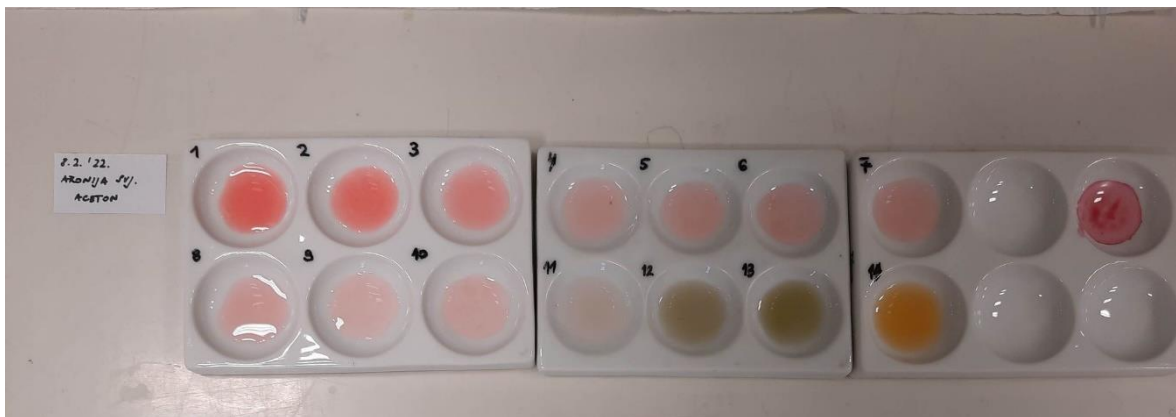
Reciklirani indikator, za razliku od prvog mjerenja u veljači, daju slabije intenzivne boje i prijelaze obojenosti pri različitim pH vrijednostima što se vidi na Slikama 74.-78. Isti rezultati dobiveni su sve vrijeme ispitivanja trajnosti recikliranog indikatora.

4.3. Indikator pripremljen s acetonom

Rezultati ispitivanja trajnosti kiselo-baznog indikatora pripremljenog od svježih bobica aronije i acetona prikazani na Slikama 79.-117. Rezultati koji se odnose na reciklirani indikator prikazani su Slikama 113.-117.



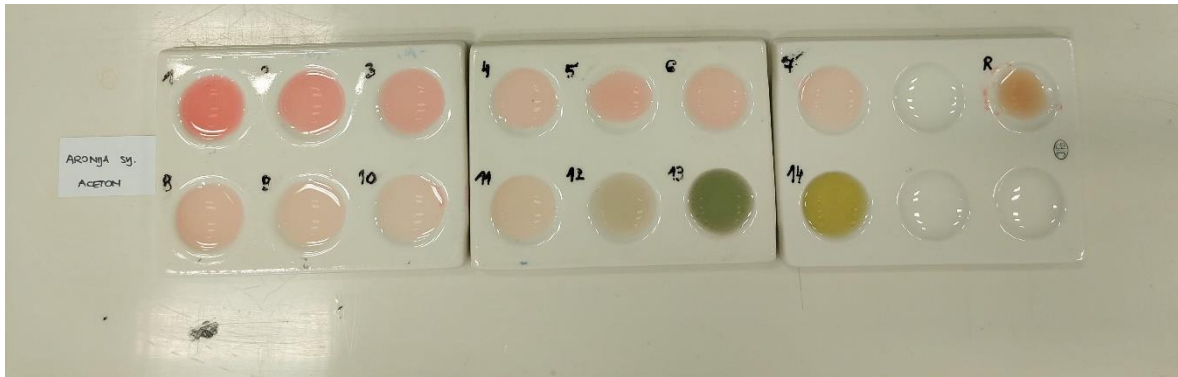
Slika 79. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 4. 2. 2022.



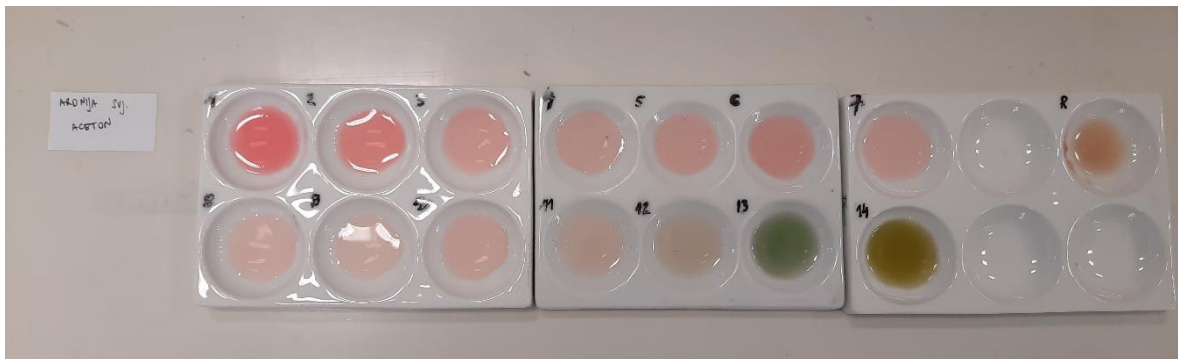
Slika 80. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 8. 2. 2022.



Slika 81. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 11. 2. 2022.



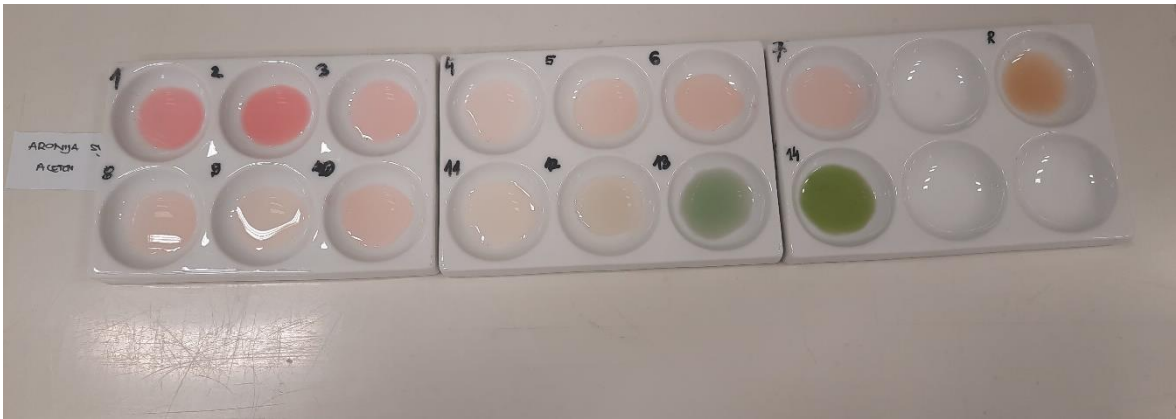
Slika 82. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 15. 2. 2022.



Slika 83. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 18. 2. 2022.



Slika 84. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 22. 2. 2022.



Slika 85. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 25. 2. 2022.



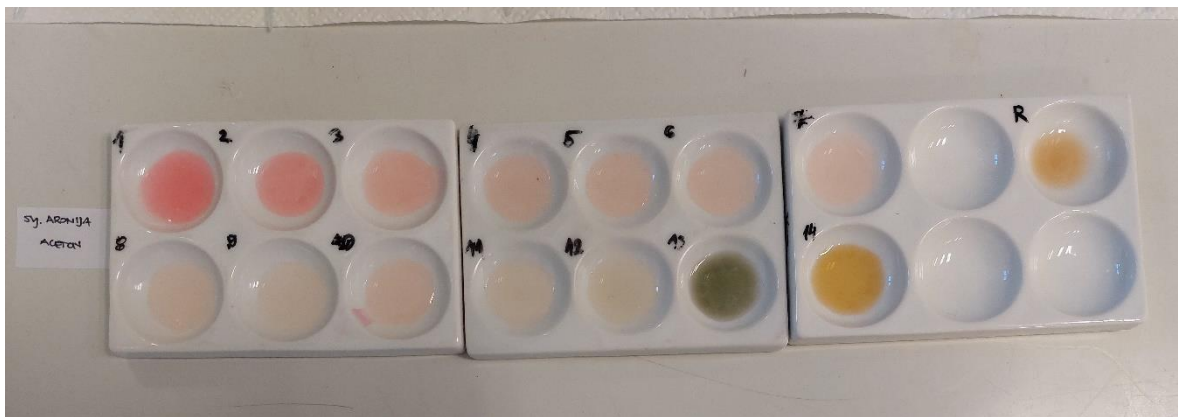
Slika 86. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 1. 3. 2022.



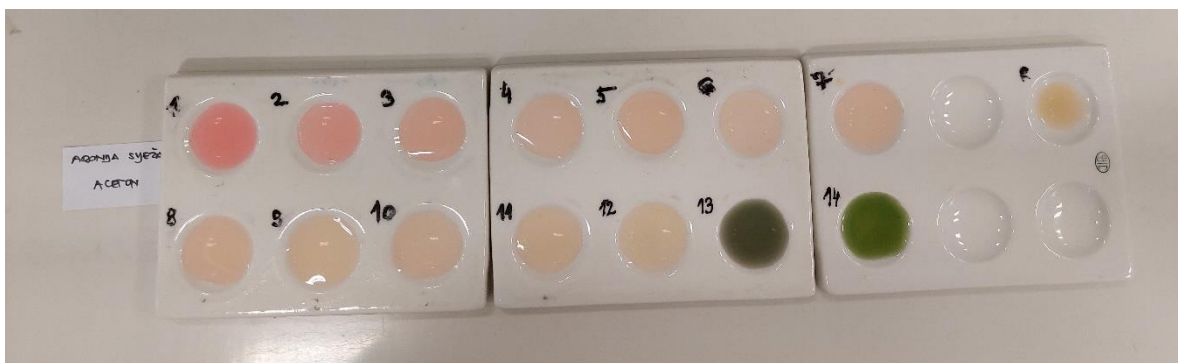
Slika 87. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 4. 3. 2022.



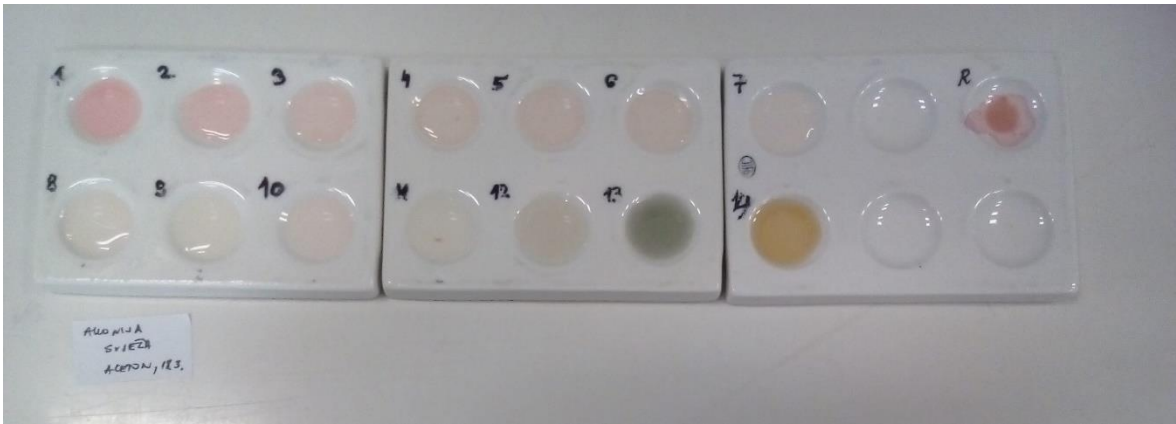
Slika 88. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 8. 3. 2022.



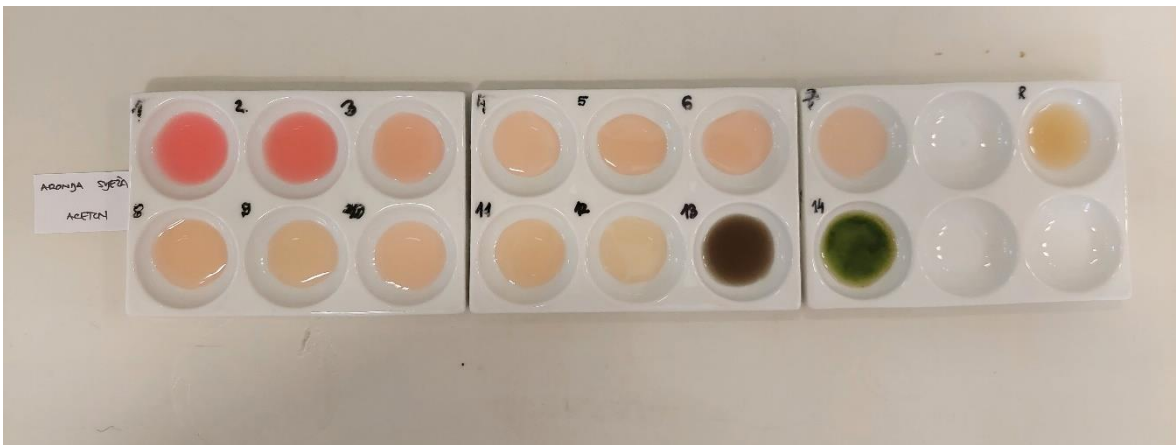
Slika 89. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 11. 3. 2022.



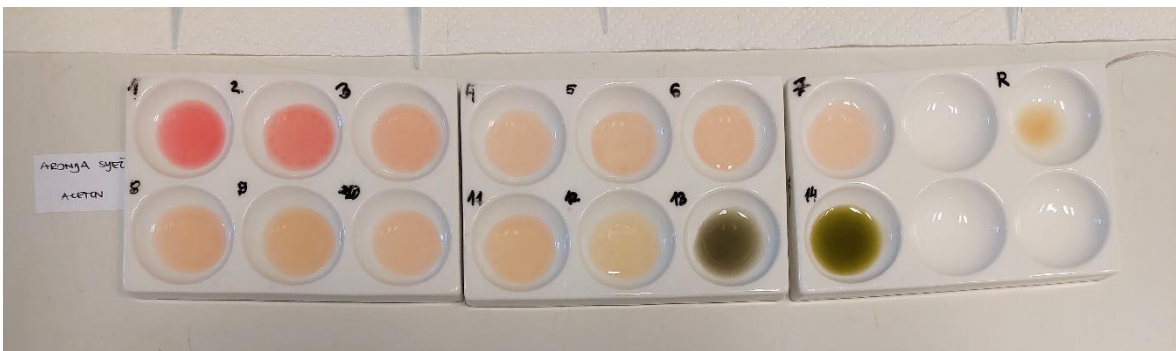
Slika 90. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 15. 3. 2022.



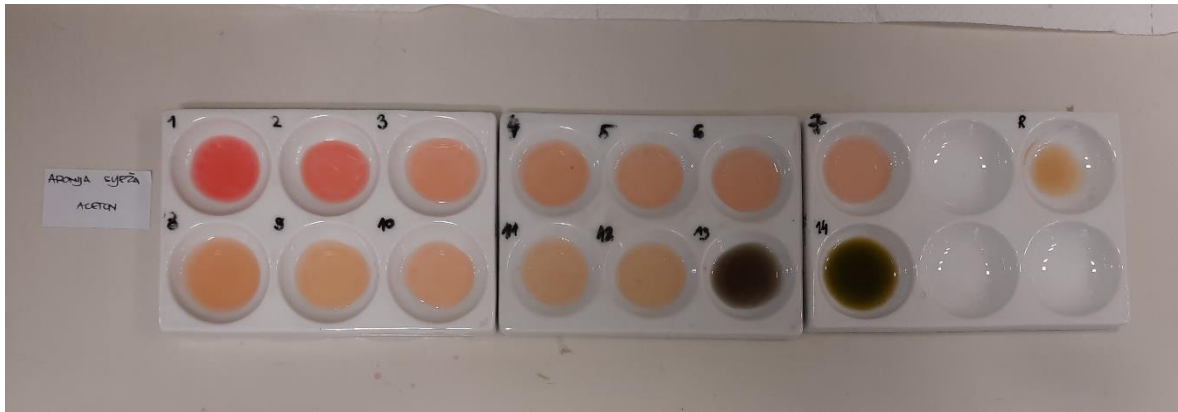
Slika 91. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 18. 3. 2022.



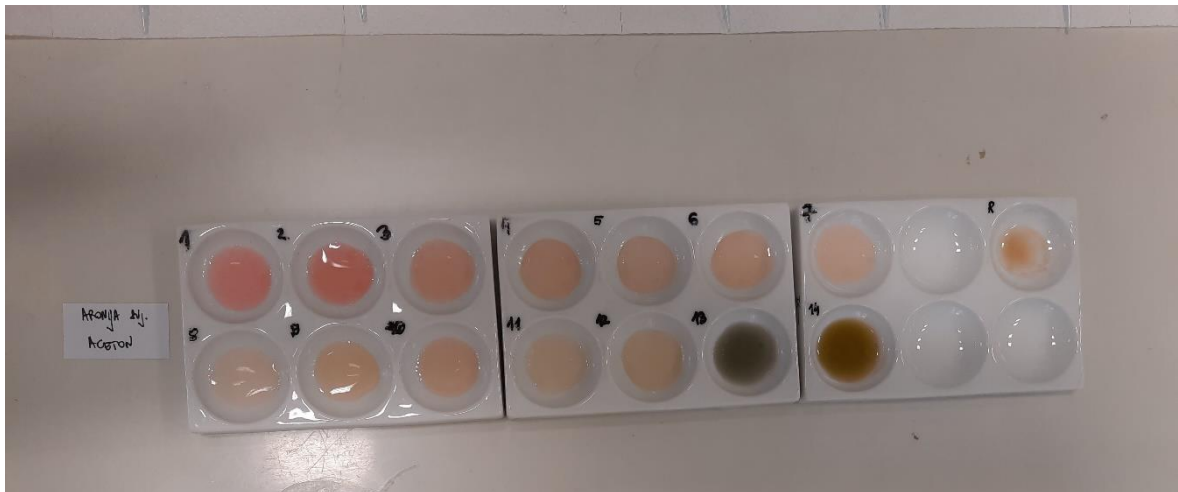
Slika 92. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 22. 3. 2022.



Slika 93. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 25. 3. 2022.



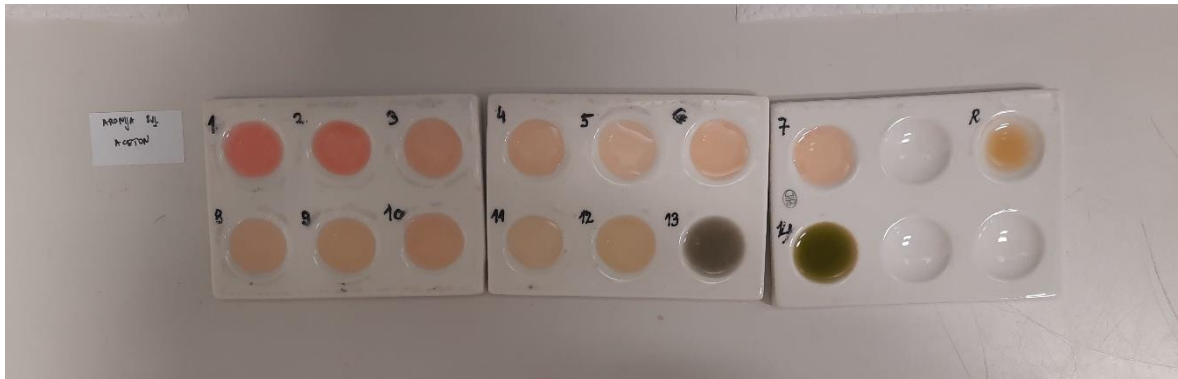
Slika 94. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 29. 3. 2022.



Slika 95. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 1. 4. 2022.



Slika 96. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 5. 4. 2022.



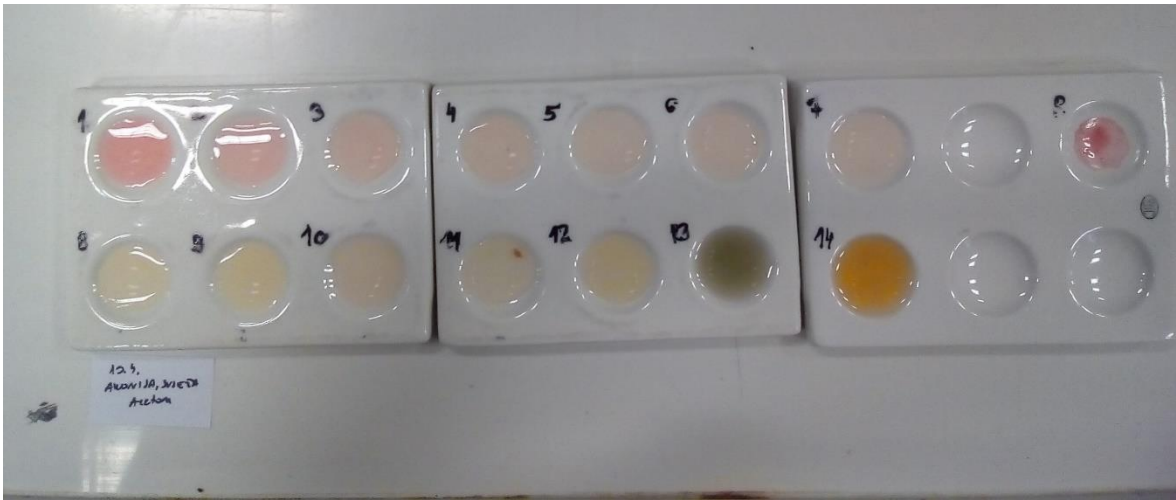
Slika 97. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 8. 4. 2022.



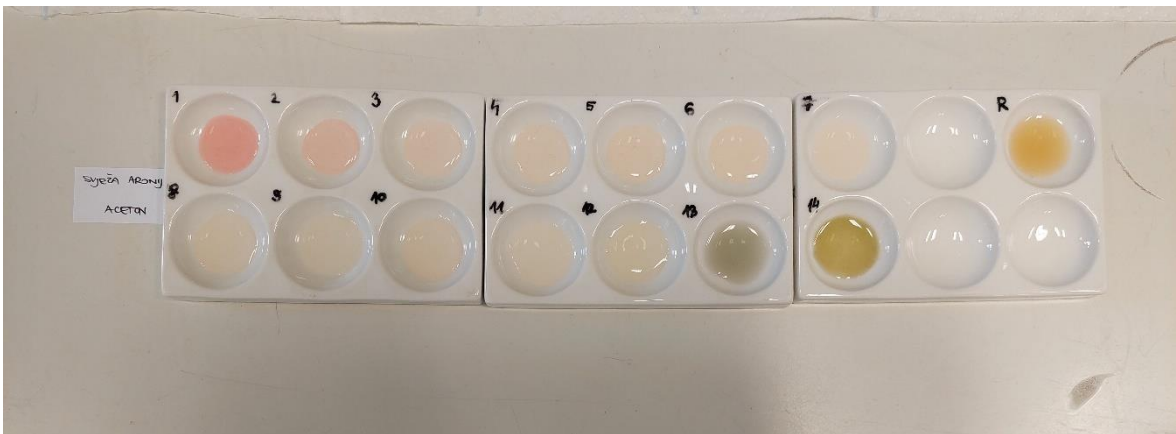
Slika 98. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 12. 4. 2022.



Slika 99. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 15. 4. 2022.



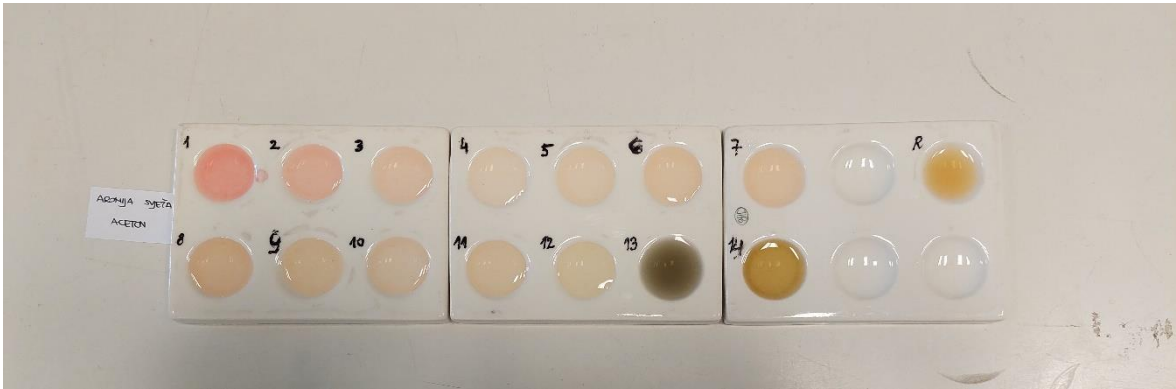
Slika 100. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 19. 4. 2022.



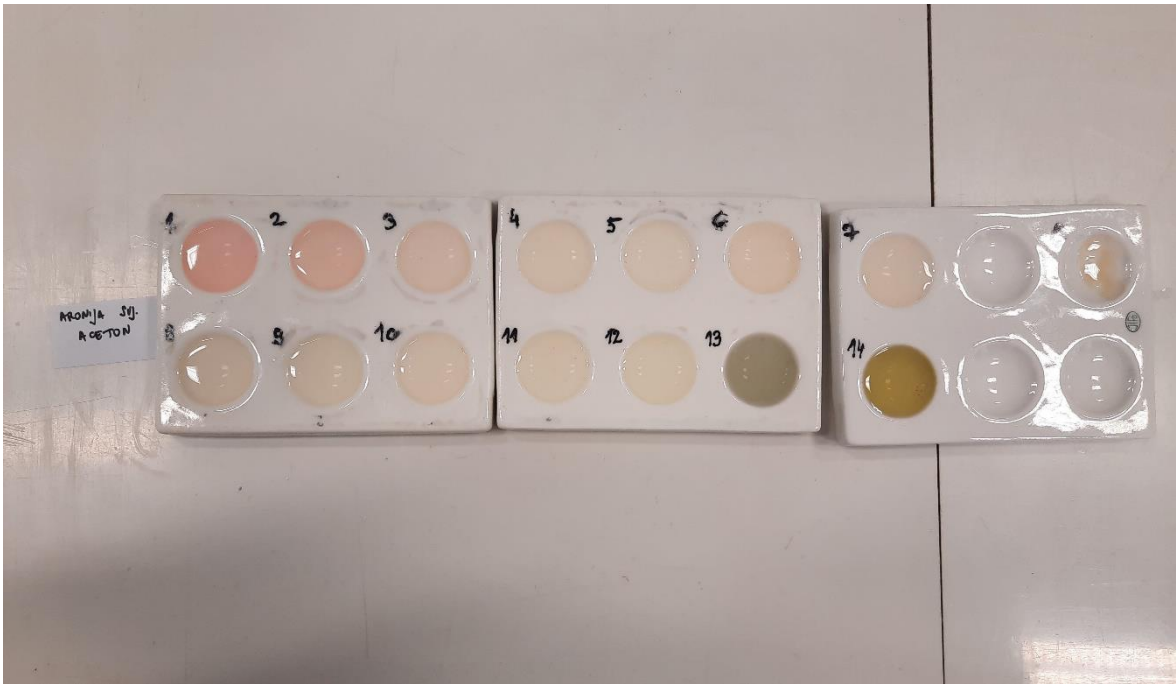
Slika 101. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 22. 4. 2022.



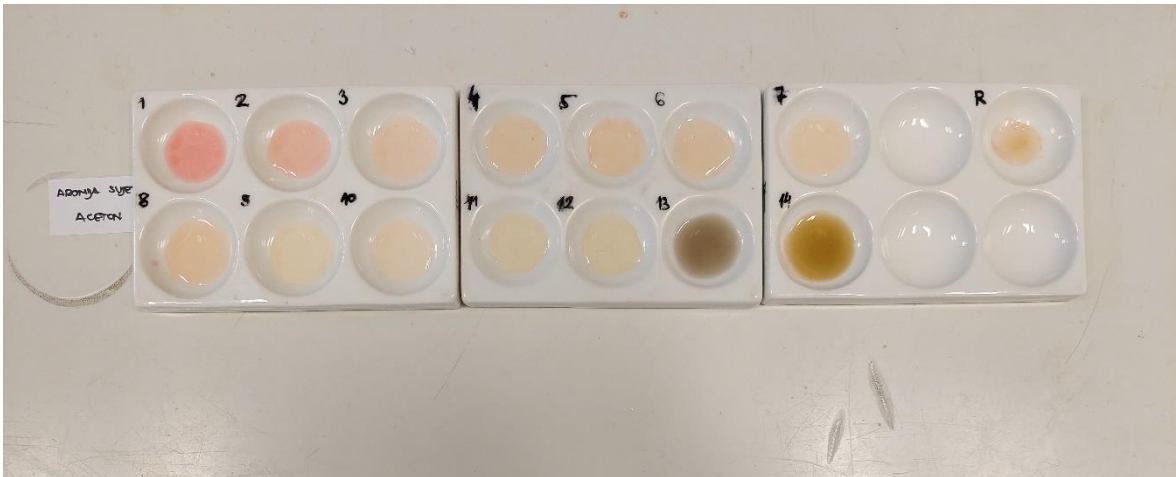
Slika 102. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 26. 4. 2022.



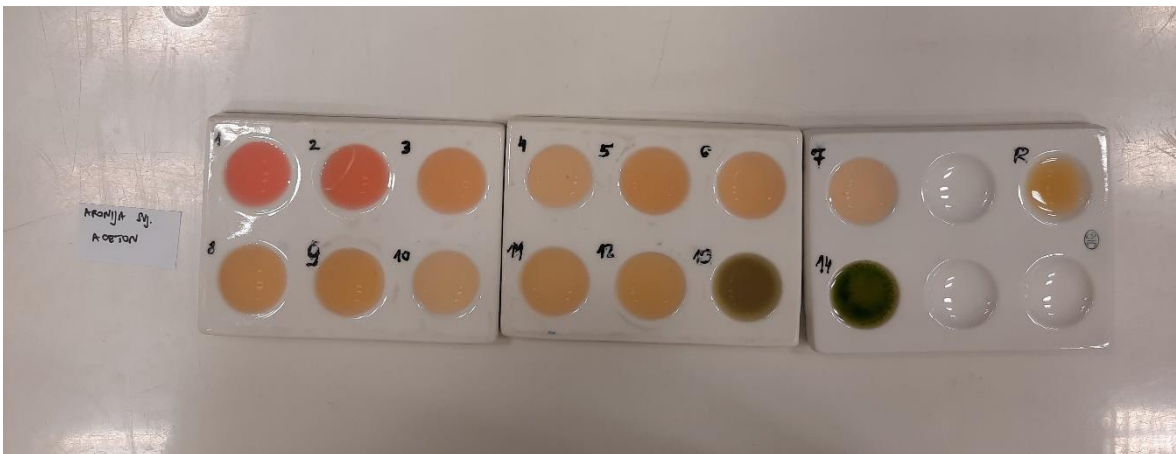
Slika 103. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 29. 4. 2022.



Slika 104. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 3. 5. 2022.



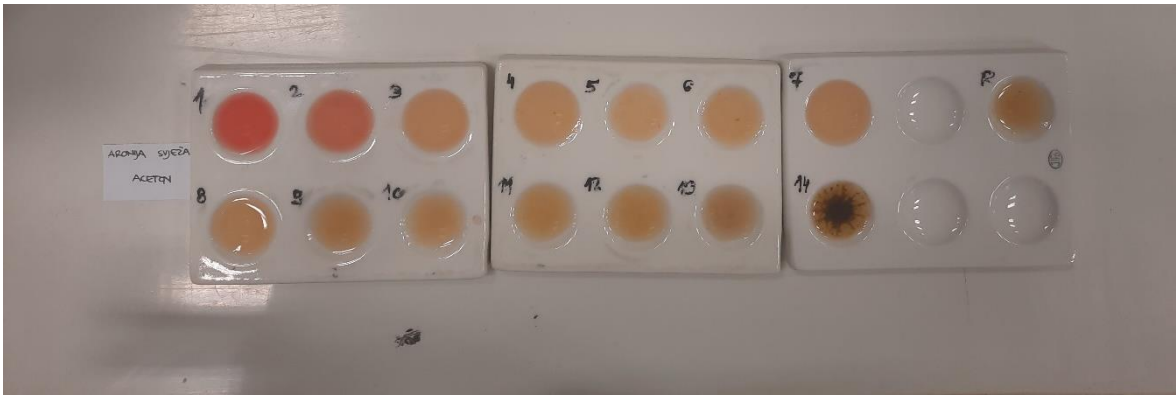
Slika 105. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 6. 5. 2022.



Slika 106. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 10. 5. 2022.



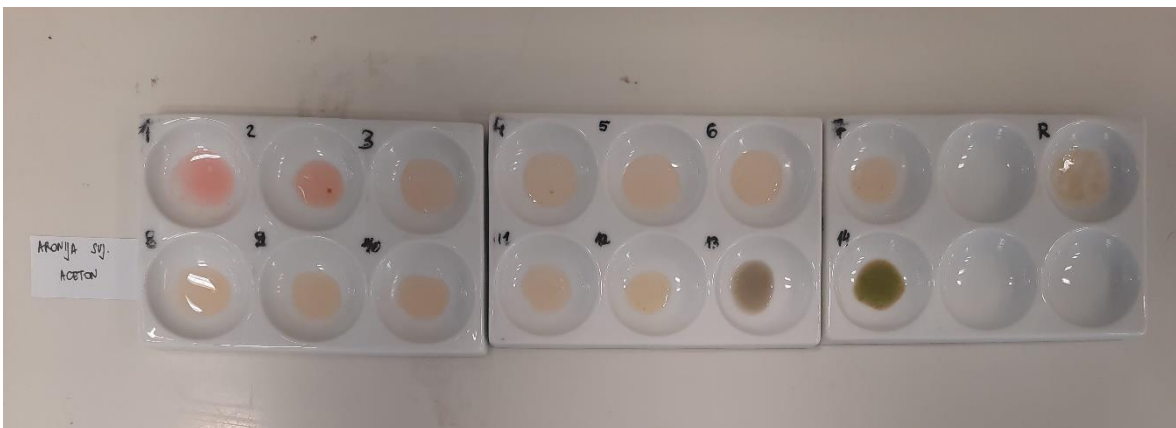
Slika 107. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 13. 5. 2022.



Slika 108. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 17. 5. 2022.



Slika 109. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 20. 5. 2022.



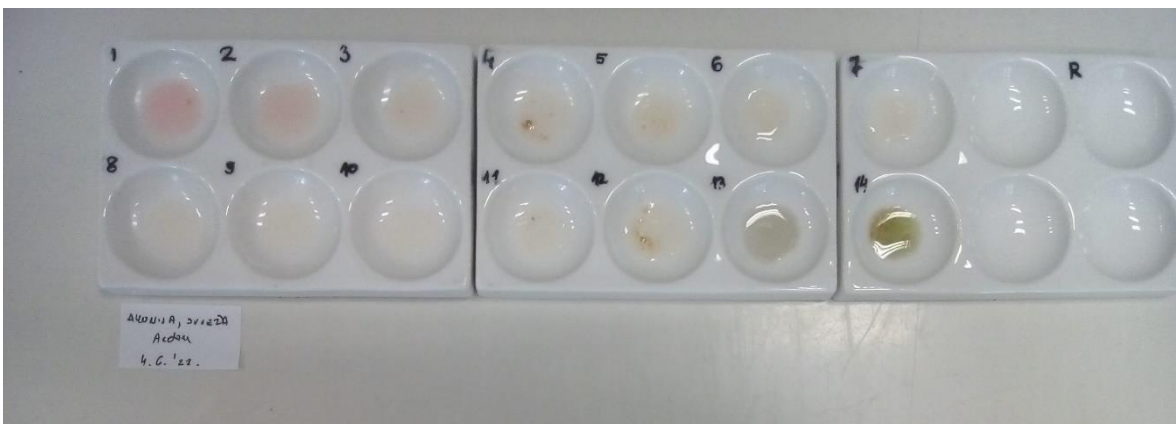
Slika 110. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 24. 5. 2022.



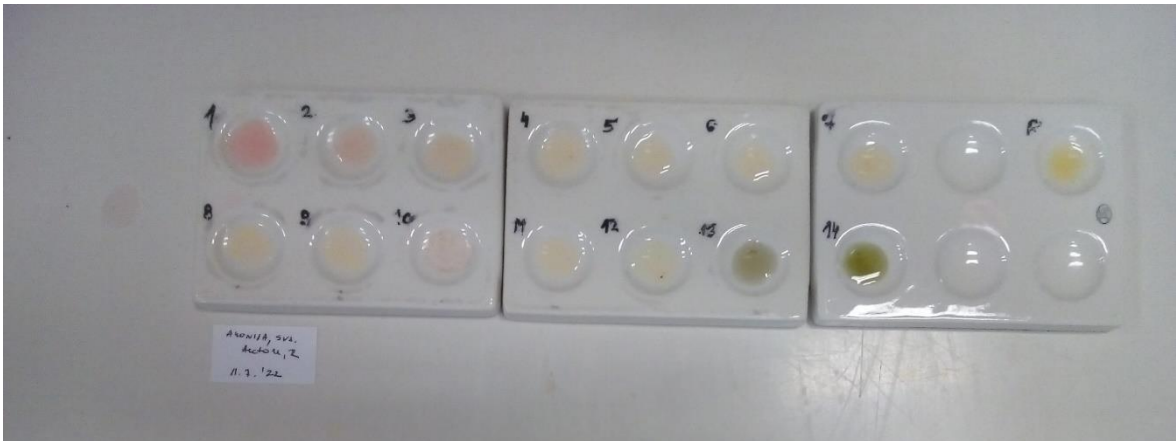
Slika 111. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 27. 5. 2022.



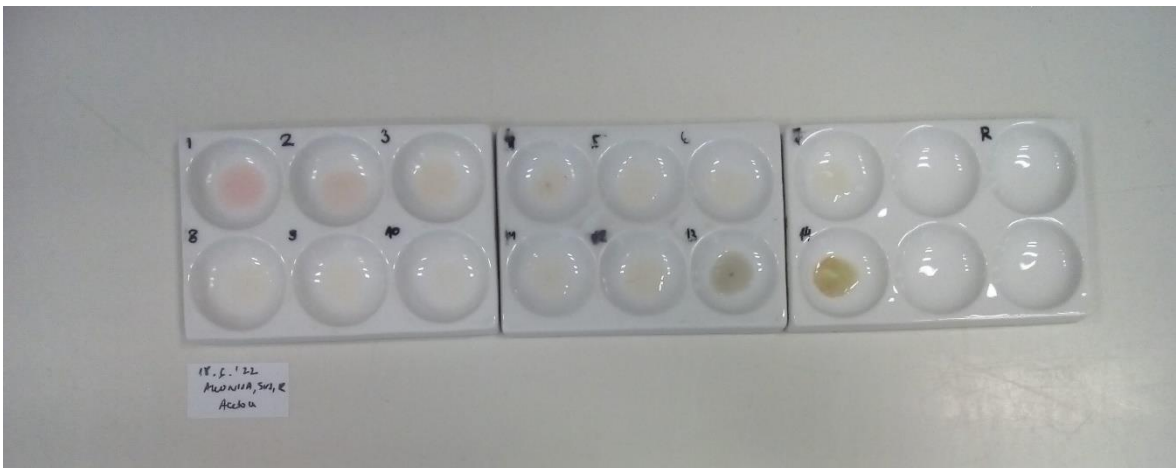
Slika 112. Indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 31. 5. 2022.



Slika 113. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 4. 6. 2022.



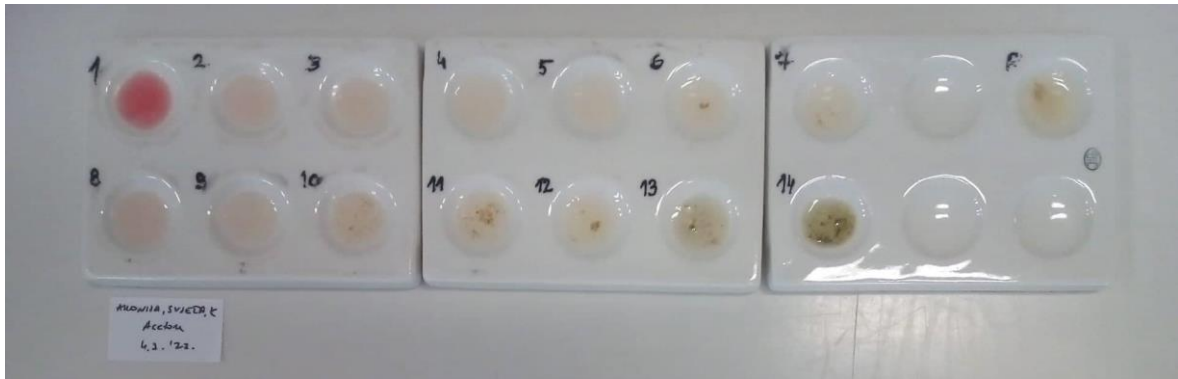
Slika 114. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 11. 6. 2022.



Slika 115. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 18. 6. 2022.



Slika 116. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 25. 6. 2022.



Slika 117. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u acetonu, 4. 7. 2022.

Prvim ispitivanjem utvrđena su sljedeća obojenja (prikazana na Slici 79.): pH = 1-3 tamno ružičasto obojenje, pri pH = 4-10 blijedo ružičasto, pH = 11-13 svjetlo zeleno obojenje, a pri pH = 14 žuto obojenje. Sljedećim je mjerenjem došlo do promjene pri pH = 11 pri kojem otopina prelazi u blijedo ružičastu otopinu, a pri pH = 12 i pH = 13 otopina ima jasno zelenu boju.

Ispitivanje koje prikazuje Slika 82. pokazuje da otopina pri pH = 12 postaje blijedo ružičasta. Sljedećim ispitivanjima može se uočiti kako se najveće promjene odvijaju u bazičnom mediju pri pH = 13 pri kojem boja varira između zelene i ljubičaste te pri pH = 14 pri kojem otopina poprima žuto-zelenu boju. Stajanjem otopina u jažicama, pH = 13 poprima sivkastu boju, a pH = 14 žutu.

Reciklirani indikator daje rezultate koji su puno slabijeg intenziteta. Pri pH = 1-2 uočava se blijedo ružičasta obojenost, pri pH = 3-12 otopina je gotovo prozirna, pri pH = 13 uočava se svjetlo ljubičasta boja, a pri pH = 14 zelena te se takva obojenost otopina zadržava kroz čitav mjesec ispitivanja recikliranog materijala. Ispitivanje je prikazano Slikama 112.-116.

4.4. Indikator pripremljen s metanolom

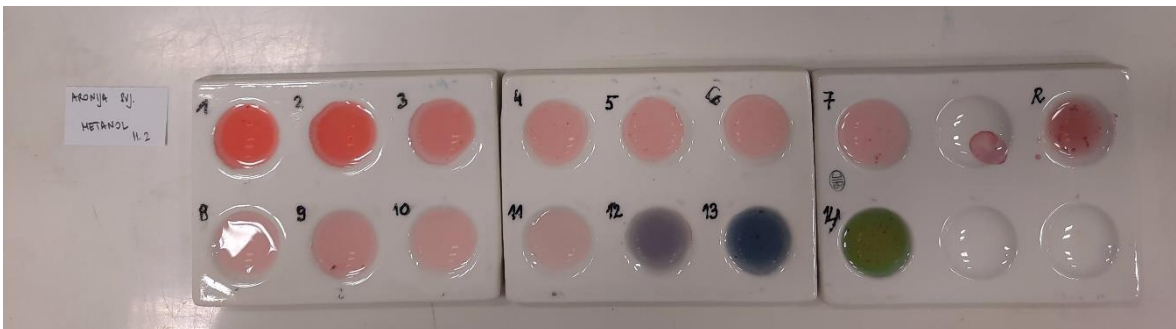
Rezultati ispitivanja trajnosti kiselo-baznog indikatora pripremljenog od svježih bobica aronije i metanola prikazani su Slikama 118.-157., od kojih se Slike 153.-157. odnose na reciklirani indikator.



Slika 118. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 4. 2. 2022.



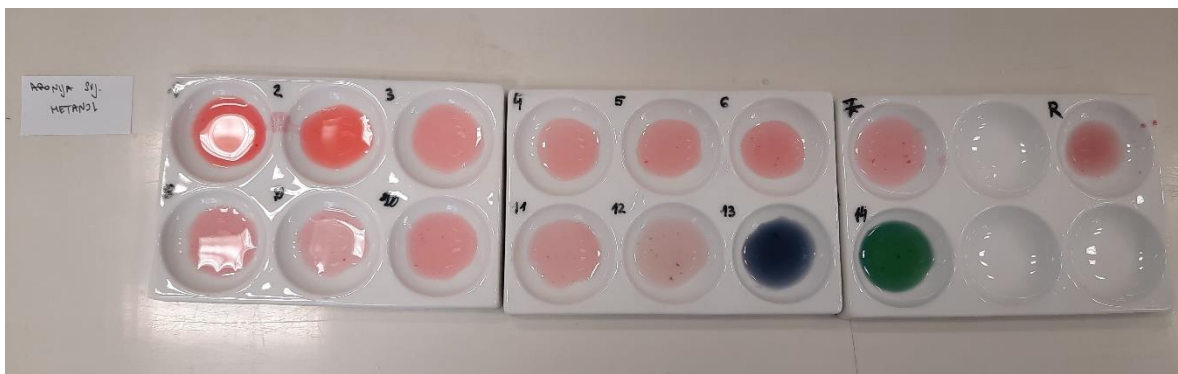
Slika 119. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 8. 2. 2022.



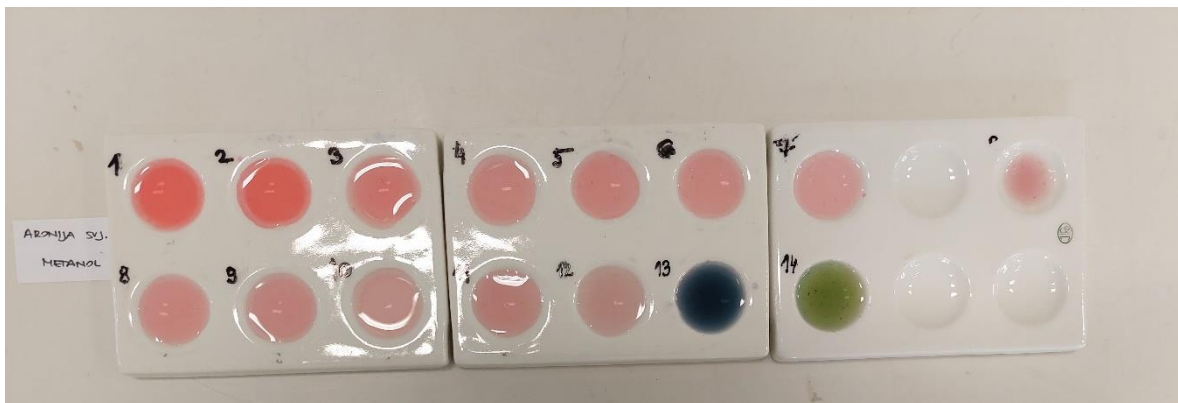
Slika 120. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 11. 2. 2022.



Slika 121. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 15. 2. 2022.



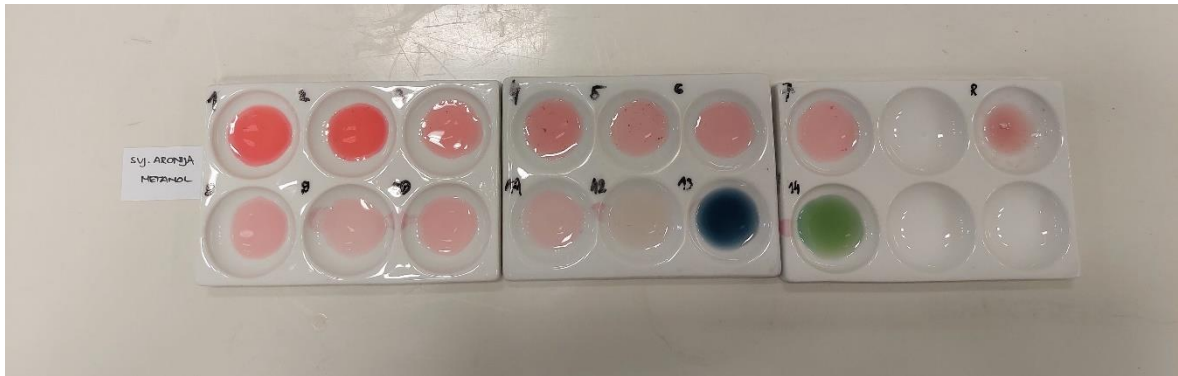
Slika 122. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 18. 2. 2022.



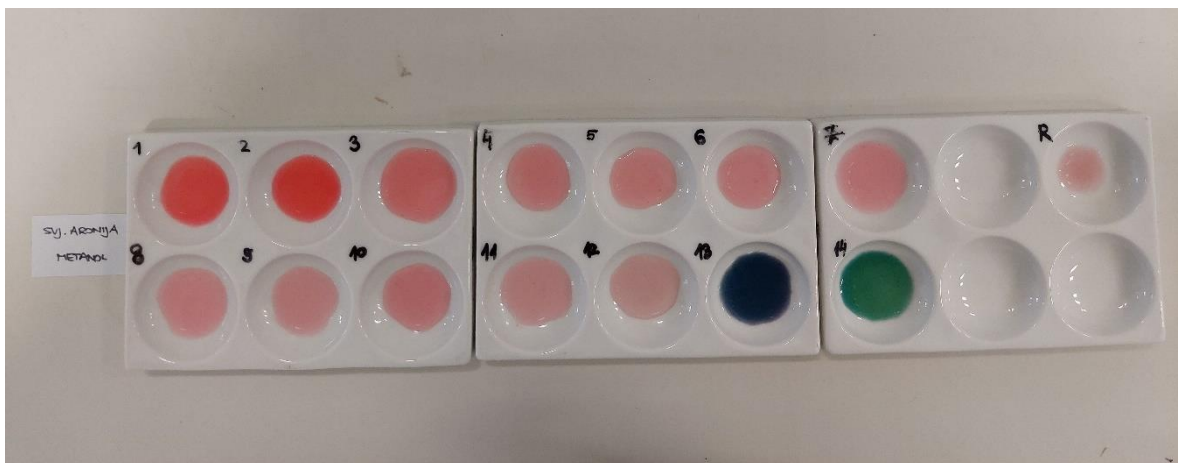
Slika 123. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 22. 2. 2022.



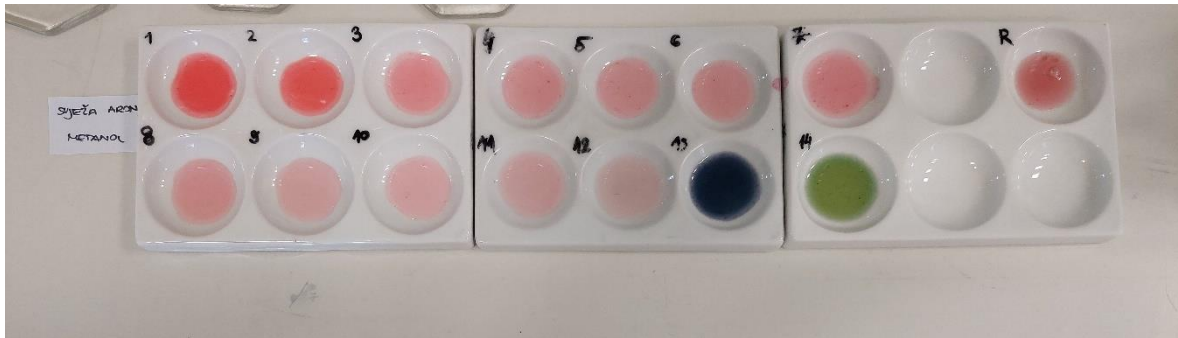
Slika 124. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 25. 2. 2022.



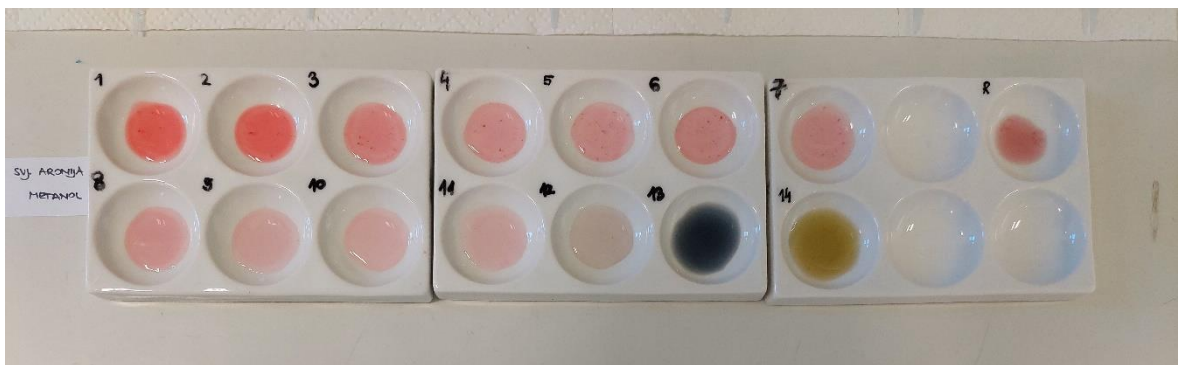
Slika 125. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 1. 3. 2022.



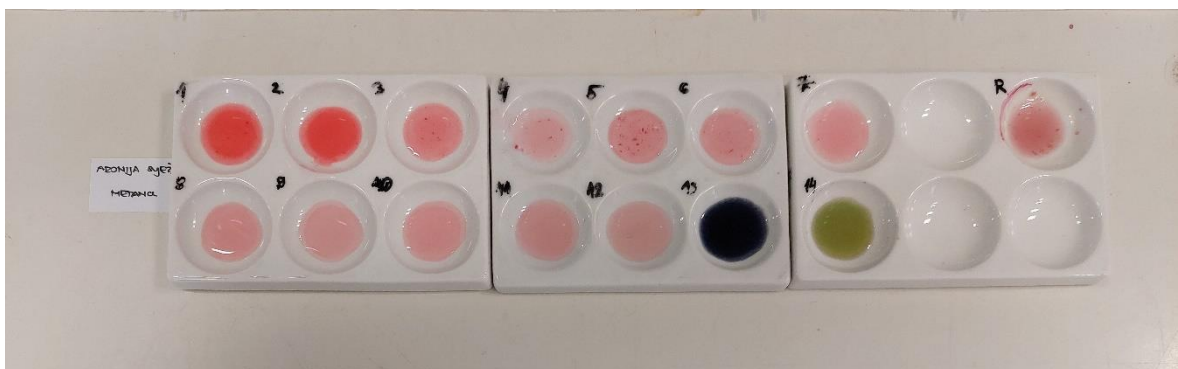
Slika 126. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 4. 3. 2022.



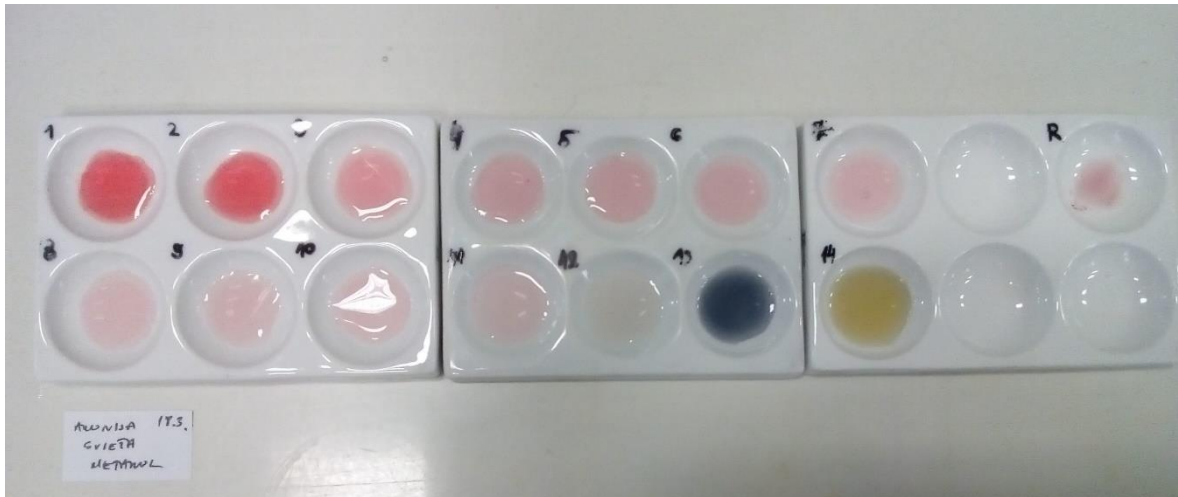
Slika 127. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 8. 3. 2022.



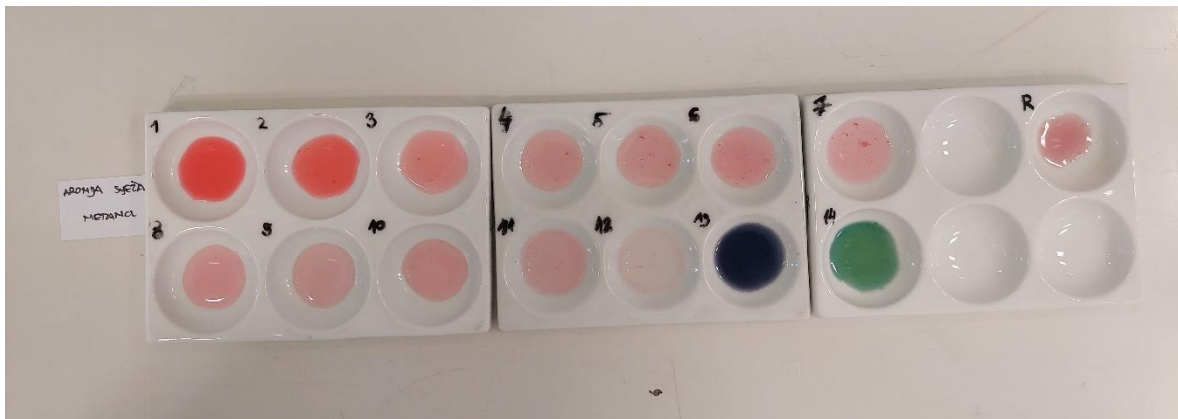
Slika 128. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 11. 3. 2022.



Slika 129. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 15. 3. 2022.



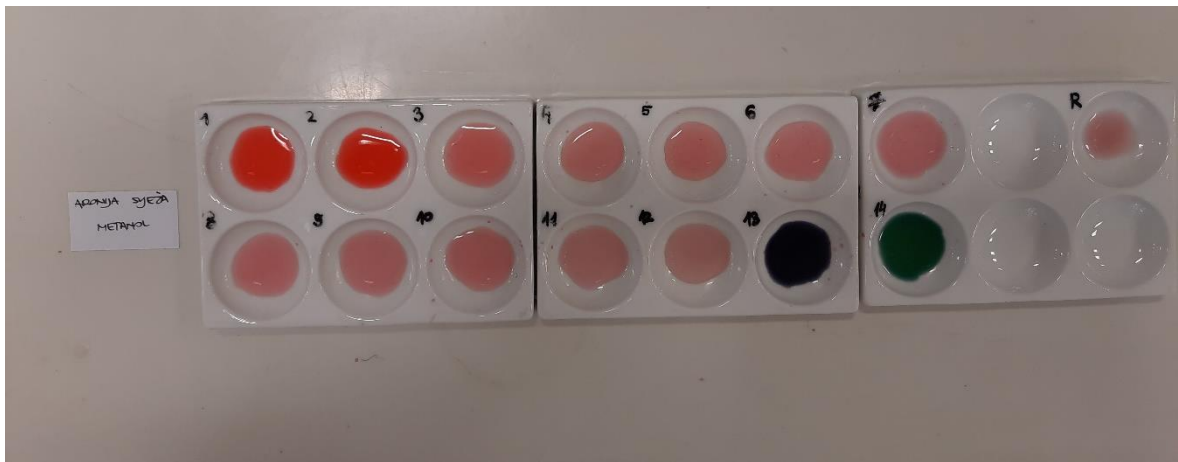
Slika 130. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 18. 3. 2022.



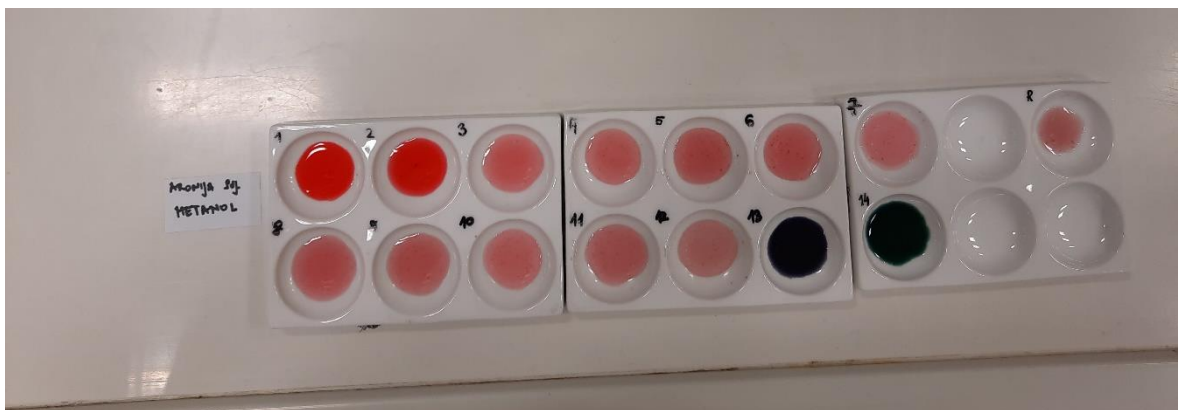
Slika 131. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 22. 3. 2022.



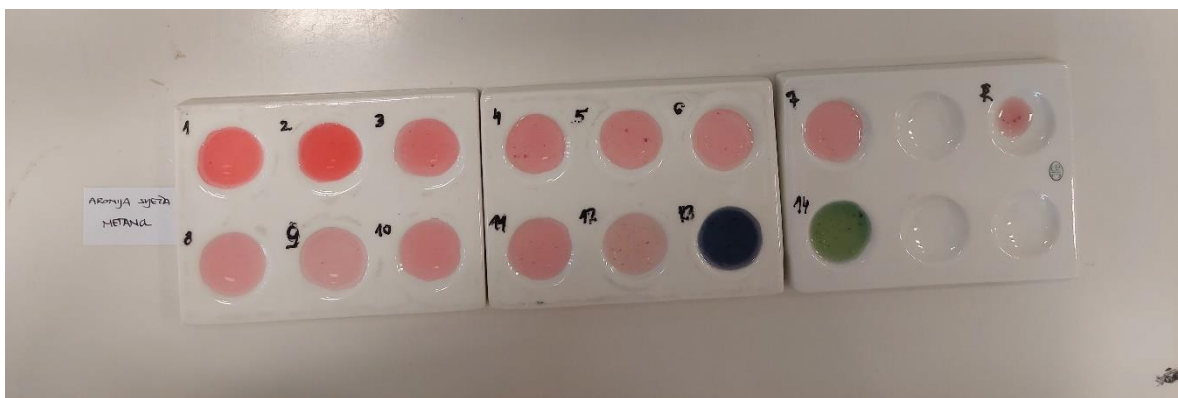
Slika 132. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 25. 3. 2022.



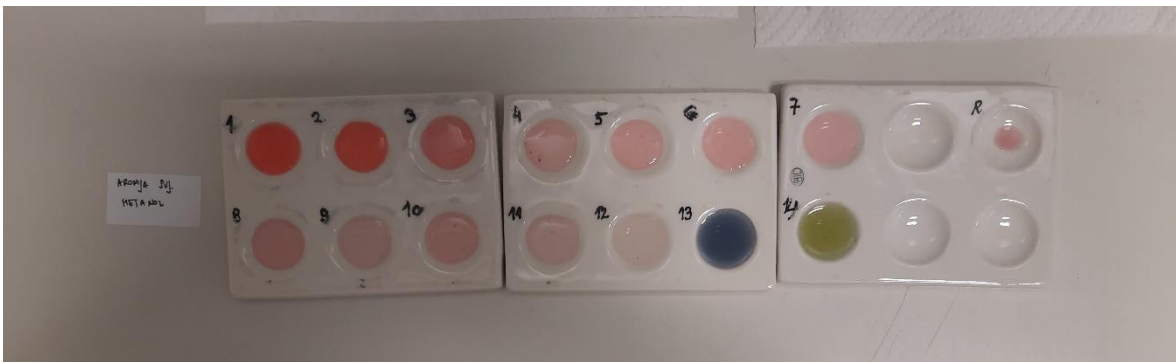
Slika 133. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 29. 3. 2022.



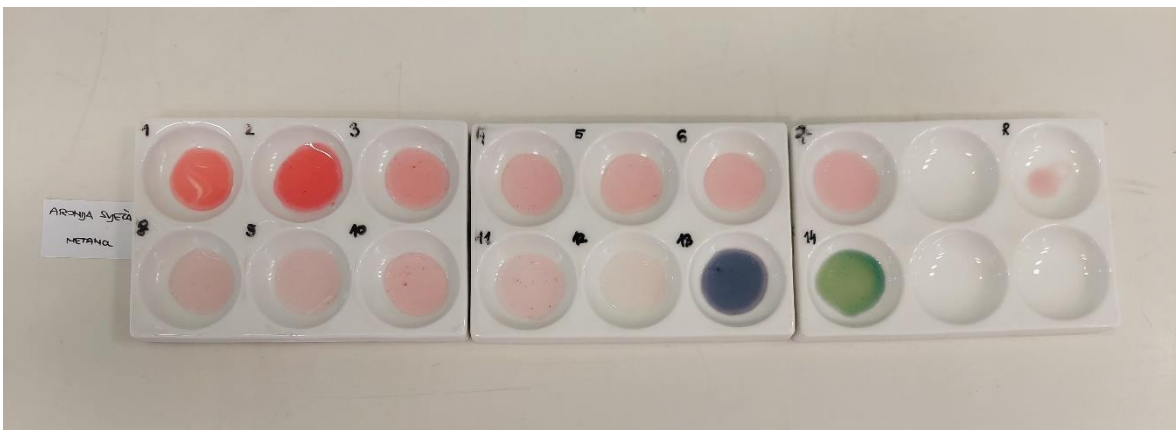
Slika 134. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 1. 4. 2022.



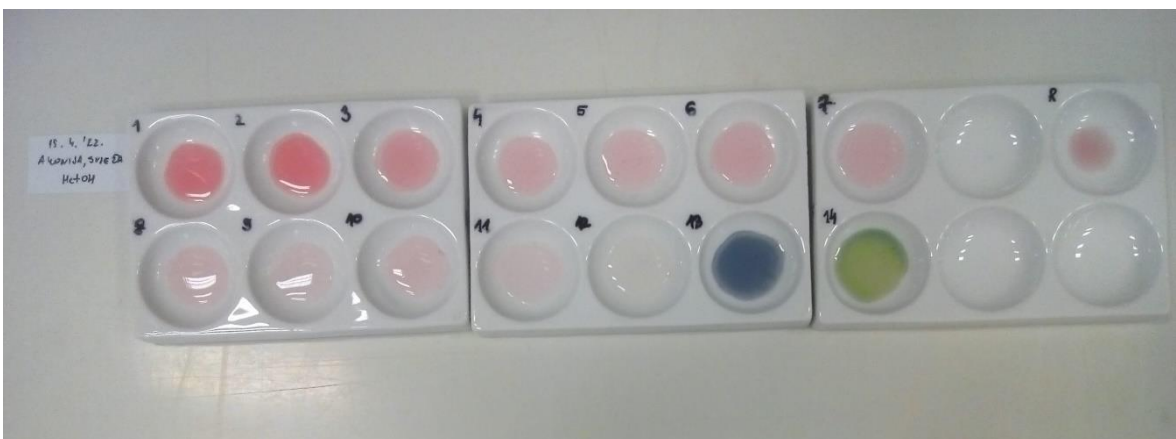
Slika 135. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 5. 4. 2022.



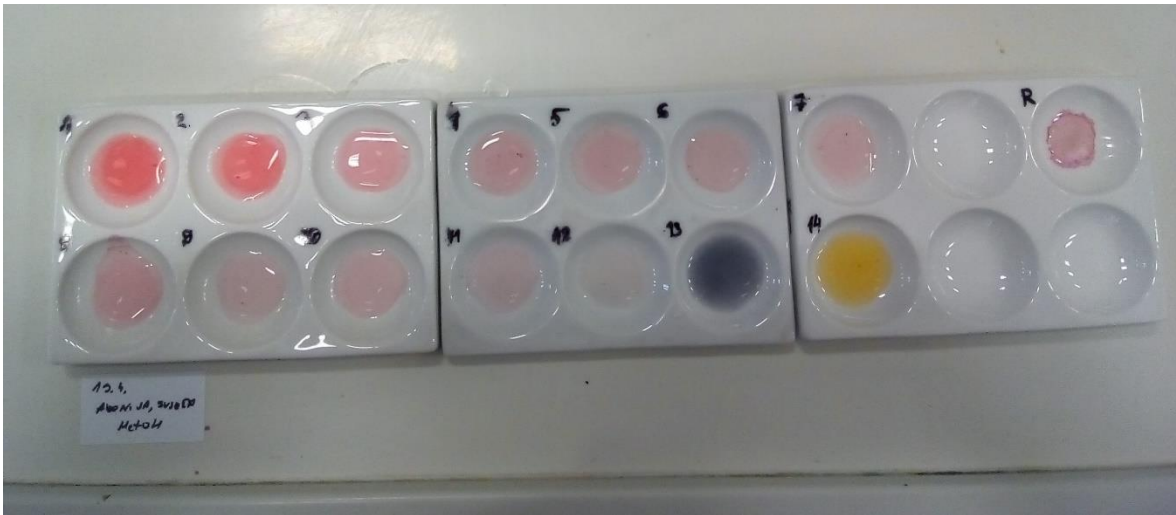
Slika 136. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 8. 4. 2022.



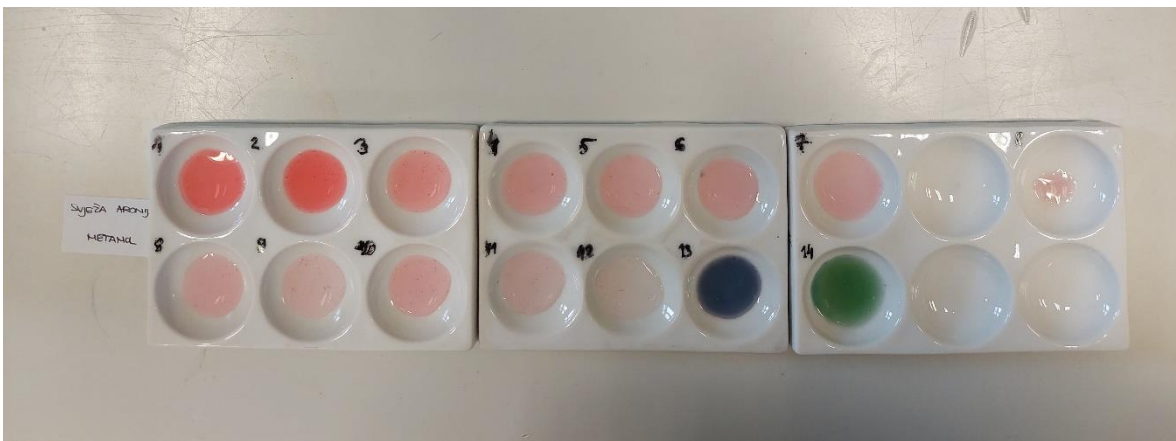
Slika 137. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 12. 4. 2022.



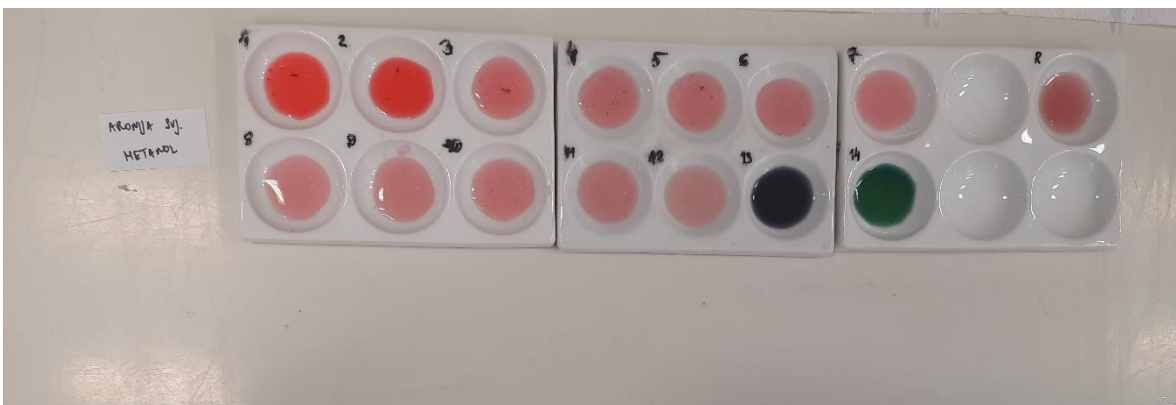
Slika 138. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 15. 4. 2022.



Slika 139. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 19. 4. 2022.



Slika 140. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 22. 4. 2022.



Slika 141. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu 26. 4. 2022.



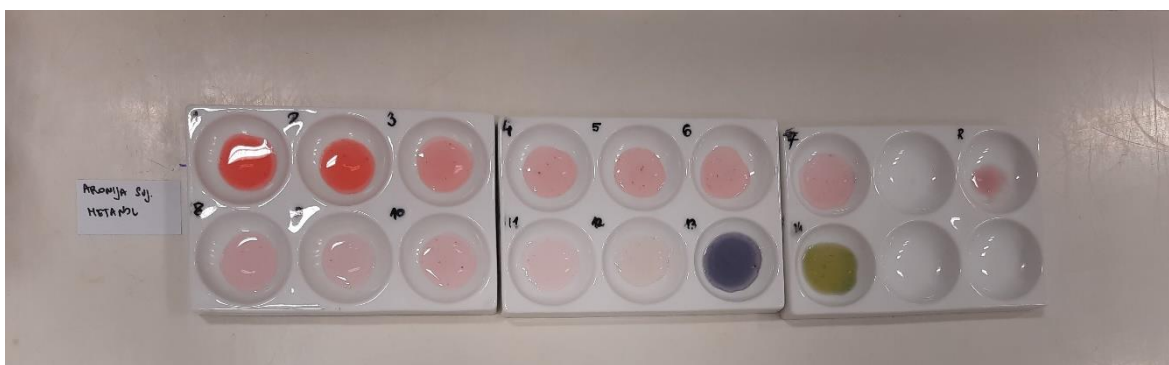
Slika 142. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 29. 4. 2022.



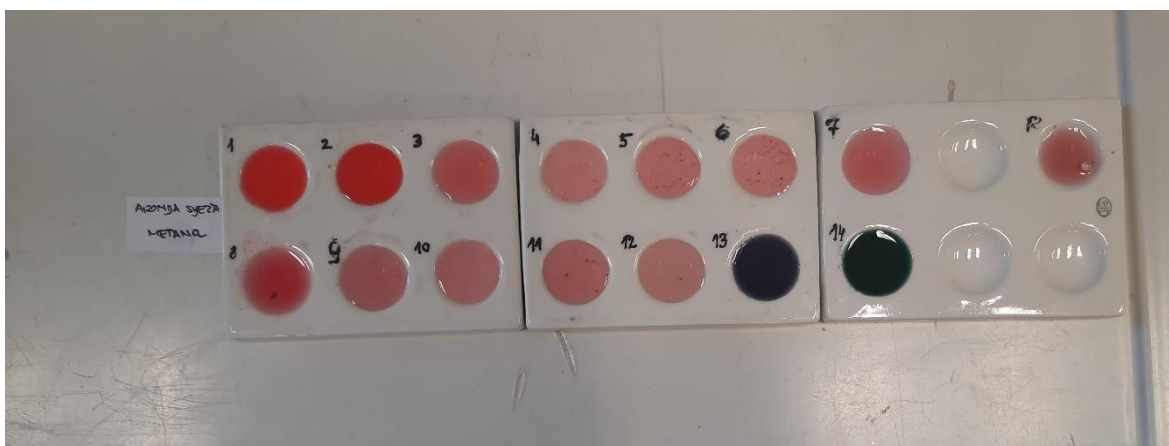
Slika 143. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 3. 5. 2022.



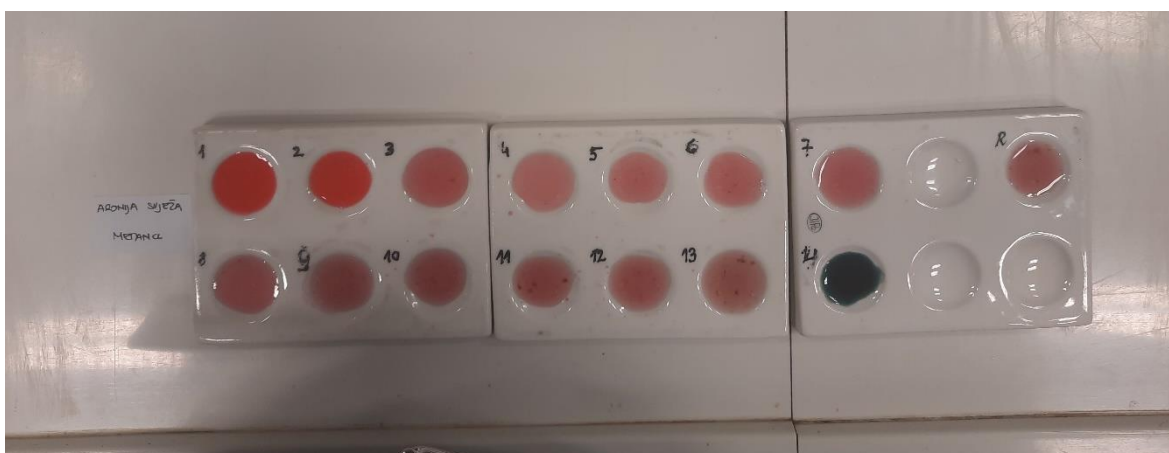
Slika 144. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 6. 5. 2022.



Slika 145. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 10. 5. 2022.



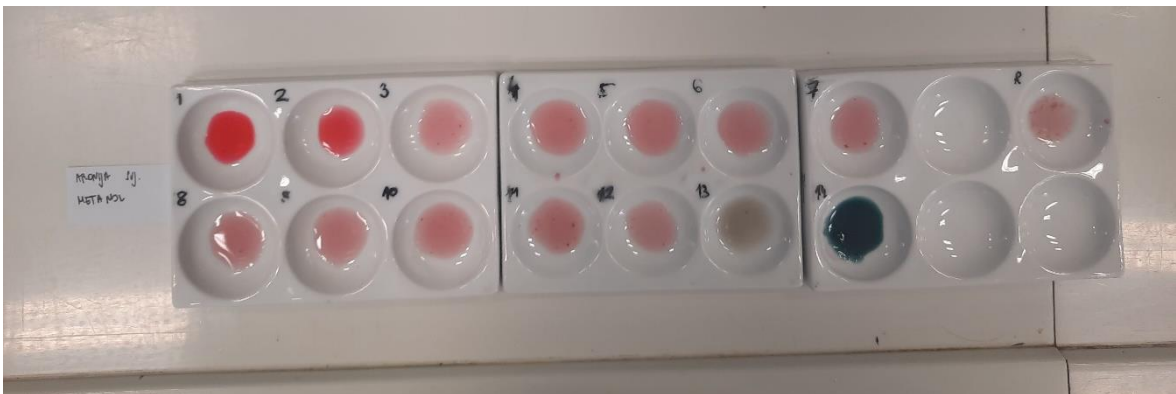
Slika 146. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 13. 5. 2022.



Slika 147. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 17. 5. 2022.



Slika 148. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 20. 5. 2022.



Slika 149. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 24. 5. 2022.



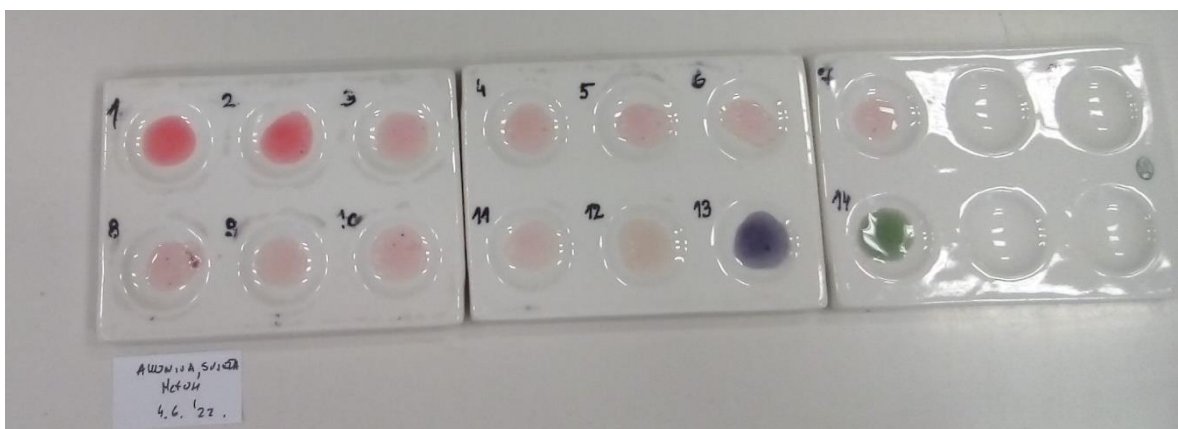
Slika 150. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 27. 5. 2022.



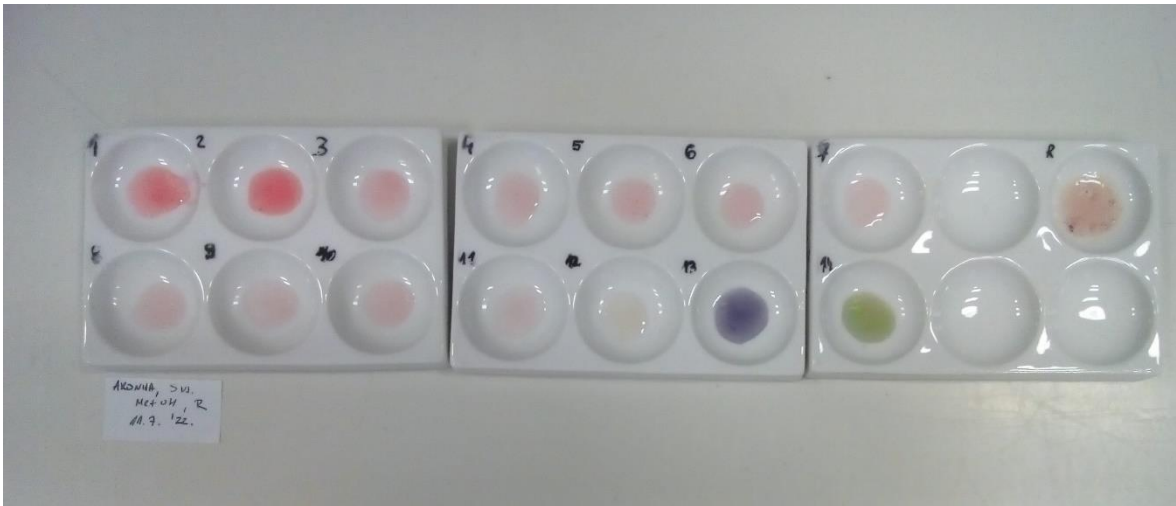
Slika 151. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 31. 5. 2022.



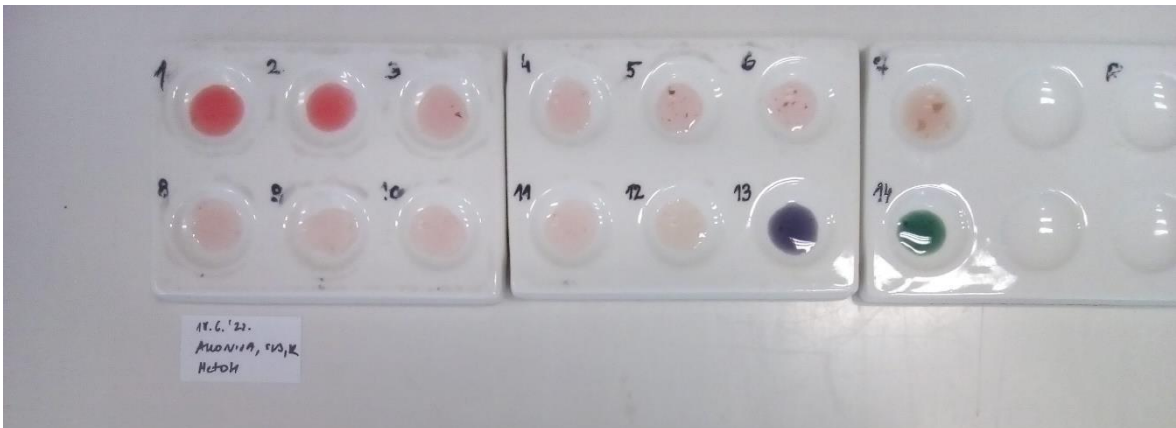
Slika 152. Indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 3. 6. 2022.



Slika 153. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 4. 6. 2022.



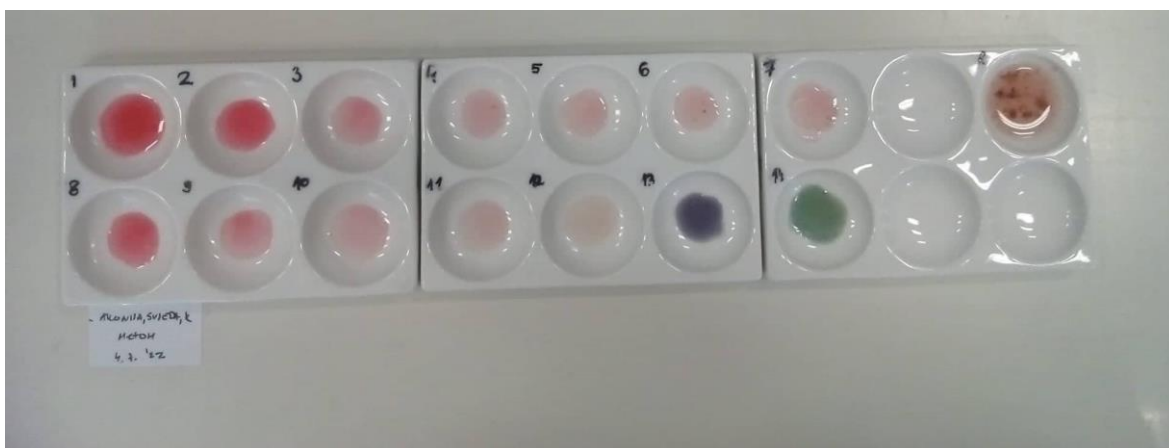
Slika 154. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 11. 6. 2022.



Slika 155. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 18. 6. 2022.



Slika 156. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 25. 6. 2022.



Slika 157. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u metanolu, 4. 7. 2022.

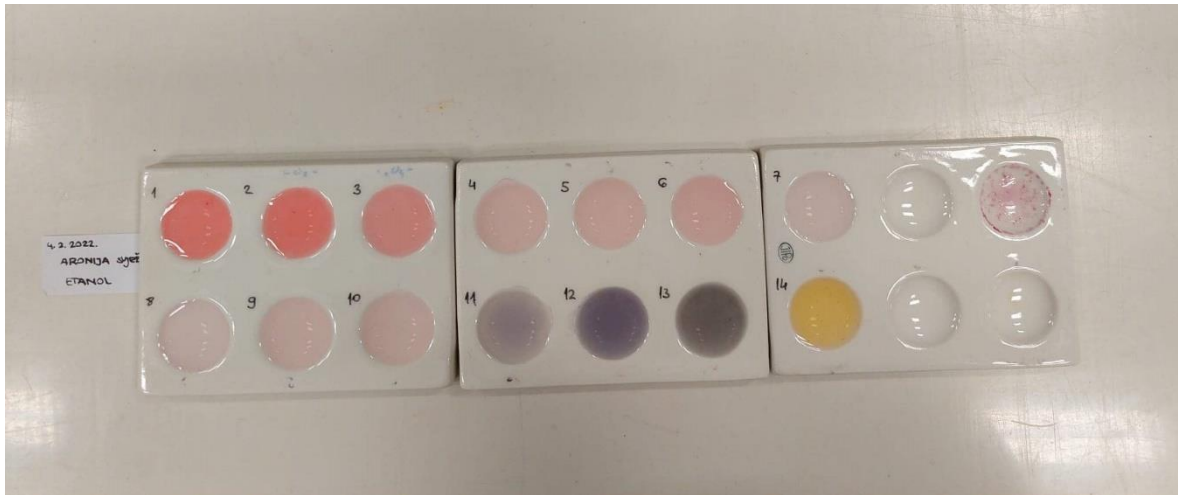
Prvim ispitivanjem svježe aronije kao kiselobaznog indikatora s metanolom uočene su najjasnije i najintenzivnije boje od svih do sada obrađenih otapala. Pri pH = 1-3 obojanost je tamno ružičasta, pri pH = 4-11 otopina je svjetlo ružičaste boje, pri pH = 12 uočava se ljubičasta boja, pri pH = 13 zelena i pri pH = 14 žuta boja, što je prikazano na Slici 118.

Sljedećim se ispitivanjima uočava razlika pri pH = 12 u kojem otopina poprima svjetlo ružičastu boju, pri pH = 13 tamno plavu, a pri pH = 14 žuto-zelenu boju. Boja uočena pri pH = 14 razlikuje se ovisno o tome je li jažica slikana odmah po dodatku ili nekoliko minuta nakon dodatka indikatora, pa su i u ovom slučaju uočene boje bile žuta i zelena.

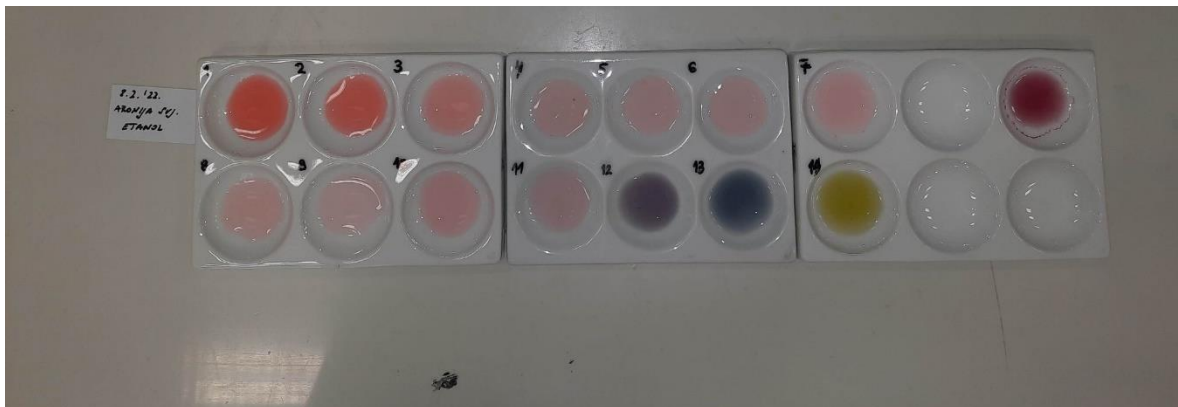
Reciklirani indikator (Slike 153.-157.) pokazuje ista obojenja kao i nereciklirani indikator, odnosno, pri pH = 1-2 je tamnije ružičast, pH = 3-12 svjetlije ružičast, pH = 13 je plave, a pri pH = 14 zelene boje.

4.5. Indikator pripremljen s etanolom

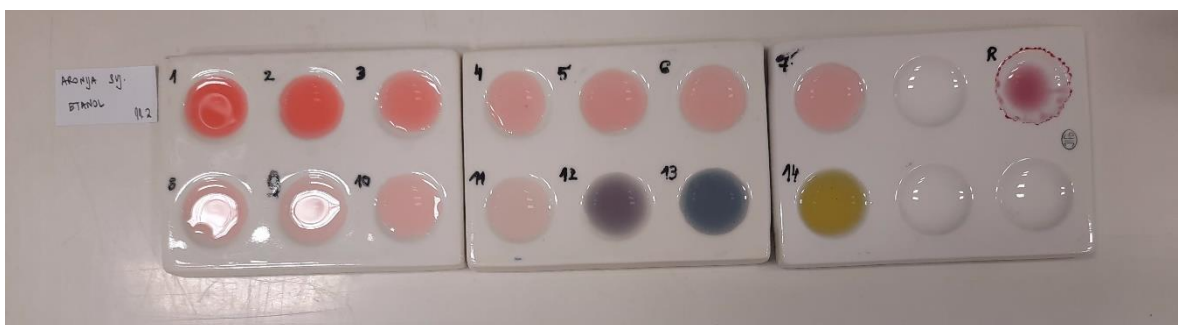
Rezultati ispitivanja trajnosti kiselobaznog indikatora pripremljenog od svježih bobica aronije i etanola prikazani su na Slikama 158.-197. Ispitivanje recikliranog indikatora prikazano je na Slikama 193.-197.



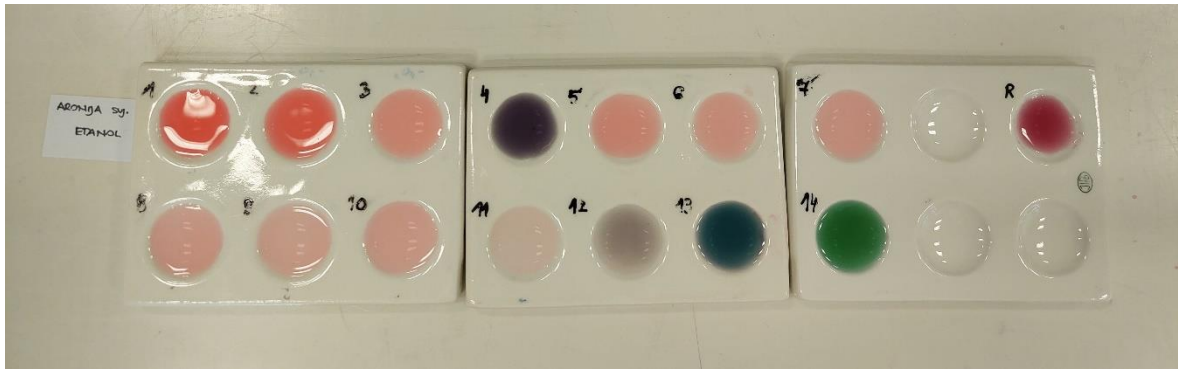
Slika 158. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 4. 2. 2022.



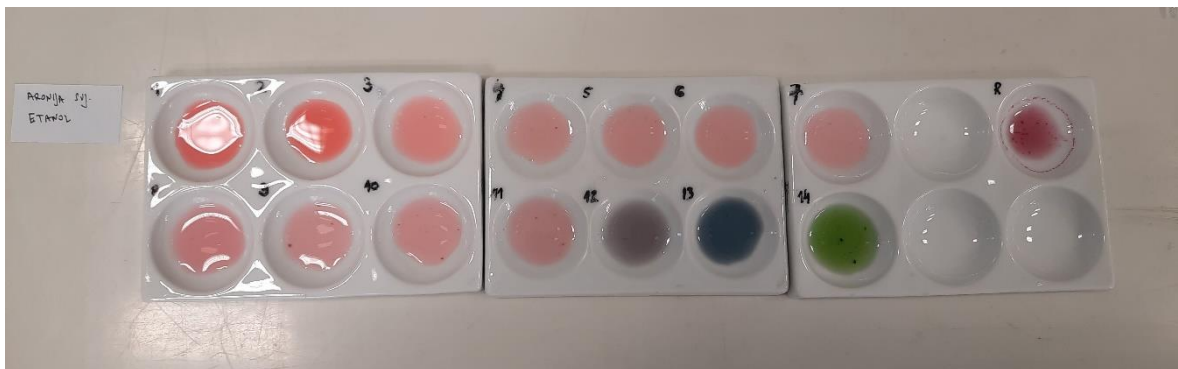
Slika 159. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 8. 2. 2022.



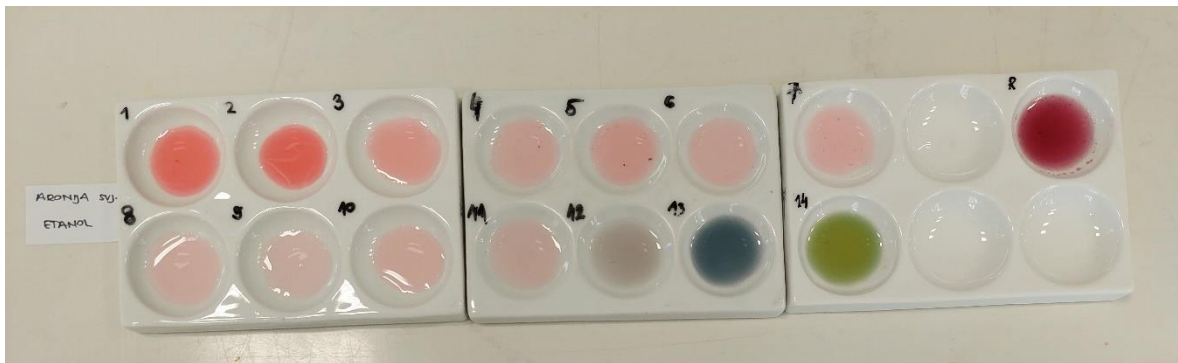
Slika 160. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 11. 2. 2022.



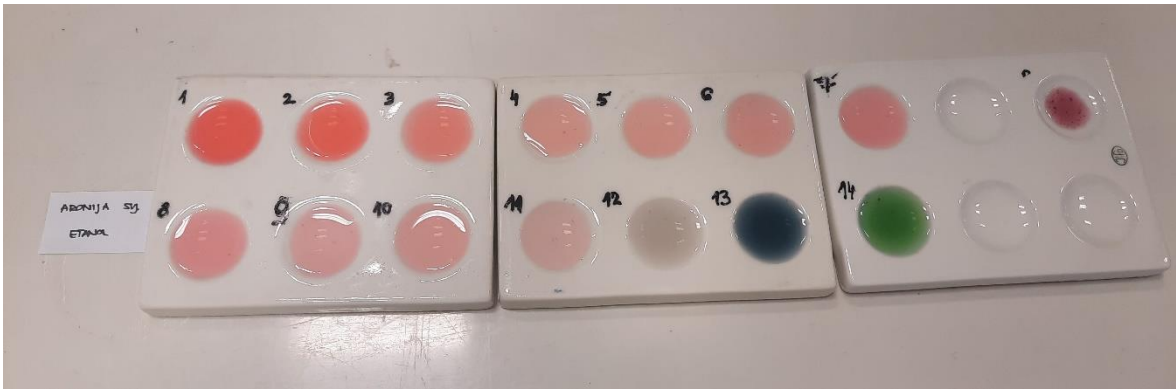
Slika 161. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 15. 2. 2022.



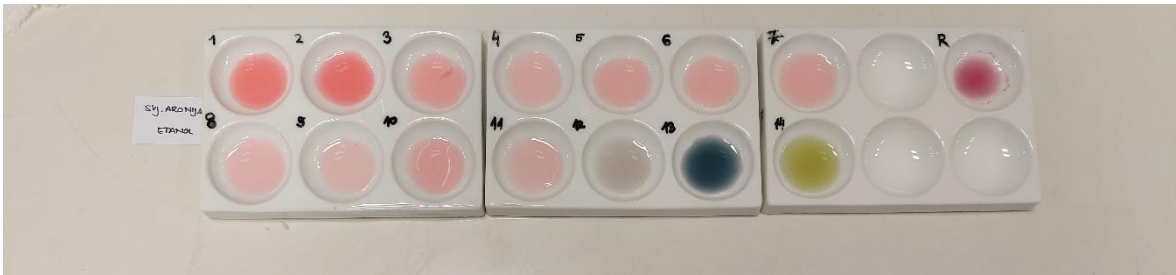
Slika 162. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 18. 2. 2022.



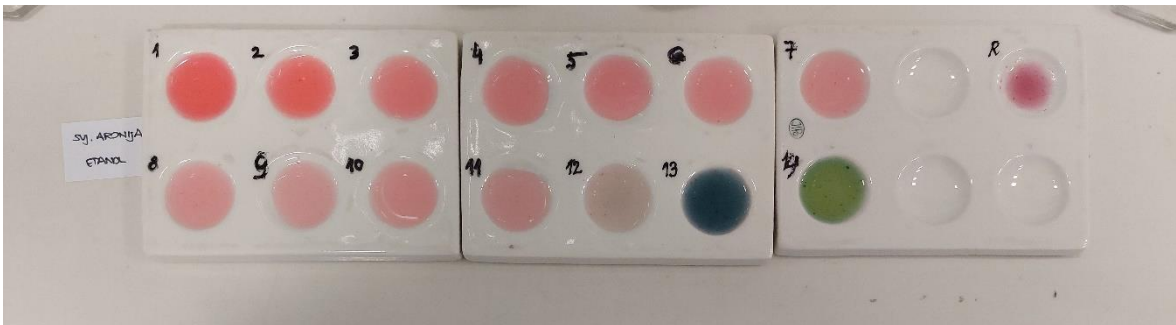
Slika 163. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 22. 2. 2022.



Slika 164. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 25. 2. 2022.



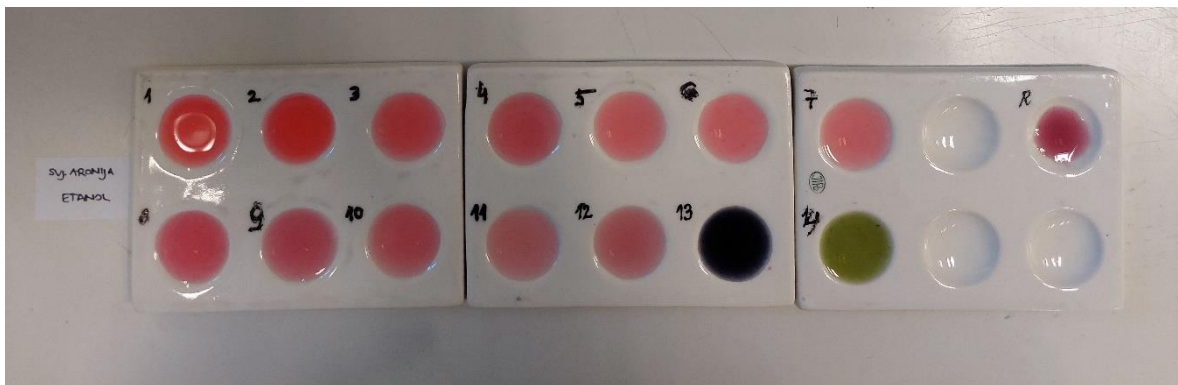
Slika 165. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 1. 3. 2022.



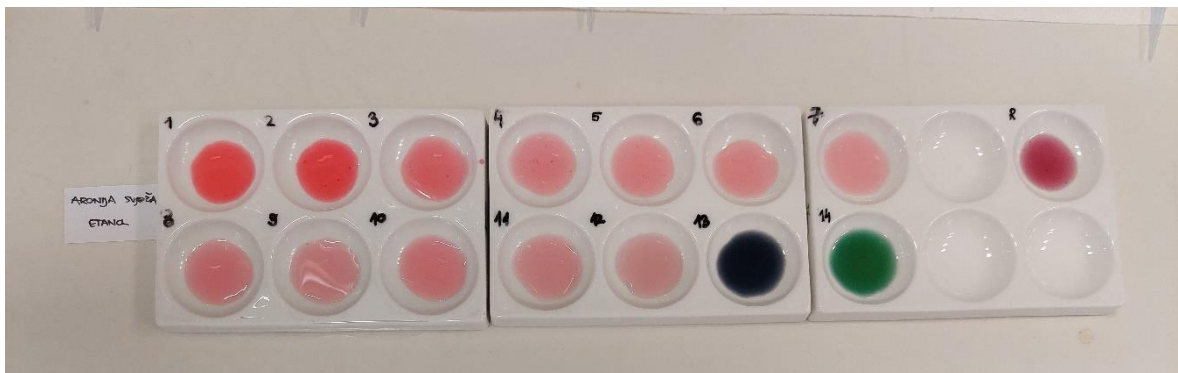
Slika 166. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 4. 3. 2022.



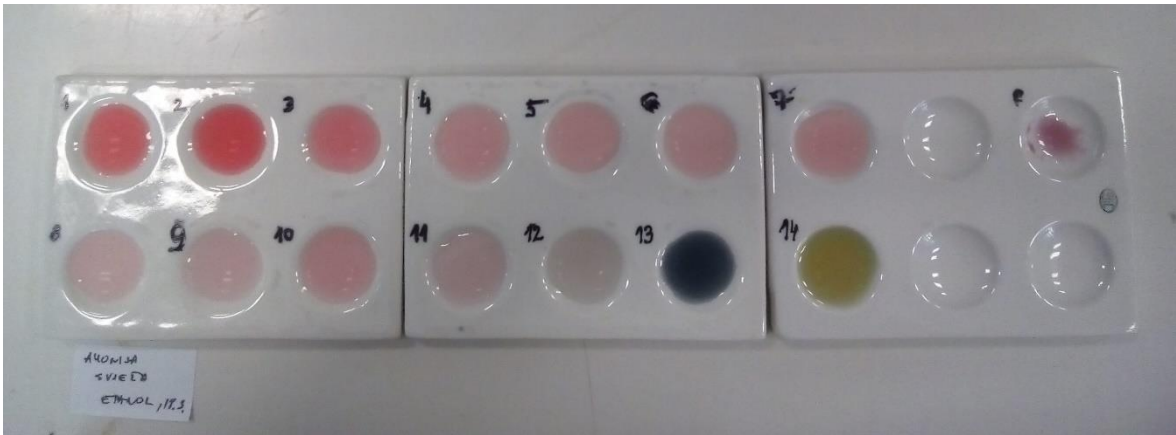
Slika 167. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 8. 3. 2022.



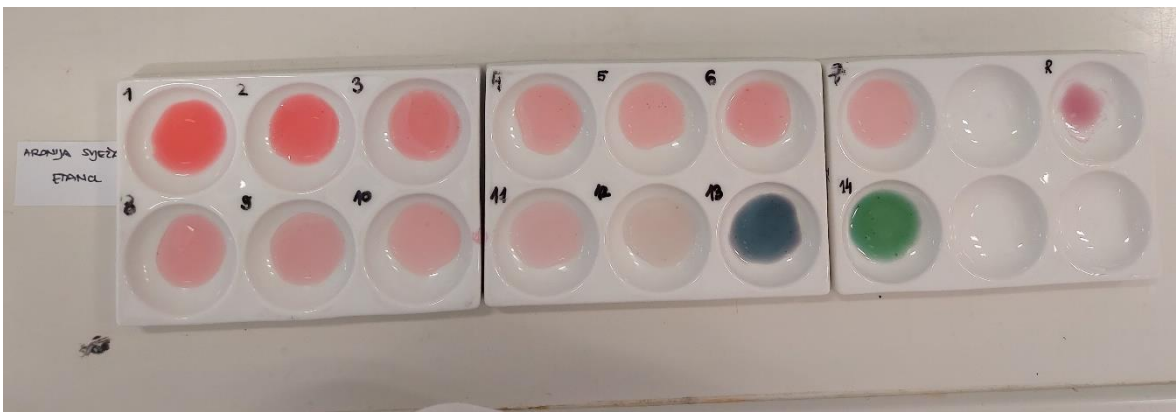
Slika 168. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 11. 3. 2022.



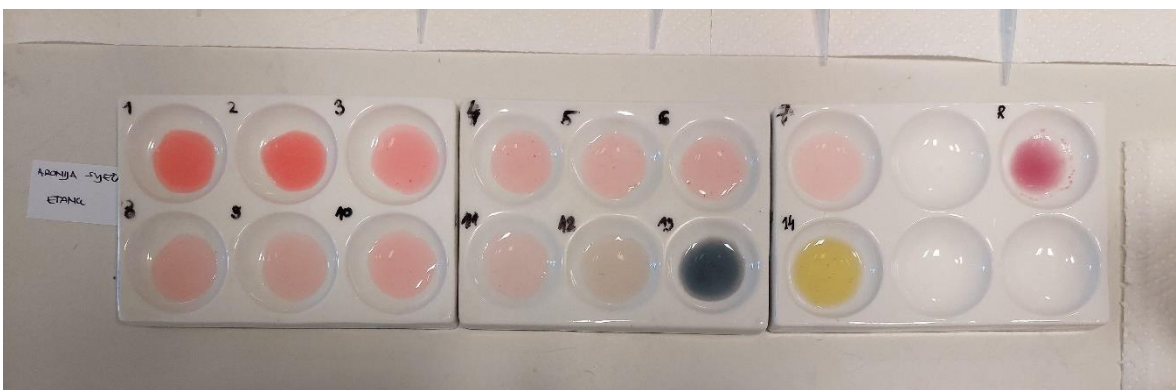
Slika 169. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 15. 3. 2022.



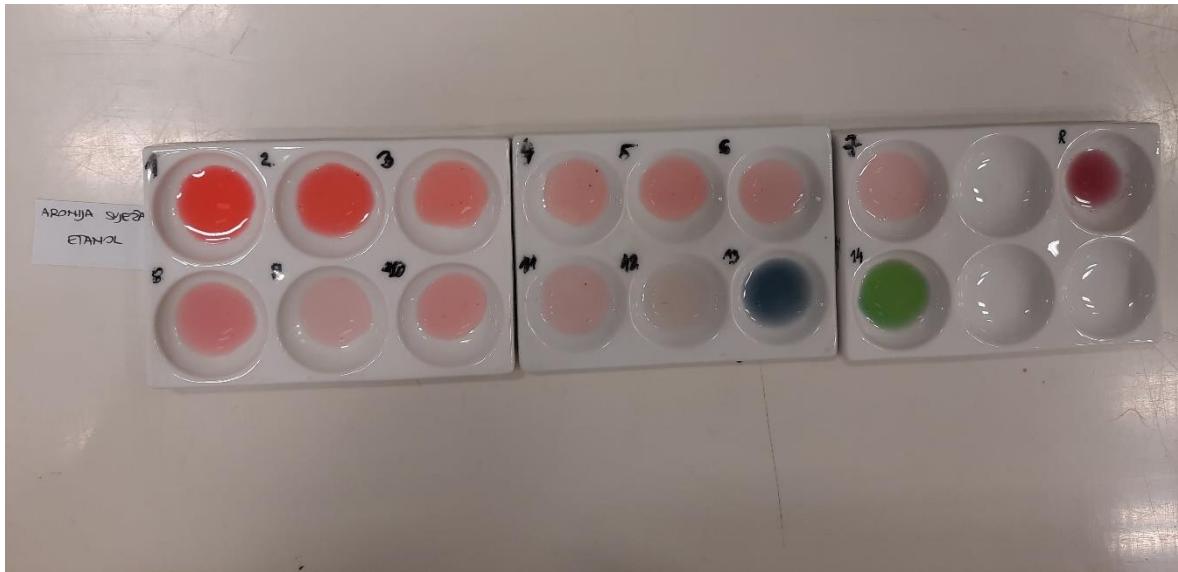
Slika 170. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 18. 3. 2022.



Slika 171. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 22. 3. 2022.



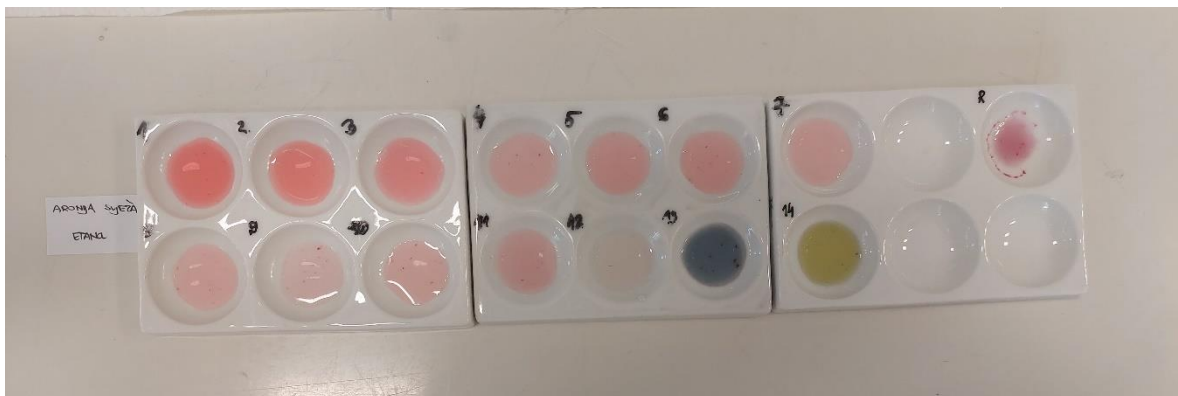
Slika 172. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 25. 3. 2022.



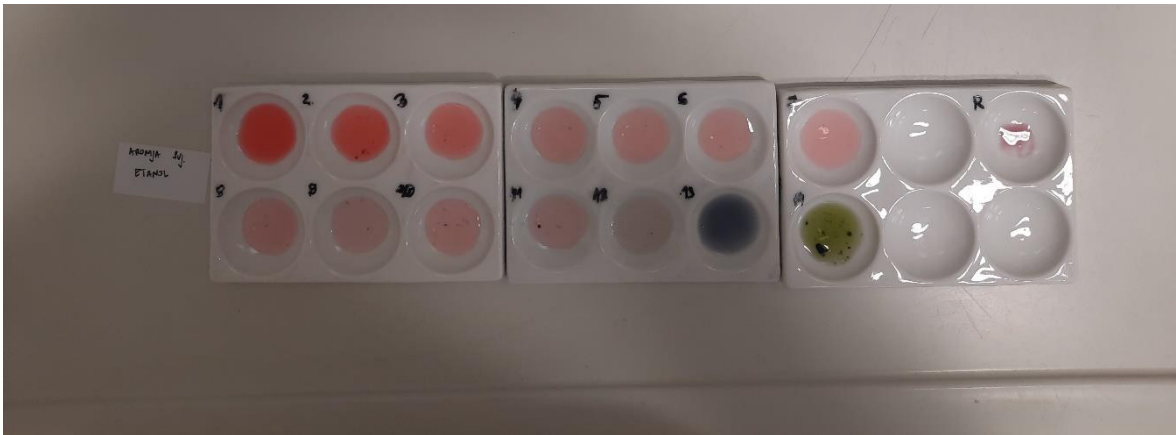
Slika 173. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 29. 3. 2022.



Slika 174. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 1. 4. 2022.



Slika 175. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 5. 4. 2022.



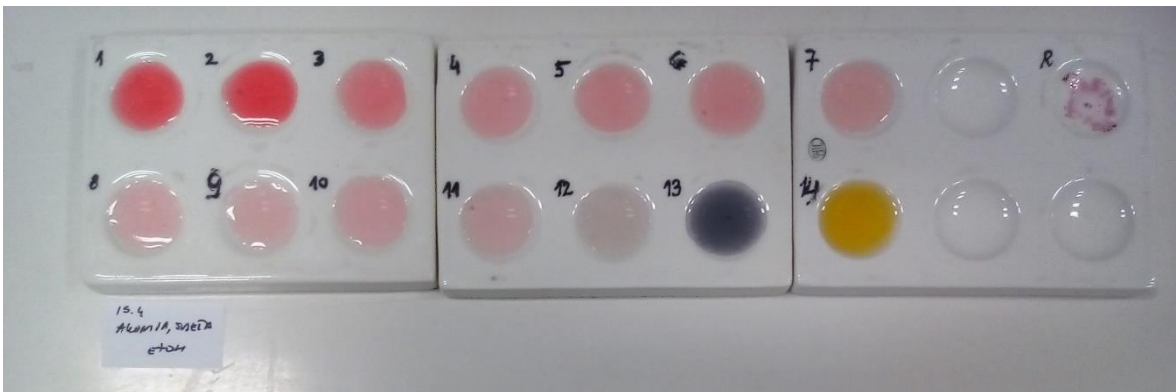
Slika 176. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 8. 4. 2022.



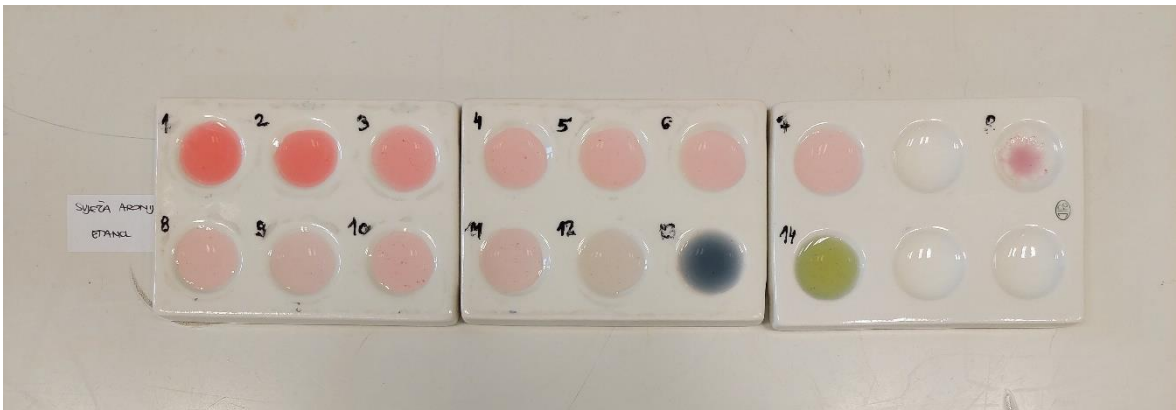
Slika 177. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 12. 4. 2022.



Slika 178. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 15. 4. 2022.



Slika 179. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 19. 4. 2022.



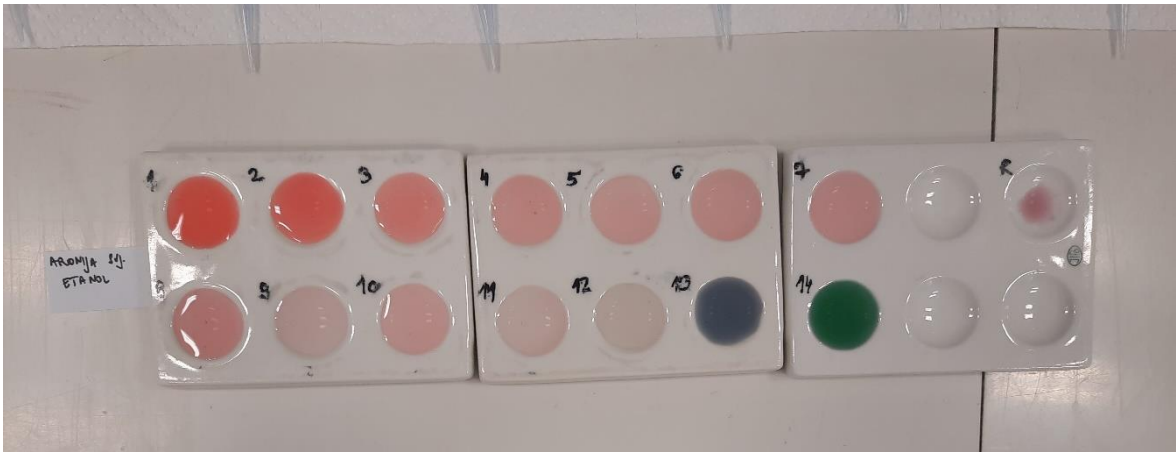
Slika 180. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 22. 4. 2022.



Slika 181. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 26. 4. 2022.



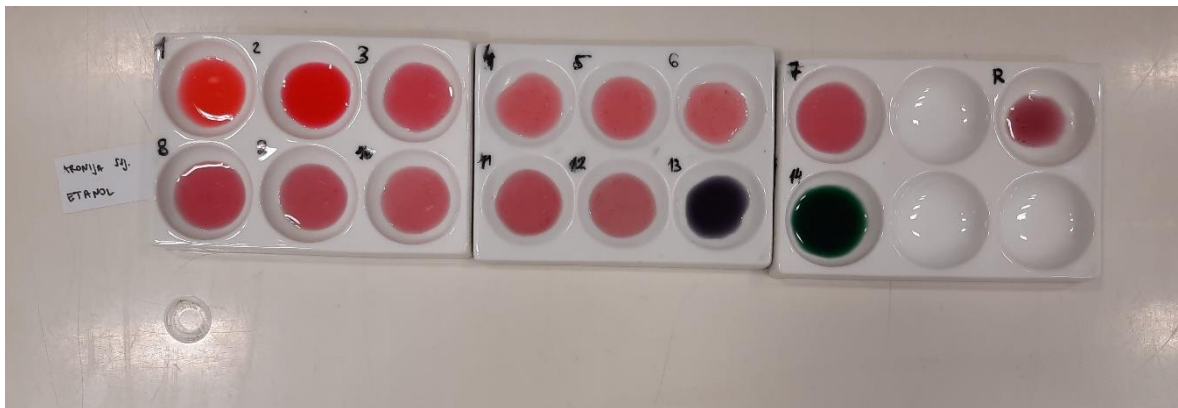
Slika 182. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 29. 4. 2022.



Slika 183. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 3. 5. 2022.



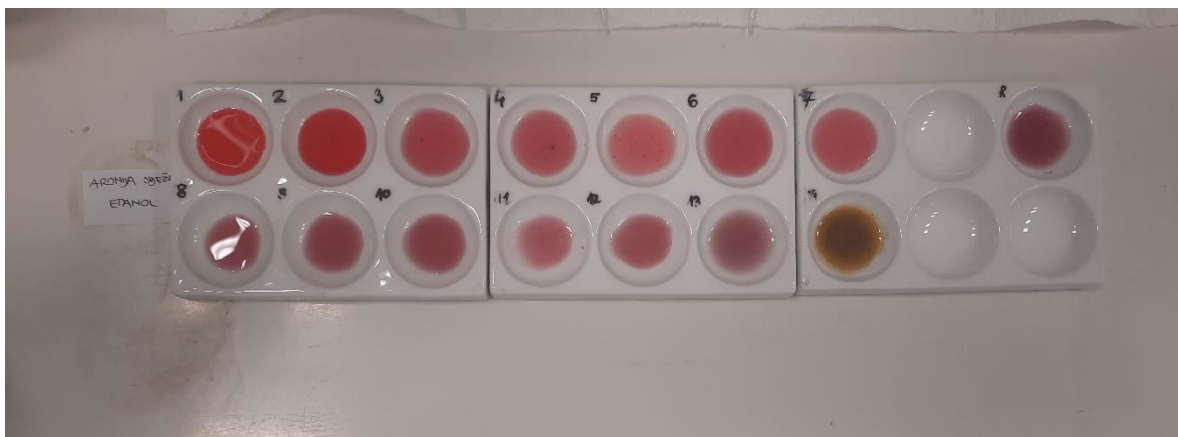
Slika 184. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 6. 5. 2022.



Slika 185. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 10. 5. 2022.



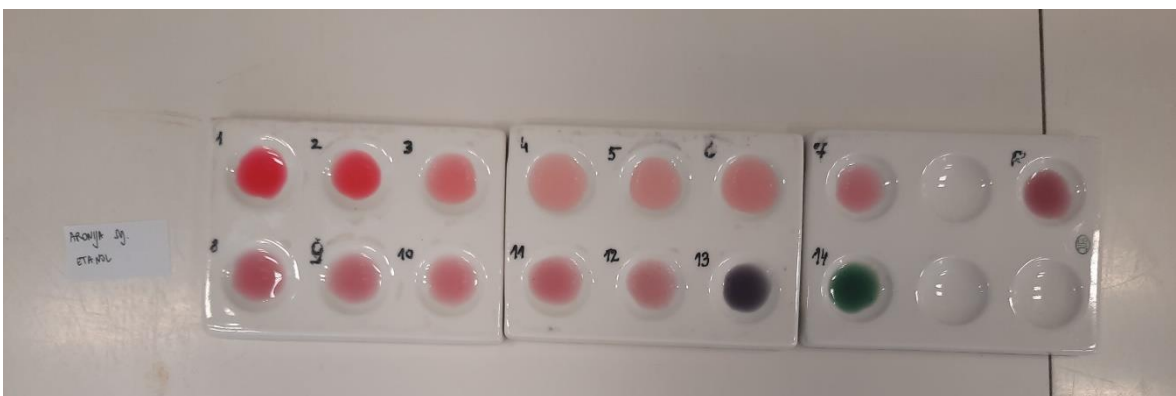
Slika 186. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 13. 5. 2022.



Slika 187. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 17. 5. 2022.



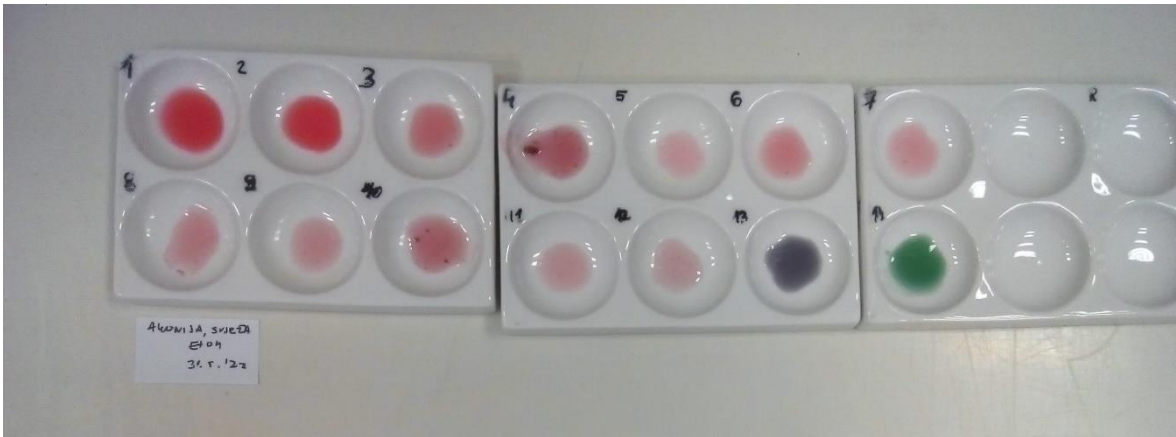
Slika 188. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 20. 5. 2022.



Slika 189. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu 24. 5. 2022.



Slika 190. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 27. 5. 2022.



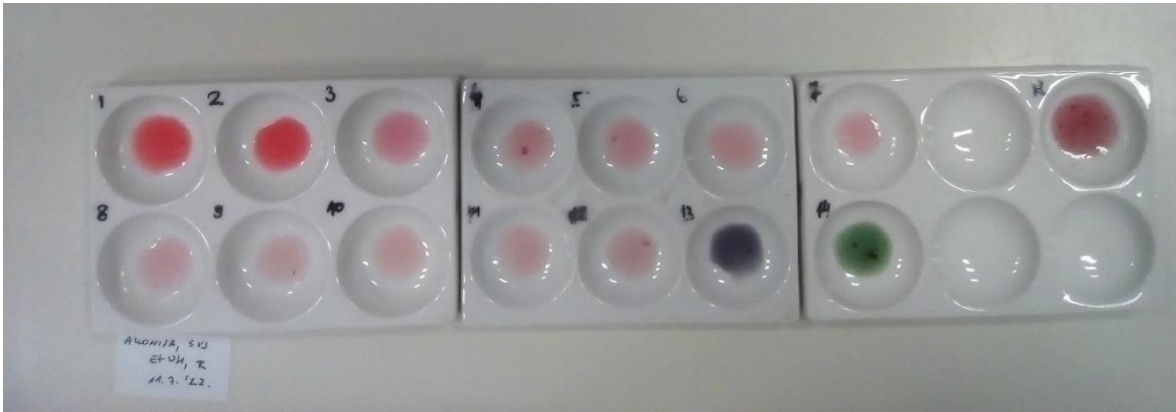
Slika 191. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 31. 5. 2022.



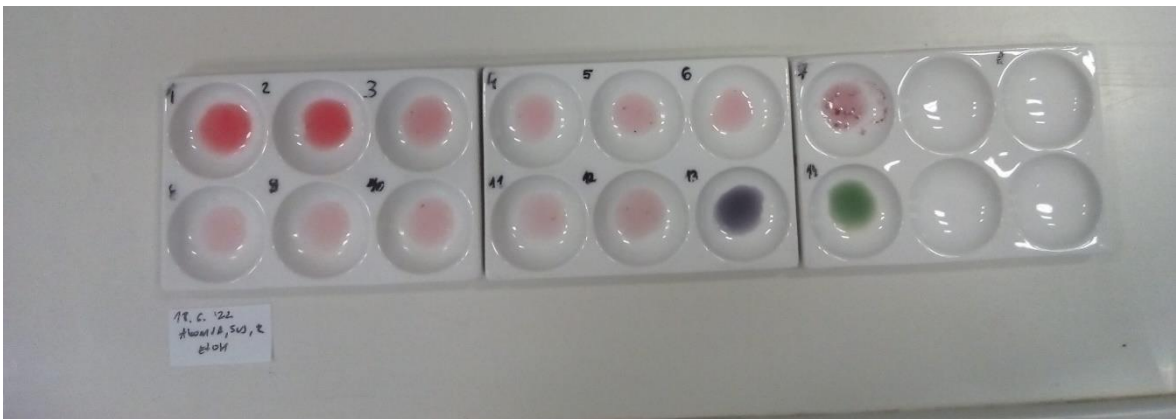
Slika 192. Indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 3. 6. 2022.



Slika 193. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 4. 6. 2022.



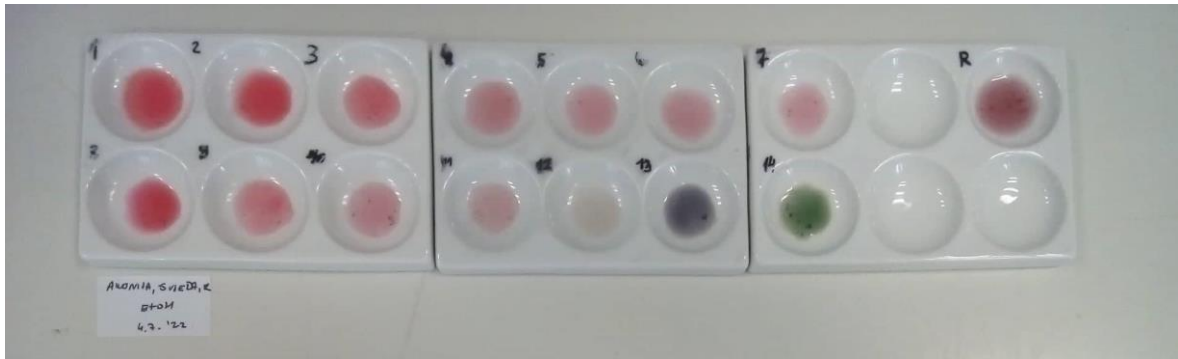
Slika 194. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 11. 6. 2022.



Slika 195. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 18. 6. 2022.



Slika 196. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu 25. 6. 2022.



Slika 197. Reciklirani indikator pripremljen od svježe aronije u etanolu, 4. 7. 2022.

Indikator od svježe aronije i etanola daje jasne i intenzivne boje, slično kao što je bio slučaj s metanolom. Pri $\text{pH} = 1-3$ obojenost je tamno ružičasta, pri $\text{pH} = 4-11$ svjetlo ružičasta, pri $\text{pH} = 12$ ljubičasta, $\text{pH} = 13$ zelena, a pri $\text{pH} = 14$ žuta, kao što se može vidjeti na Slici 158.

Sljedećim se ispitivanjem uočava razlika pri $\text{pH} = 12$ pri kojem dolazi do prijelaza iz svjetlo ljubičaste u svjetlo ružičastu boju, pri $\text{pH} = 13$ zelena prelazi u plavo-sivu obojenost dok otopina pri $\text{pH} = 14$ stajanjem u jažici poprima zelenu boju. Razlika u obojenosti otopine pri $\text{pH} = 14$ pri različitim mjerenjima posljedica je toga da su neka ispitivanja fotografirana odmah, a neka nakon stajanja otopina u jažicama nekoliko minuta.

Reciklirani indikator, prikazan Slikama 193.-198., pokazuje konstantna obojenja te je tako pri $\text{pH} = 1-2$ tamno ružičast, pri $\text{pH} = 3-12$ blijedo ružičast, $\text{pH} = 13$ pokazuje plavo, a pri $\text{pH} = 14$ zeleno obojenje.

5. METODIČKI DIO

5.1. Priprema za nastavni sat

Za obradu nastavne teme „Kisele, neutralne i lužnate otopine“ predviđena su dva školska sata. Obrada nastavnog sata i tijek istoga, navedeni su u pripremi.

PREDMET: Kemija

7. razred

NASTAVNA CJELINA	Tvari, vrste tvari i njihova svojstva
NASTAVNA TEMA	Kisele, neutralne i lužnate otopine
NASTAVNA JEDINICA	Kisele, neutralne i lužnate otopine
TIP / VRSTA NASTAVNOG SATA	Obrada novog gradiva

CILJ I ZADACI:

CILJ NASTAVNE JEDINICE	- Ispitati svojstva kiselih, neutralnih i lužnatih otopina
ISHODI UČENJA (znanja, vještine, stavovi i vrijednosti) KEM OŠ A.7.1. Istražuje svojstva i vrstu tvari. KEM OŠ A.7.3. Kritički razmatra upotrebu tvari i njihov utjecaj na čovjekovo zdravlje i okoliš.	<ol style="list-style-type: none">1. Razlikuje pojmove otopina, otapalo i otopljena tvar.2. Razlikuje nezasićenu, zasićenu i prezasićenu otopinu.3. Navodi fizikalna svojstva tvari, kemijska svojstva tvari te biološka svojstva tvari na primjerima anorganskih i organskih tvari.4. Kritički razmatra upotrebu anorganskih i organskih tvari i njihov

<p>KEM OŠ D.7.1. Povezuje rezultate i zaključke istraživanja s konceptualnim spoznajama.</p>	<p>utjecaj na čovjekovo zdravlje i okoliš te metode njihova zbrinjavanja i odlaganja u okolišu.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Učenik nabraja nekoliko kiselih i lužnatih otopina iz svakodnevnog života 6. Učenik definira što su indikatori 7. Učenik indikatorima ispituje kiselost, odnosno, lužnatost otopine 8. Učenik razvrstava otopine na kisele, lužnate i neutralne prema zadanim pH vrijednostima 9. Objašnjava upotrebu laboratorijskoga posuđa i pribora. Primjenjuje pravila sigurnoga ponašanja prilikom rukovanja kemikalijama, posuđem i priborom. Izvodi mjerenja (masa, temperatura, volumen).
--	--

KORELACIJA (veze s drugim nastavnim predmetima, svakodnevnim životom)

<p>MATEMATIKA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - primjenjuje uspoređivanje racionalnih brojeva <p>BIOLOGIJA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - kiselina u probavnom sustavu (želučana kiselina ili klorovodična kiselina) - kiseline koje luče određene životinje (npr. mravlja kiselina kao sastavni dio sline mrava i žarnih stanica meduze) <p>SVAKODNEVNI ŽIVOT:</p> <ul style="list-style-type: none"> - povezuje svojstva kiselina s primjerima kiselina iz svakodnevnog života (npr. octena kiselina, jabučna kiselina, askorbinska kiselina – vitamin C, limunska kiselina)
--

- povezuje svojstva lužina s lužnatim tvarima iz svakodnevnog života (npr. sapuni i deterdženti)
- razmatra uporabu kiselih i lužnatih otopina iz kućanstva i njihov utjecaj na okoliš te metode zbrinjavanja i odlaganja u okoliš

LITERATURA:

Za učenike:

Udžbenik: T. Banović, K. Holenda, S. Lacić, E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, Kemija 7, 1. izd., Profil Klett, Zagreb, 2019.

(53.-56. str.)

Za nastavnika (stručno-znanstvena, metodička, pedagoška, psihološka):

Udžbenik: T. Banović, K. Holenda, S. Lacić, E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, Kemija 7, 1. izd., Profil Klett, Zagreb, 2019. (53.-56. str.)

Radna bilježnica: T. Banović, K. Holenda, S. Lacić, E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, Kemija 7, 2. izd, Profil Klett, Zagreb, 2020. (76.-81. str.)

Priručnik: T. Banović, K. Holenda, S. Lacić, E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, Kemija 7, priručnik iz kemije za sedmi razred osnovne škole, 2. izd., Profil Klett, Zagreb, 2019.

Digitalno izdanje na moj.izzi.hr:

- Videozapis: Kiseline i lužine
- Interaktivna animacija: Ljestvica pH vrijednosti

Pomagala: laptop i projektor, PowerPoint prezentacija, radni listić s predviđenim pokusima, listići s tablicom za samovrednovanje i KWL tablicom, kemikalije, kemijski pribor i posuđe predviđeni pokusima s radnih listića

PREGLED I STRUKTURA SADRŽAJA

1. Uvodni dio sata

- Ponoviti s učenicima stečeno znanje o svojstvima tvari i otopinama. Pred učenike složiti na poslužavnik različite tvari iz kućanstva: kuhinjsku sol, sredstva za čišćenje, sapun, ocat, razrezani limun, krastavce, sodu bikarbonu. Učenici ih prepoznaju i definiraju neka njihova svojstva. Ponoviti s učenicima da se kemijski spojevi znatno razlikuju po svojim svojstvima i najaviti tri velike skupine otopina: kiseline, lužine i otopine soli.

2. Glavni dio sata (realizacija)

- Izlaganjem i razgovorom obraditi temeljne indikatore za kiseline i lužine (plavi i crveni lakmus papir, univerzalni lakmus papir, otopine fenolftaleina i metiloranža). Učenike zatim podijeliti u tri skupine. Jedna skupina ispituje kiselost, druga lužnatost i treća neutralnu otopinu.

- Upute rada za sve skupine na radnom su listiću (Prilog 1.). Za vrijeme praktičnog rada nastavnik prati rad učenika, pazi na sigurnost i pomaže. Nakon obavljenih istraživanja predstavnici skupina iznose svoja zapažanja i zaključke. Svim učenicima se mogu postavljati dodatna pitanja kako bi ih se motiviralo. Učenici popunjavaju tablicu za samovrednovanje (Prilog 2.)

- Upoznati učenike s ljestvicom pH-vrijednosti koristeći se animacijom (digitalnim sadržajem nastavne teme).

3. Završni dio sata (evaluacija)

- Uputiti učenike da pogledaju kratki videozapis Kiseline i lužine (digitalni sadržaj nastavne teme). Nakon pogledanog videozapisa, uputiti učenike da popune priređene listiće s KWL tablicom (Što znam, Što želim znati, Što sam naučio/la) – Prilog 3.

- Usvojenost ishoda može se provjeriti jednostavnom tehnikom „Minuta za kraj”. Tijekom jedne minute učenici trebaju odgovoriti na jasno i određeno pitanje koje postavlja nastavnik.

- Učenicima zadati istraživački zadatak da različitim proizvodima kojima se koriste u svakodnevnom životu prouče sastav te ih prema opisima podijele na kisele i lužnate. Kako bi potvrdili svoja zapažanja, učenici neka provjere kiselost/lužnatost prirodnim indikatorom – sokom svježe aronije prema uputama (Prilog 4.).
- Rezultate svojega kratkog istraživanja neka prikažu tablično i crtežom te na sljedećem satu međusobno usporede svoja zapažanja.

	<p>- poticati na vođenje bilješki na radni listić tijekom zapažanja</p> <p>- po završetku, predstavnik svake skupine izlaže dobivena zapažanja i rezultate:</p> <p>1. SKUPINA:</p> <p>- plavi lakmus papir pocrveni u kiseloj otopini</p> <p>- metiloranž mijenja boju iz narančaste u crvenu</p>			
	<p>2. SKUPINA:</p> <p>- crveni lakmus papir poplavi u lužnatoj otopini</p> <p>- fenolftalein mijenja boju iz bezbojne u ružičastu (purpurnu)</p> <p>3. SKUPINA</p> <p>- otopine ne mijenjaju boju</p> <p>- nisu ni kisele ni lužnate, nego neutralne</p> <p>- učenici samostalno zaključuju što su indikatori i nabrajaju specifične indikatore za kiseline i lužine</p> <p>= INDIKATORI – tvari koje promjenom svoje boje dokazuju prisutnost druge tvari</p> <p>= za kiseline: plavi lakmus papir, otopina metiloranža</p> <p>= za lužine: crveni lakmus papir, otopina fenolftaleina</p> <p>- popuniti tablicu za samovrednovanje (Prilog 2.)</p> <p>-prikazati videozapis „Ljestvica pH-vrijednosti“</p> <p>= kiselo: 0 -6,9</p> <p>= lužnato: 7,1-14</p> <p>= neutralno: 7</p> <p>- univerzalnim lakmus papirom zaključuju kolika je pH vrijednost određenih otopina</p> <p>= voda: 7</p> <p>= limun: oko 2</p> <p>= otopina sapuna: oko 8</p>	<p>2., 3.</p> <p>4.</p>	<p>-individualni rad</p> <p>-frontalni rad</p> <p>-individualni rad</p>	<p>-zaključivanje</p> <p>-pisanje</p> <p>-promatranje</p> <p>-uočavanje</p> <p>-zaključivanje</p>

KISELE, NEUTRALNE I LUŽNATE OTOPINE

Indikatori

- tvari koje u doticaju s kiselinama ili lužinama mogu mijenjati boju otopine
- **za kiseline:** plavi lakmus papir (pocrveni), metiloranž (pocrveni)
- **za lužine:** crveni lakmus papir (poplavi), fenolftalein (poljubičasti)

Prirodni indikatori

- sok od crvenog kupusa, cikle, aronije

Soli

- ne mijenjaju boju indikatora – neutralna otopina

5.2 Prilozi metodičkom dijelu

5.2.1 Radni listić

Radni listić s uputama za izvođenje pokusa

1. SKUPINA: Ispitivanje kiselosti otopine

PRIBOR I KEMIKALIJE: tri epruvete, ocat, sok limuna, razrijeđena klorovodična kiselina, plavi lakmus papir, metiloranž

KORAK 1. U jednu epruvetu ulijte ocat, u drugu sok limuna, a u treću razrijeđenu klorovodičnu kiselinu. U svaku epruvetu uronite plavi lakmus papir. Je li se boja promijenila? Opiši zapažanja.

KORAK 2. U svaku epruvetu kapni nekoliko kapi metiloranža. Opiši kakvu promjenu opažaš.

ZAKLJUČAK:

Metiloranž mijenja u kiselini boju iz _____ u _____, a plavi lakmus papir mijenja boju u _____.

Indikatori za kiseline su, dakle, _____ i _____.

2. SKUPINA: Ispitivanje lužnatosti otopine

PRIBOR I KEMIKALIJE: dvije epruvete, soda bikarbona, natrijeva lužina, voda, stakleni štapić, crveni lakmus papir, fenolftalein

KORAK 1. U prvoj epruveti otopite sodu bikarbonu u vodi. U drugu ulijte malo natrijeve lužine. U svaku epruvetu uronite plavi lakmus papira, a potom crveni lakmus papir. Opiši zapažanja.

KORAK 2. U svaku otopinu dodajte nekoliko kapi fenolftaleina. Je li došlo do promjene boje u otopini sode bikarbone i natrijeve lužine? Opiši zapažanja.

ZAKLJUČAK:

Indikatori za lužine su _____ i _____.

Fenolftalein mijenja boju u lužini iz _____ u _____, a crveni lakmus papir mijenja boju u _____.

3. SKUPINA: Ispitivanje neutralnosti otopine

PRIBOR I KEMIČALIJE: dvije epruvete, natrijev klorid, kalijev klorid, voda, indikator za kiseline, indikator za lužine

KORAK 1. Otopite natrijev klorid u epruveti s vodom. Podijelite otopinu u dvije epruvete. Ispitajte otopinu u prvoj epruveti plavim lakmus papirom, a potom metiloranžom.

Je li otopina kuhinjske soli kisela? _____

Ponovite postupak s kalijevim kloridom.

KORAK 2. Ispitajte otopinu u drugoj epruveti crvenim lakmus papirom i fenolftaleinom.

Je li otopina natrijeva klorida lužnata? _____

Jesu li indikatori promijenili boju u otopini? _____

Ponovite postupak s kalijevim kloridom.

ZAKLJUČAK:

Otopine soli ne mijenjaju boju indikatora.

Takve otopine nisu _____ ni _____, nego su _____.

5.2.2 Tablica za samovrednovanje

ELEMENTI PROCJENE		
Pročitao/la sam uputu	DA	NE
Razumio/la sam zadatak	DA	NE
Pratio/la sam promijene tijekom praktičnog rada	DA	NE
Napisao/la sam opažanja	DA	NE
Napisao/ sam zaključak	DA	NE

5.2.3 KWL tablica

ŠTO <u>ZNAM</u>	ŠTO <u>ŽELIM ZNATI</u>	ŠTO <u>SAM NAUČIO/LA</u>

5.2.4 Istraživački rad

Istraživački rad – Prirodni indikatori

PRIBOR I KEMIKALIJE: nož, posuda, čaše (plastične), zaštitne rukavice, cjedilo za čaj, svježa aronija, vodovodna voda, sok limuna, vodena otopina sode bikarbone, vodena otopina sapuna, vodena otopina kuhinjske soli, sredstvo za čišćenje pećnice i sl.

POSTUPAK:

Korak 1. Priprema indikatora

Izgnječi bobice svježe aronije. Na izgnječenu svježu aroniju dodaj 200 mL vode i sve dobro promiješaj. Aroniju procijedi kroz cjedilo za čaj. Zaostalu aroniju na cjedilu baci.

Korak 2.

U čašice stavi po 10 mL navedenih tvari i u svaku uspi nekoliko kapi soka svježe aronije. Promatraj i zabilježi promjene.

Rezultate prikaži tablično!

Radni listić s uputama za izvođenje pokusa

1. SKUPINA: Ispitivanje kiselosti otopine

PRIBOR I KEMIKALIJE: tri epruvete, ocat, sok limuna, razrijeđena klorovodična kiselina, plavi lakmus papir, metiloranž

KORAK 1. U jednu epruvetu ulijte ocat, u drugu sok limuna, a u treću razrijeđenu klorovodičnu kiselinu. U svaku epruvetu uronite plavi lakmus papir. Je li se boja promijenila ? Opiši zapažanja.

Boja se promijenila. Plavi lakmus papir je pocrvenio.

KORAK 2. U svaku epruvetu kapni nekoliko kapi metiloranža. Opiši kakvu promjenu opažaš.

Nakon što se u svaku epruvetu kapne nekoliko kapi metiloranža, dolazi do promjene boje u crvenu.

ZAKLJUČAK:

Metiloranž mijenja u kiselini boju iz ŽUTE u CRVENU, a plavi lakmus papir mijenja boju u CRVENU.

Indikatori za kiseline su, dakle, PLAVI LAKMUS PAPIR i MEILORANŽ.

2. SKUPINA: Ispitivanje lužnatosti otopine

PRIBOR I KEMIKALIJE: dvije epruvete, soda bikarbona, natrijeva lužina, voda, stakleni štapić, crveni lakmus papir, fenolftalein

KORAK 1. U prvoj epruveti otopite sodu bikarbonu u vodi. U drugu ulijte malo natrijeve lužine. U svaku epruvetu uronite plavi lakmus papira, a potom crveni lakmus papir. Opiši zapažanja.

CRVENI LAKMUS PAPIR JE POPLAVIO, A S PLAVIM LAKMUS PAPIROM SE NIJE NIŠTA DOGODILO.

KORAK 2. U svaku otopinu dodajte nekoliko kapi fenolftaleina. Je li došlo do promjene boje u otopini sode bikarbone i natrijeve lužine? Opiši zapažanja.

U OTOPINAMA SODE BIKARBONE I NATRIJEVE LUŽINE DOŠLO JE DO PROMJENE. OTOPINE SU POLJUBIČASTILE.

ZAKLJUČAK:

Indikatori za lužine su CRVENI LAKMUS PAPIR i FENOLFTALEIN. Fenolftalein mijenja boju u lužini iz BEZBOJNE u LJUBIČASTU, a crveni lakmus papir mijenja boju u PLAVU.

3. SKUPINA: Ispitivanje neutralnosti otopine

PRIBOR I KEMIKALIJE: dvije epruvete, natrijev klorid, kalijev klorid, voda, indikator za kiseline, indikator za lužine

KORAK 1. Otopite natrijev klorid u epruveti s vodom. Podijelite otopinu u dvije epruvete. Ispitajte otopinu u prvoj epruveti plavim lakmus papirom, a potom metiloranžom.

Je li otopina kuhinjske soli kisela? OTOPINA NIJE KISELA JER SE NIJE DOGODILA NIKAKVA PROMJENA S INDIKATORIMA.

Ponovite postupak s kalijevim kloridom.

KORAK 2. Ispitajte otopinu u drugoj epruveti crvenim lakmus papirom i fenolftaleinom.

Je li otopina natrijeva klorida lužnata? NE

Jesu li indikatori promijenili boju u otopini? NE

Ponovite postupak s kalijevim kloridom.

ZAKLJUČAK:

Otopine soli ne mijenjaju boju indikatora.

Takve otopine nisu KISELINE ni LUŽINE, nego su NEUTRALNE.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je ispitati trajnost indikatora pripremljenih od svježe aronije i pet različitih otapala koji bi se mogli primjenjivati prvenstveno u školstvu. Biljni materijal koji je korišten bila je svježa aronija, bobičasto voće iz porodice ruža. U radu je ispitan i značaj otapala, kako bi se utvrdilo koja su otapala pogodnija za pripremu ovakvih indikatora.

Istraživanje provedeno na plodovima svježe aronije pokazuje da indikator pripremljen od ovih plodova najveće promjene pokazuju pri jako kiselim uvjetima pri $\text{pH} = 1-3$, pri kojima je uočena žarko ružičasta boja, i pri jako bazičnim uvjetima, pri $\text{pH} = 13$ i $\text{pH} = 14$, pri kojima se boja mijenja od sivkaste, svjetlo plave, plave, ljubičaste sve do maslinaste, zelene, oker i intenzivno žute, ovisno o pH , korištenom otapalu i vremenu.

Voda kao otapalo davala je najmanje promjene boje i najslabiji intenzitet obojenja – u kiselom mediju uočena su ružičasta obojenja, a u bazičnom mediju je uočena žuta, smečkasta i zelena boja. Dakle, u slučaju vode, najveće su promjene uočene u bazičnoj sredini, pri $\text{pH} = 13$ i $\text{pH} = 14$. Aceton, iako hlapiv, davao je velike promjene u bazičnom mediju, osobito pri $\text{pH} = 12-14$, gdje se boja mijenjala od ljubičaste, plave, preko žute do zelene. Metanol i etanol su s aronijom dali najintenzivnija obojenja, osobito pri $\text{pH} = 13$ i $\text{pH} = 14$, pri kojima je boja varirala između ljubičasto-plave i žuto-zelene. Aronija kao kiselo-bazni indikator sa svim je otapalima u kiselom mediju davala ružičasta obojenja koja su varirala u intenzitetu. Uočljive promjene su se odvijale i u bazičnom mediju, a boje su varirale od plave, sive, preko zelene i žute, ovisno o otapalu koje se koristilo, što je opisano u radu. Indikatori su bili funkcionalni sve vrijeme istraživanja, odnosno mogli su se koristiti i nakon četiri mjeseca od dana pripreme.

U slučaju recikliranih indikatora, obojenja su bila nešto slabijeg intenziteta, manje-više nepromjenjiva u intenzitetu, ali još uvijek su davali rezultate. Ipak, ističe se reciklirani indikator pripremljen s etanolom koji je nešto intenzivniji pri svim pH vrijednostima i daje tamnija obojenja, dok su kod svih ostalih otapala boje slabijeg intenziteta, osobito kod recikliranog indikatora pripremljenog s acetonom. Moguće je da bi boja koju daju reciklirani indikatori mogla biti intenzivnija da su reciklirani indikatori pripremljeni s manjom količinom otapala.

Ovako pripremljeni indikatori bi se mogli iskoristiti za vizualizaciju i razumijevanje gradiva o kiselinama i bazama te općenito za stjecanje znanja o kiselobaznim indikatorima.

Za učenike je vrlo važno ne samo znanje iz područja kemije već i primjenjivost kemije u svakodnevnom životu, a pogotovo znanje o tvarima koji ih okružuju te njihova primjena.

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti kako se prirodni kiselo-bazni indikatori priređeni od plodova svježje aronije i ovdje ispitanih otapala mogu koristiti kao učinkoviti kiselo-bazni indikatori s dugim rokom trajanja. Osim toga, može se zaključiti kako komercijalni kiselo-bazni indikatori mogu biti zamijenjeni prirodnim indikatorima koji se u prirodi nalaze u izobilju. Ovako pripremljeni prirodni kiselo-bazni indikatori imaju odličnu dostupnosti, cjenovnu prihvatljivost te jednostavnu pohranu i skladištenje. Vrlo bitna stavka je i to što nemaju štetnog otpadnog materijala koji bi zahtijevao posebno zbrinjavanje, budući da se mogu učinkovito reciklirati.

7. LITERATurna VRELA

- [1] <https://www.thoughtco.com/definition-of-acid-base-indicator-604738> (3. 6. 2022.)
- [2] http://bs.swewe.net/word_show.htm/?192742_1&Metil_%C5%BEuta (3. 6. 2022.)
- [3] <http://www.kemija.unios.hr/wp-content/uploads/2015/04/PAK2-skripta..pdf> (3. 6. 2022.)
- [4] https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/Skripta_OPAK%5B3%5D.pdf (4. 6. 2022.)
- [5] <http://www.ssvrbovec.hr/u/Biljke%20kao%20kiselobazni%20indikator.pdf> (4. 6. 2022.)
- [6] <https://slideplayer.com/slide/9865677/> (4. 6. 2022.)
- [7] <https://hrcak.srce.hr/file/100361> (4. 6. 2022.)
- [8] https://www.ch.ic.ac.uk/vchemlib/course/indi/?fbclid=IwAR2BBCqgpkUEXfxrW3Cs_4FzQLz7PjtiPsRicDPWynMeoIGc4Mqs-nuJJuE (4. 6. 2022.)
- [9] <https://www.lekarinfo.com/pojmovi-na-timolftalein/> (4. 6. 2022.)
- [10] T. Shimada, K. Tochinai, T. Hasegawa, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **92** (2019), 1759-1766.
- [11] <https://zenodo.org/record/1048226#.YriM2XZBzIU> (7. 6. 2022.)
- [12] <https://www.thoughtco.com/making-red-cabbage-ph-indicator-603650> (7. 6. 2022.)
- [13] <https://davidswart.wordpress.com/2019/05/22/acid-and-base-lab-with-report/> (7. 6. 2022.)
- [14] M. Soto Hernandez, M. P. Tenango, R. Garcia-Mateos, *Phenolic Compounds-Natural Sources, Importance and Applications*, IntechOpen, 2017.
- [15] <https://repositorij.pmf.unizg.hr/islandora/object/pmf%3A4857/datastream/PDF/view> (7. 6. 2022.)
- [16] Y. Liu, Y. Tikunov, R. E. Schouten, L. F. Marcelis, R. G. F. Visser, A. Bovy, *Front. Chem.* **6** (2018.), 52.
- [17] <http://tuxgraphics.org/npa/litmus-redcabbage-tumeric-radish-ph-indicator/> (10. 6. 2022.)
- [18] S. A. Supharoek, K. Ponghong, W. Siriangkawut, K. Grudpan, *J. Food Drug Anal.* **26** (2018), 583-590.
- [19] <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.585665/full> (10. 6. 2022.)
- [20] <https://www.agroklub.com/hortikultura/jednostavno-razmnozavanje-hortenzije-reznicama/43316/> (10. 6. 2022.)

- [21] <https://hr.useful-plants.net/6880837-hydrangea-all-maintenance-advice> (10. 6. 2022.)
- [22] <https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/betalaini> (10. 6. 2022.)
- [23] F. Constable, I. K. Vasil, *Phytochemicals in Plant Cell Cultures*, Elsevier, Academic Press, 1988.
- [24] <https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/betalaini> (10. 6. 2022.)
- [25] <https://repozitorij.biologija.unios.hr/islandora/object/bioos%3A181/datastream/PDF/view> (10. 6. 2022.)
- [26] <https://repozitorij.unizg.hr/islandora/object/agr:736/preview> (10. 6. 2022.)
- [27] L. A. da Costa, I. C. N. Diogenes, M. de A. Oliveira, S. F. Ribeiro, R. F. Furtado, M. do S. R. Bastos, M. A. S. Silva, S. D. Benevides, *Food Sci. Technol.* **41** (2021), 489-496.
- [28] N. A. Azim, A. Mohammadi Nafchi, N. Oladzadabbasabadi, F. Ariffin, P. Ghalambor, S. Jafarzadeh, A. A. Al-Hassan, *Food Sci. Nutr.* **10** (2022), 597-608.
- [29] S. Poutjavaher, H. Almasi, S. Meshkini, S. Pirsá, E. Parandi, *Carbohydr. Polym.* **156** (2017), 193-201.
- [30] K. Halász, L. Csóka, *Food Packag. Shelf Life* **16** (2018), 185-193.
- [31] M. Kurtović, H. Smajlović, L. Grbo, J. Grahić, *ANUBiH CLXIX OPMN* **26** (2017), 85-96.
- [32] <https://www.toppr.com/guides/science/acids-bases-and-salts/natural-indicators-around-us/> (10. 6. 2022.)
- [33] P. Denev, M. Kratchanova, I. Perova, D. Klisurova, Y. Georgiev, M. Ognyanov, I. Yanakieva, *J. Chem.* **2018** (2018), 9574587.
- [34] <https://www.agroklub.com/vocarstvo/aronia-melanocarpa-plod-buducnosti/1807/> (12. 6. 2022.)
- [35] <https://www.plantea.com.hr/aronija/> (12. 6. 2022.)
- [36] Z. Kobus, R. Nadulski, K. Wilczynski, M. Kozak, T. Guz, L. Rydzak, *PLoS ONE*, **14** (2019), e0219585.
- [37] A. Bernhoft, A brief review on bioactive compounds in plants, Bioactive compounds in plants – benefits and risks for man and animals (ur.: A. Bernhoft), The Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, 2010, 11-17.
- [38] J. Oszmiański, A. Wojdyło, *Eur. Food Res. Technol.* **221** (2005), 809-813.

8. PRILOZI

8.1. Životopis

Osobni podaci	
Ime i prezime	Anja Pejić
Datum i mjesto rođenja	3. 11. 1995., Vinkovci
Adresa	Sunčana 1, 32100 Vinkovci
e-mail	apejic0311@gmail.com
Obrazovanje	
2020.-2022.	Diplomski sveučilišni studij kemije; nastavnički smjer Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, Ulica cara Hadrijana 8/A, 31000 Osijek
2014.-2020.	Preddiplomski sveučilišni studij kemije Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, Ulica cara Hadrijana 8/A, 31000 Osijek Završni rad: Galvanski članak i elektroliza
2010.-2014.	Gimnazija Matije Antuna Reljkovića, Vinkovci – jezična gimnazija
Radno iskustvo	
Veljača 2022.-danas	Studentski posao prodavača, Pepco Ulica Hansa Dietricha Genschera 22A, 32100 Vinkovci
Studeni 2018.-svibanj 2020.	Studentski posao – prodavač Ferivi Co d.o.o

	Duga ulica 47, 32100 Vinkovci
Kolovoz 2018.	Studentski posao – dijeljenje letaka , Jysk Duga ulica 26, 32100 Vinkovci
Osobne vještine	
Materinski jezik	Hrvatski jezik
Strani jezici	Engleski jezik – aktivno u govoru i pismu Njemački jezik – pasivno u govoru i pismu
Računalne vještine	MS Office sustav, služenje internetom i mailom
Vozačka dozvola	B kategorija