



Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer

NARAVNA MINERALNA VODA ALI ZGOLJ MARKETINŠKI TRIK?

Raziskovalna naloga z drugih področij (živilstvo)

Avtor: Nino Klemenčič

Razred: 3. A

Mentor: Mateja Godec, prof. kem.

Somentor: Matjaž Rantaša, mag. kem.

Ljutomer, februar 2024

ZAHVALA

Najprej bi se rad iskreno zahvalil mentorici Mateji Godec, prof. kem., ki mi je omogočila sodelovanje z zunanjim somentorjem Matjažem Rantašo, mag. kem., in za vse njene koristne nasvete ter napotke med samim raziskovanjem.

Naslednja zahvala gre seveda somentorju, brez katerega ta raziskovalna naloga ne bi uspela. Zahvaljujem se mu za vso potrpežljivost in predano znanje, ki mi bo koristilo v prihodnosti.

Velika zahvala gre tudi Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru, ki mi je nudila prostore in opremo za vso eksperimentalno delo.

Nenazadnje se zahvaljujem moji šoli, Gimnaziji Franca Miklošiča Ljutomer, in profesorici Tjaši Lipovec za strokovno lektoriranje moje raziskovalne naloge.

KAZALO VSEBINE

POVZETEK.....	6
SUMMARY.....	6
1 Uvod	7
1.1 Cilji in hipoteze.....	7
2 Teoretični del.....	8
2.1 Dosedanje raziskave.....	8
2.2 Definicije vod in njihova sestava	8
2.3 Priporočen dnevni vnos posameznih mineralov	9
2.5 Koristi posameznih kationov	10
2.5.1 Natrij.....	10
2.5.2 Kalij	11
2.5.3 Kalcij	12
2.5.4 Magnezij.....	12
3 Eksperimentalno delo	14
3.1 Načrt dela	14
3.2 Izbira vzorcev.....	14
3.3 Priprava vzorcev	18
3.3 Priprava raztopin standardov in mobilne faze.....	20
3.4 Ionska kromatografija.....	22
3.5 Meritve z ionskim kromatografom	23
4 Meritve in rezultati.....	25
4.1 Umeritvene krivulje	26
4.1.1 Na ⁺ umeritvena krivulja.....	26
4.1.2 K ⁺ umeritvena krivulja.....	27
4.1.3 Ca ²⁺ umeritvena krivulja	29
4.1.4 Mg ²⁺ umeritvena krivulja	30
4.2 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev	32
4.2.1 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za Na ⁺	32
4.2.2 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za K ⁺	33
4.2.3 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za Ca ²⁺	34

4.2.4 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za Mg^{2+}	35
5 Interpretacija rezultatov	36
5.1 Primerjava izmerjenih in poročanih masnih koncentracij v vzorcu 6	36
5.2 Primerjava ameriške in slovenske pitne vode.....	36
5.3 Primerjava celokupne masne koncentracije kationov v vseh analiziranih vzorcih	38
5.4 Primerjava evropskih naravnih mineralnih vod	39
5.5 Primerjava dveh naravnih mineralnih in dveh izvirskih vod.....	40
5.6 Primerjava vod enakega slovenskega proizvajalca	41
5.6 Vode z največjimi in najmanjšimi koncentracijami posameznih kationov	42
5.7 Ujemanje s poročanimi vrednostmi	42
6 Zaključki.....	44
7 Viri in literatura:.....	50

Seznam slik

Slika 1: Zasnova eksperimentalnega dela.	14
Slika 2: Ultrazvočna kopel.	18
Slika 3: Sistem za ultra čisto vodo.	19
Slika 4: Redčenje vzorcev z ultra čisto vodo v steklenih bučkah.....	19
Slika 5: Vorteksiranje vzorcev v steklenih bučkah.....	19
Slika 6: Steklene vialle za vzorce, namenjene za meritve z IC.	20
Slika 7: Digestorij, kjer se je izvajala priprava vzorcev.	20
Slika 8: Kemikalije, uporabljene za pripravo mobilne faze: tartarna kislina, dipikolinska kislina in borova kislina.....	21
Slika 9: Filtriranje mobilne faze.....	21
Slika 10: Raztopine standardov Na^+ , K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+} z masno koncentracijo 1000 mg/L za pripravo raztopin za umeritveno krivuljo.	22
Slika 11: Shematski prikaz sistema za ionsko kromatografijo.	23
Slika 12: Ionski kromatograf, ki smo ga uporabljali za merjenje vzorcev vode.	24
Slika 13: Pečica IC s predkolono in kolono.	24
Slika 14: Vialle z raztopinami standardov in vzorci.	24
Slika 15: Primer kromatograma, pridobljenega z meritvami z IC.....	25
Slika 16: Umeritvena krivulja za Na^+ ; ožje koncentracijsko območje.....	27
Slika 17: Umeritvena krivulja za Na^+ ; širše koncentracijsko območje.....	27
Slika 18: Umeritvena krivulja K^+ ; ožje koncentracijsko območje.....	28
Slika 19: Umeritvena krivulja K^+ ; širše koncentracijsko območje.....	28
Slika 20: Umeritvena krivulja Ca^{2+} ; ožje koncentracijsko območje.	29
Slika 21: Umeritvena krivulja Ca^{2+} ; širše koncentracijsko območje.	29
Slika 22: Umeritvena krivulja Mg^{2+} ; ožje koncentracijsko območje.....	30
Slika 23: Umeritvena krivulja Mg^{2+} ; širše koncentracijsko območje.....	31
Slika 24: Primerjava izmerjenih in poročanih masnih koncentracij v vzorcu 6.	36
Slika 25: Primerjava izmerjenih masnih koncentracij ionov	37
Slika 26: Primerjava celokupne masne koncentracije kationov v vseh analiziranih vzorcih. ...	38

Slika 27: Primerjava evropskih naravnih mineralnih vod.	39
Slika 28: Primerjava dveh naravnih mineralnih in dveh izvirskih vod.....	40
Slika 29: Primerjava dveh naravnih mineralnih vod istega podjetja.	41
Slika 30: Število poročenih vrednosti posameznih kationov na embalažah vzorcev vode.	43
Slika 31: Primerjava celokupne masne koncentracije Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ in Mg ²⁺ v posameznih vzorcih.....	44
Slika 32: Primerjava povprečne celokupne koncentracije kationov Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ in Mg ²⁺ v posameznih vrstah vode.....	45
Slika 33: Primerjava izvirskih vod.	46
Slika 34: Primerjava naravnih mineralnih vod.	46
Slika 35: Izmerjene in poročane masne koncentracije K ⁺ na etiketi.	46
Slika 36: Masna koncentracija vseh analiziranih naravnih mineralnih vod.	47

Seznam tabel

Tabela 1: Priporočen dnevni vnos mineralov za otroke (1–14 let).....	10
Tabela 2: Priporočeni dnevni vnos mineralov za mladostnike, odrasle in starejše [12].	10
Tabela 3: Vključeni vzorci vode in fotografije njihovih embalaž.	15
Tabela 4: Vzorci vode, primerjalno.	18
Tabela 5: Vsebnost Na ⁺ v vzorcih vode.	32
Tabela 6: Vsebnost K ⁺ v vzorcih vode.	33
Tabela 7: Vsebnost Ca ²⁺ v vzorcih vode.	34
Tabela 8: Vsebnost Mg ²⁺ v vzorcih vode.....	35
Tabela 9: Vzorci vode z največjimi in najmanjšimi koncentracijami posameznih kationov.....	42

POVZETEK

Vodo v plastični in stekleni embalaži imenujemo ustekleničena voda. V njej je raztopljenih veliko različnih ionov (kationov in anionov). V okviru raziskovalne naloge smo določili masno koncentracijo natrijevih (Na^+), kalijevih (K^+), kalcijevih (Ca^{2+}) in magnezijevih (Mg^{2+}) ionov v posameznih vzorcih vode, saj ti kationi pomembno prispevajo k našemu boljšemu počutju in imajo velik vpliv na naše zdravje. Pripravili smo si 21 vzorcev vod iz 12 različnih držav. Vzorcem smo odstranili ves ogljikov dioksid (CO_2) z ultrazvočno kopeljo ter vzorce vode ustrezno razredčili z ultra čisto vodo. Pripravljene vzorce vode smo pomerili s tehniko ionske kromatografije. Za namene meritev smo si pripravili še raztopine standardov in mobilno fazo. Iz dobljenih rezultatov meritev smo s pomočjo Grubbsovega in Dixonovega testa izločili ubežnike, izrisali umeritvene krivulje ter z njihovo pomočjo izračunali posamezno koncentracijo kationov v vzorcih vode. V okviru raziskave smo preverjali tudi točnost in natančnost naših meritev. Rezultate smo prikazali v štirih tabelah, nato pa smo s pomočjo grafov rezultate interpretirali, ovrgli ali potrdili hipoteze ter napisali zaključke. Ugotovili smo, da so med posameznimi vzorci vode velike razlike v vsebnosti določenih kationov, zato ni vseeno, kakšno vodo pijemo. Prav tako se razlikujejo izmerjene vrednosti masnih koncentracij kationov in poročane vrednosti na etiketah nekaterih preučevanih vod.

Ključne besede: pitna voda, naravna mineralna voda, kationi, ionska kromatografija, umeritvena krivulja, masna koncentracija

SUMMARY

Water in plastic and glass containers is called bottled water. It contains a wide variety of ions (cations and anions). As part of our research, we determined the mass concentration of sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), and magnesium (Mg^{2+}) ions in individual water samples, as these cations are important contributors to our well-being and have a major impact on our health. We prepared 21 water samples from 12 different countries. We removed all carbon dioxide (CO_2) from the samples with an ultrasonic bath and diluted the water samples with ultrapure water. The prepared water samples were analyzed using ion chromatography. Solutions of standard and a mobile phase were also prepared for measurement purposes. The Grubbs and Dixon tests were used to eliminate any outliers from the obtained measurement results. From the data, the linear calibration curves were plotted and with their help the individual cation concentrations in the water samples were calculated. The accuracy and precision of our measurements was also verified as a part of our study. The results were presented in four tables, we plotted graphs to interpret the results and to disprove or confirm hypotheses. We found that there are big differences in the content of certain cations between different water samples, so it does matter what kind of water people drink. There are also differences between the measured mass concentrations of cations and the reported values on the labels of some of the waters used in the research.

Keywords: drinking water, natural mineral water, cations, ion chromatography, calibration curve, mass concentration

1 Uvod

Prihajam iz občine Radenci, v kateri se nahaja več izvirov naravne mineralne vode, nekateri izmed njih so tudi prosto dostopni in namenjeni potešitvi žeje mimoidočim. Občani smo zelo ponosni in navezani na našo naravno mineralno vodo. Črpanje vode iz globin je v preteklosti kraju omogočila razvoj in napredek. Na prvi pogled se zdi, da je naša radenska naravna mineralna voda le ena izmed mnogih plastenk, ki jih najdemo na trgovskih policah, saj je izbira pitne ustekleničene vode zelo široka. Vendar verjamem, da je naša naravna mineralna voda mnogo več od tega in se od ostalih vod razlikuje glede na njeno kvaliteto.

Že dolgo so se mi v glavi porajala vprašanja: Kaj sploh pomeni, da je neka voda mineralna? Kako se razlikuje od drugih voda? Katera voda je za nas »koristna«? Zanimalo me je predvsem, kakšne so razlike med izvirskimi in naravnimi mineralnimi vodami in kakšne koristi nam pitje tovrstnih vod pravzaprav prinaša. Prav tako želim ugotoviti, ali Slovenci pijemo boljšo vodo kot prebivalci drugih držav in celin glede na vsebnost mineralov. Ali so podatki, ki jih navajajo proizvajalci na etiketah plastenk, točni? Nekateri podatki analiz, ki jih navajajo na etiketah, so stari tudi več let in se je dejanska vsebnost raztopljenih snovi najverjetneje s časom nekoliko spremenila. Tako se mi je porodila ideja, da bi podrobneje raziskal kakovost voda, ki jih najdemo na trgovskih policah v Sloveniji in drugod po svetu. Za pomoč pri raziskovalni nalogi sem prosil profesorico kemije Matejo Godec z Gimnazije Franca Miklošiča Ljutomer in magistra kemije Matjaža Rantašo s Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru.

1.1 Cilji in hipoteze

Cilj raziskovalne naloge je bil raziskati čim več različnih vod v plastenkah. Prvi cilj, ki smo si ga zadali, je bil ugotoviti kakovost mineralnih, izvirskih, namiznih in drugih vod, ki se jih da kupiti v Sloveniji in v tujini. Zanimalo nas je predvsem, ali Slovenci pijemo boljšo vodo kot Američani ali prebivalci drugih evropskih držav. Osredotočili smo se predvsem na vsebnost mineralnih snovi, natančneje kovinskih kationov (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) v preučevanih vzorcih vode. Iz podatkov o mineralni sestavi vode lahko razberemo kakovost teh voda ter njihove vsestranske koristi za naš organizem. Drugi cilj, ki smo si ga zastavili, je bil raziskati in analizirati, katerih kationov bo v posameznih vodah največ in če mineralna sestava ustreza posameznim deklaracijam na embalažah produktov. Kot zadnji cilj smo si zadali, da preverimo, kakšno vodo pijemo in o pomenu kvalitete ozvestiti tudi širšo populacijo. Zastavili smo si štiri hipoteze:

1. **Naravne mineralne vode imajo večjo koncentracijo kationov kakor izvirske, arteške in pitne vode.**
2. **Slovenci pijemo vode v plastenkah, ki vsebujejo več kovinskih kationov, kakor vode v plastenkah, ki jih pijejo prebivalci drugod po Evropi in v Severni Ameriki.**
3. **Izmerjene vrednosti masnih koncentracij kationov v vzorcih se ujemajo s poročanimi vrednostmi masnih koncentracij kationov na etiketah.**
4. **Pitje mineralnih vod pomembno prispeva k ohranjanju našega dobrega počutja ter ima veliko koristi za naše zdravje.**

2 Teoretični del

2.1 Dosedanje raziskave

Literature s področja raziskovanja, analiziranja in določanja ionov v posameznih živilih ni veliko. Raziskave so bile osredotočene na meritve koncentracij alkalijskih in zemeljsko alkalijskih kationov v vzorcih vode, zdravilih in energijskih pijačah [1]. Opravljene so bile tudi študije kontroliranja kvalitete likerjev in drugih žganih pijač, kjer so ugotavljali masno koncentracijo Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , PO_4^- in SO_4^{2-} [2]. Ionsko kromatografijo so uporabili tudi za določitev avtentičnosti in določitve vzrokov poslabšanja kakovosti med hranjenjem alkoholnih pijač. V pitni vodi pa so prav tako že bile izvedene raziskave za določanje masnih koncentracij F^- , Cl^- , Br^- , BrO_3^- , ClO_2^- , NO_2^- , NO_3^- , ClO_3^- , SO_4^{2-} in PO_4^{3-} [3]. Tehnika ionske kromatografije je bila uporabljena pri analiziranju količine anionov in kationov v pitni in odpadni vodi [4]. Opravljene so bile tudi raziskave ustekleničene vode z metodo induktivno sklopljene plazme z masno spektrometrijo, pri kateri so določevali katione v visokih koncentracijah in druge kovine v sledih [5].

2.2 Definicije vod in njihova sestava

Voda je snov, ki jo gradijo polarne molekule s kemijsko formulo H_2O . Atoma vodika sta z atomom kisika povezana s polarnimi kovalentnimi vezmi, s čimer se tvori molekula kotne oblike. Med molekulami vode nastanejo molekulske vezi, med katerimi je najpomembnejša vodikova vez. Vodikova vez nastane med vodikom, ki je vezan na elektronegativni element (v primeru vode je to kisik) in neveznim elektronskim parom na kisiku druge molekule vode. Vodikova vez vpliva na povišano vrelišče vode, zaradi česar je pri standardnih pogojih ($T = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 100,0\text{ kPa}$, kjer T pomeni temperaturo in p pomeni tlak) v tekočem agregatnem stanju. Pri standardnih pogojih je voda tekočina brez barve ter brez vonja. Poznamo tri agregatna stanja, v katerih se voda lahko nahaja, in sicer so to trdno, tekoče in plinasto. Pri temperaturi $0\text{ }^\circ\text{C}$ voda prehaja iz trdnega (led) v tekoče agregatno stanje in pri temperaturi $100\text{ }^\circ\text{C}$ voda prehaja iz tekočega v plinasto agregatno stanje (vodna para) [6]. Zaradi tega je voda osnova življenja na Zemlji. Voda sama po sebi vsebuje zraven molekul H_2O zgolj hidroksidne (OH^-) in oksonijeve (H_3O^+) ione, ki nastanejo zaradi avtoprotolize vode. V naravi takšne vode ne najdemo, saj ima zmeraj raztopljeno neko količino mineralnih snovi, plinov, v njej pa se nahajajo tudi mikrobiološki organizmi.

Pitje vode je zraven regeneracije izgubljene vode za ljudi predvsem koristno z vidika ionov, ki jih naše telo prejme z njenim zauživanjem. Pijemo lahko vodo iz pipe, ki priteče po vodovodnih ceveh, ali pa ustekleničeno vodo oziroma vodo v plastenkah. V trgovinah nam je na voljo veliko vrst plastenk vod različnih proizvajalcev. Pomembno je omeniti, da vse plastenke niso polnjene z enako vodo, temveč se razlikujejo glede na vrsto vodnega vira in njegovo lokacijo, kar vpliva na vsebnost raztopljenih soli v vodi. Vode v plastenkah se delijo v več kategorij.

V Sloveniji se direktiva o pitni vodi ravna po načelih Evropske unije (EU), zato ni večjih odstopanj in razlik med definicijami s preostalimi državami EU [7]. Naravna mineralna voda je voda, ki se je na izviru ne sme obdelati z nobenim postopkom, razen z izločanjem neobstojećih spojin in drugih nezaželenih sestavin, vendar se ob tem ne spremeni sestava vode glede njenih značilnosti. Dovoljen je še popolni ali delni odvzem prostega ogljikovega dioksida, ampak zgolj

s fizikalnimi postopki. V Sloveniji štejemo naravne mineralne vode kot vode, ki poleg mikrobioloških zahtev izpolnjujejo tudi naslednje pogoje: imajo svoj izvir v podzemnem vodnem viru, ki je zaščiten pred kakršnokoli možnostjo kontaminacije, ima lastnosti, zaradi katerih se jasno razlikuje od preostale pitne vode, ki izhajajo predvsem iz vsebnosti mineralnih snovi in bi naj v povprečju bile višje kakor vsebnosti mineralnih snovi v drugih vodah. Obstajajo tudi dodatni pogoji za naravne mineralne vode z ogljikovim dioksidom, ki jih razvrščajo v tri kategorije: naravna mineralna voda z naravno vsebnostjo ogljikovega dioksida, kar pomeni, da ima voda po polnjenju enako vsebnost ogljikovega dioksida kakor na izviru, sledi naravna mineralna voda z dodanim lastnim ogljikovim dioksidom, kar pomeni, da ima po polnjenju voda višjo vsebnost ogljikovega dioksida kakor na izviru in naravna mineralna voda z dodanim ogljikovim dioksidom, ki pomeni vodo z dodanim ogljikovim dioksidom, ki ni iz istega izvira kakor naravna mineralna voda [7].

Izraz "izvirna voda" je namenjen za vodo, ki je namenjena za prehrano ljudi in se polni na izviru ter izpolnjuje določene mikrobiološke in druge zahteve [7].

Namizna voda je voda, ki je pripravljena iz pitne vode oziroma naravne mineralne vode oziroma izvirske vode in lahko vsebuje eno ali več dodanih snovi, dodano morsko vodo ter dodani ogljikov dioksid [8].

V Združenih državah Amerike (ZDA) agencija Food and Drug Administration (FDA) razvršča vode v štiri kategorije. V prvo spadajo arteške vode iz vrtin, ki so napeljane v arteški vodnjak. To je velikanski naravni rezervoar za vodo, ki se nahaja pod zemljo in je oblika podtalnice ujeta med dva neprepustna vodonosnika. Na nekaterih mestih ta voda zaradi velikega tlaka pride na zemeljsko površje [9]. Druga kategorija so mineralne vode, ki so po definiciji vode, ki pridejo iz podzemlja in vsebujejo najmanj 250 delcev na milijon (angl. parts per million) skupno raztopljenih snovi. Minerali in ostali elementi ne smejo biti naknadno dodani. Tretja kategorija je izvirna voda, ki izvira iz podzemnega vira in voda naravno teče na površje; zbirati jo je mogoče le pri izviru ali s pomočjo vrtine, ki seže do izvira v podzemlju. Zadnja kategorija je voda iz vrtin in zajema vse vode, do katerih pridejo z umetnim vrtanjem v tla, da dosežejo podzemni rezervoar vode – vodonosnik [10].

Po direktivi Evropskega parlamenta in Sveta mora na embalažah izdelkov, med njimi tudi na pitnih vodah, biti navedena kemijska sestava, ki navaja količino raztopljenih soli, lokacijo in ime izvira vode [8].

2.3 Priporočen dnevni vnos posameznih mineralov

Voda je nujno potrebna za normalno delovanje človeškega telesa in bioloških procesov, ki potekajo v njem. Odrasli ljudje potrebujejo približno 3,7 litra tekočine na dan, vključno s pitno vodo. V ta volumen sta zajeti pijača in hrana. Smernice za vnos kationov v človeško telo so prikazane v tabeli 1 in tabeli 2.

Tabela 1: Priporočen dnevni vnos mineralov za otroke (1–14 let).

Starost	Natrij (Na ⁺)	Kalij (K ⁺)	Kalcij (Ca ²⁺)	Magnezij (Mg ²⁺)
1–3	300 mg	1000 mg	600 mg	80 mg
4–6	410 mg	1400 mg	700 mg	120 mg
7–9	460 mg	1600 mg	900 mg	170 mg
10–12	510 mg	1700 mg	1100 mg	230–250 mg
13–14	550 mg	1900 mg	1200 mg	310 mg

Tabela 2: Priporočeni dnevni vnos mineralov za mladostnike, odrasle in starejše [12].

Starost	Natrij (Na ⁺)		Kalij (K ⁺)		Kalcij (Ca ²⁺)		Magnezij (Mg ²⁺)	
	M ^m	Ž ^ž	M	Ž	M	Ž	M	Ž
15–18	550 mg	550 mg	2000 mg	2000 mg	1200 mg	1200 mg	400 mg	350 mg
19–65	550 mg	550 mg	2000 mg	2000 mg	1000 mg	1000 mg	350–400 mg	300–310 (310 ⁿ /390 ^d) mg
nad 65	550 mg	550 mg	2000 mg	2000 mg	1000 mg	1000 mg	350 mg	300 mg

ⁿ nosečnice od 4. meseca naprej^d doječe matere^mmoški^žženske

Priporočen vnos mineralov s pitno vodo ni natančno določen, saj veliko mineralov vnesemo v naše telo s hrano [11, 13]. Dejavniki, ki vplivajo na količino mineralov, ki jih potrebujemo, so starost, telesna masa, nosečnost, dojenje, zdravstveno stanje itd. [14]. Prav tako igrajo elektroliti, kakor lahko z drugo besedo poimenujemo raztopljene kovinske katione, pomembno vlogo v vročih in vlažnih vremenskih razmerah in med fizično aktivnostjo. Zaradi ekstremnih razmer se začne naše telo intenzivno potiti ter ob tem izgublja elektrolite. Le-te je potrebno v hitrem času nadomestiti s hrano ali pijačo [15].

2.5 Koristi posameznih kationov

2.5.1 Natrij

Element natrij je v naravi prisoten predvsem v obliki natrijevih soli (karbonati, nitrati, sulfati, borati in halogenidi – zlasti natrijev klorid). Odrasla oseba, teška 70 kg, vsebuje v svojem telesu 85–96 g Na⁺. Človeško telo ima evolucijsko slabo razvite mehanizme za uravnavanje koncentracije Na⁺, saj se so naši predniki prehranjevali s hrano, ki je bila revna z Na⁺ (1–10 mmol/dan) [16]. Danes se je naš vnos povečal na kar 170–200 mmol Na⁺ na dan, saj uživamo veliko predelane hrane, ki vsebuje veliko soli, namenjene njenemu prezerviranju in dodajanju okusa. Ustrezen dnevni vnos naj bi znašal 87 mmol na dan oziroma okoli 2000 mg Na⁺.

Na⁺ je pomemben predvsem za osmotsko aktivnost. Njegova glavna funkcija je ustvarjanje transmembranskega elektrokemičnega potenciala preko izmenjave s K⁺ (vloga Na⁺/K⁺ črpalke) [16]. Za ohranjanje membranskega potenciala Na⁺/K⁺ črpalke porablja energijo, saj poteka

aktivni transport. Na^+/K^+ črpalka namreč premika ione proti koncentracijskemu gradientu, torej iz območja nižje koncentracije na območje višje koncentracije. Za vsako molekulo ATP se izmenjata 2 K^+ in 3 Na^+ . To vpliva na spremembo membranskega potenciala. Pravilno delovanje črpalke uravnava visoko koncentracijo Na^+ zunaj celice in visoko koncentracijo K^+ znotraj celice. Da se ne poruši ravnovesje, ki ga vzdržuje črpalka, je pomembno uživati hrano in pijačo bogato z minerali.

Zdravstvene posledice povezane z Na^+ so lahko kronično ali akutno pomanjkanje ali presežki Na^+ . Kronični presežki se pojavijo zaradi dolgotrajne prekomerne izpostavljenosti in se začne Na^+ kopičiti v kosteh, mišicah in koži. Bolj očitne posledice ima akutno pomanjkanje oziroma presežek. Motnje akutnega presežka ali pomanjkanja izhajajo iz motenj homeostatskih sistemov in negativno vplivajo na celoten živčni sistem. Zaradi sprememb v volumnu, ki ga povzroča prerazporeditev vode zaradi nenormalne količine Na^+ , lahko jetra ali ledvice nabreknejo ali se zmanjšajo. Možgani tega ne morejo storiti, saj so obdani z lobanjo in imajo tako omejen volumen. Prav zaradi tega so bolj dovzetni za te spremembe. Visok vnos Na^+ ima neposreden škodljiv učinek na delovanje srca in ožilja. Sami Na^+ niso rakotvorni, vendar visoke koncentracije Na^+ v našem telesu lahko povečajo dovzetnost za nastanek rakotvornih snovi, kot so nitrozamini. [16]. Zgornja meja vnosa Na^+ ni določena, vendar je dokazano, da je previsok vnos v evropskih državah prispeval k visokemu krvnemu tlaku pri prebivalstvu, kar povzroča bolezni srca in ožilja ter ledvic [16].

2.5.2 Kalij

Kalij je sedmi najpogostejši element periodnega sistema v zemeljski skorji. V naravi se pogosto pojavlja v obliki vodotopnih soli. V človeškem telesu je en izmed treh najbolj razširjenih ionov poleg Na^+ in Ca^{2+} . Odrasel človek potrebuje približno 40–55 mmol K^+ na kg telesne mase dnevno [16]. Oseba, ki tehta 70 kg, vsebuje približno 110–150 g K^+ . Ustrezen vnos K^+ v človeško telo se uravnava s primerno prehrano. Največje koncentracije K^+ vsebujejo banane, špinača, avokado, suhe marelice, fižol, losos, mlečni izdelki, krompir, sladki krompir, paradižnik in paradižnikovi izdelki. Prehranjevanje z večinoma predelano hrano, ki vsebuje nizke koncentracije K^+ , in pomanjkljivo vnašanje sadja in zelenjave v naš organizem bo prispevalo k nizkim vrednostim le tega v našem telesu. Človek ima evolucijsko dobro razvite mehanizme za uravnavanje K^+ v telesu, saj so naši predniki uživali s K^+ bogato prehrano. V pitni vodi je K^+ zanemarljivo malo, zato zgolj z pitjem navadne vode ne moremo zadostiti potreb po dnevnem vnosu K^+ . O pomanjkanju K^+ (hipokaliemiji) govorimo, ko koncentracija K^+ v krvi pade pod 3,5 mmol/L [16]. Prvi simptomi hipokaliemije so utrujenost, pomanjkanje energije, driska in bruhanje. Pojavi se ob premajhnem vnosu minerala v telo in istočasnem pretiranem izločanju iz telesa (prekomerna fizična aktivnost) [17]. Pomanjkanje K^+ lahko vodi k boleznim srca in ožilja, v skrajnem primeru tudi do možganske kapi. Pomanjkanje K^+ v telesu vpliva tudi na zdravje kosti, nastanek ledvičnih kamnov in nastanek metabolnih bolezni. Evropska agencija za varnost hrane je izjavila, da živila, bogata s K^+ , prispevajo k delovanju živčnega sistema, mišic in pomembno vplivajo na vzdrževanje normalnega krvnega tlaka [16].

K^+ so glavni osmozno aktivni ioni v celici, saj imajo pomembno vlogo pri delovanju že prej omenjene Na^+/K^+ črpalke. Koncentracijski gradient, ki nastane, je pomemben za prenos električnih signalov do živčnih vlaken in mišičnih celic in že majhne spremembe v koncentraciji K^+ znotraj celice lahko prispevajo k nastanku motenj med prenašanjem signala po živčnih vlaknih ali mišično kontrakcijo.

K^+ prispevajo k delovanju encimov, prenosu energije, celični presnovi in regulaciji sinteze beljakovin in glikogena [19].

2.5.3 Kalcij

Kalcij uvrščamo med zemeljsko alkalijske kovine, saj se nahaja v drugi skupini periodnega sistema. Prepoznamo ga kot srebrno-belo visoko reaktivno kovino, zato ga v naravi ne najdemo v čisti obliki. V človeškem telesu ima pomembno funkcijo v različnih procesih. Je eden izmed glavnih gradnikov zobovja in kosti, kjer se nahaja v obliki kristalnega hidroksiapatita ($Ca_5(PO_4)_3OH$). Zadolžen je predvsem za trdnost kosti, saj kalcij omogoča sintezo kolagena, kar izboljša gostoto kosti in upočasni osteoporozo. Uživanje hrane bogate s Ca^{2+} tako prispeva k ohranjanju in razvoju kosti. Pri otrocih nezadosten vnos ovira rast in lahko povzroči nepravilno rast kosti. Ca^{2+} so pomembni tudi pri strjevanju krvi, transportu ionov, prenosu živčnih signalov in dražljajev. Telo odraslega človeka vsebuje približno 1 kg Ca^{2+} , od tega jih je 99 % v kosteh. Majhen delež Ca^{2+} , ki ni v kosteh, pa sodeluje pri celičnem signaliziranju in regulaciji različnih presnovnih procesov, krčenju žil, mišic, delovanju encimov, hormonov [16]. V človeškem telesu se nahajajo Ca^{2+} kanalčki, ki jih najdemo na membrani endoplazemskega retikuluma. Ti ioni pomembno vplivajo na regulacijo (odpiranje, zapiranje) kanalov [18]. Prav tako imajo ženske, ki vnašajo zadostne količine Ca^{2+} v svoje telo, znižano tveganje za predmenstrualni sindrom.

Priporočena dnevna doza Ca^{2+} je okrog 800 mg [20]. Največja vrednost Ca^{2+} , ki ga naše telo še lahko sprejme, je 2500 mg Ca^{2+} na dan. Pitna in še posebej mineralna voda je zelo pomemben vir Ca^{2+} , saj vsebuje raztopljen kalcijev karbonat v večjih koncentracijah. Ker pa ljudje s prehrano velikokrat ne dosežejo zadostnega vnosa Ca^{2+} v telo, se jih veliko poslužuje uživanju raznih prehranskih dodatkov. Premajhen vnos lahko vodi do povišanega krvnega tlaka, ki lahko povzroči resna krvožilna obolenja [21]. Prevelik vnos Ca^{2+} , najpogosteje s prehranskimi dodatki, pa lahko povzroči maligne tumorje in hiperparatiroidizem.

2.5.4 Magnezij

Magnezij je zemeljsko alkalijska kovina z molsko maso 24,305 g/mol. V naravi elementarnega magnezija zaradi visoke reaktivnosti ne najdemo. Magnezij namreč burno reagira z molekulami vode in atmosferskim kisikom. V naravi se zato pojavlja večinoma v obliki soli. Magnezijeve soli so v vodi bolje topne kakor kalcijeve. V človeškem telesu ga je približno 24 g, od tega ga je 60 % v kosteh, okoli 20 % pa v skeletnih mišicah. Preostanek najdemo v ostalih mehkih tkivih in majhen delež v ekstracelularni tekočini [16]. Tretjina Mg^{2+} služi kot pufer za vzdrževanje ustrezne fiziološke koncentracije Mg^{2+} zunaj celice. Znotraj celice je večinoma vezan na proteine in polinukleotide ter ATP. Mg^{2+} je četrti najpogostejši kation v telesu. Višje koncentracije imajo le Na^+ , Ca^{2+} in K^+ . Magnezij je prav tako prisoten v strukturi makromolekul, ki jih najdemo v človeškem telesu. Je sestavni gradnik kosti in zob, sodeluje pri encimski katalizi in signalizaciji preko modulacije mnogih receptorjev. Ključen je za dve pomembni molekuli v našem organizmu, to sta RNA in DNA, kjer Mg^{2+} ioni stabilizirajo strukturo teh molekul, ko se povežejo s fosfatnimi skupinami. Mg^{2+} je nujno potreben za pravilno transkripcijo in translacijo genskega zapisa, sintezo aminokislin in koencimov, glikolizo in katabolizem glukoze [16].

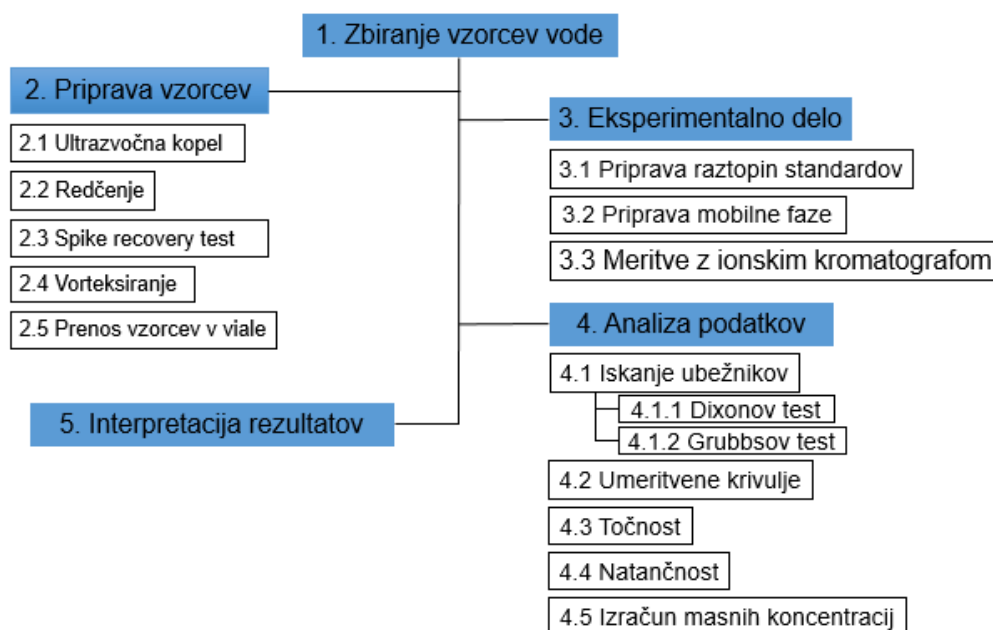
Poznamo dve bolezenski stanji, povezani s koncentracijo Mg^{2+} v človeškem telesu. Hipermaagneziemija, kar pomeni povišano koncentracijo Mg^{2+} , je zelo redek pojav, saj se

večinoma pojavi pri pacientih, ki imajo težave z ledvicami. Hipomagneziemija, kar pomeni pomanjkanje Mg^{2+} , lahko nastane, ko s hrano ne vnesemo zadostnih količin Mg^{2+} v naše telo. Če s prehrano ne zadovoljimo potrebe po dnevnem vnosu magnezija, se ga lahko zaužije tudi s pomočjo prehranskih dodatkov [17]. Najpogosteje ga najdemo v obliki šumečih tablet in magnezijevih praškov. Uporaba prehranskih dodatkov se priporoča predvsem športnikom, ki izgubijo veliko Mg^{2+} med vadbo. Uživanje magnezija zmanjšuje tveganje mišičnih krčev.

3 Eksperimentalno delo

3.1 Načrt dela

Delo smo razvrstili po skrbno izbranih korakih. Najprej smo izvedli zbiranje vzorcev ustekleničenih vod, ki smo jih kupili v slovenskih in tujih trgovinah, ter s tem pripravili širok nabor vod. Naš nabor je obsegal 21 vod iz različnih držav, ki so do začetka analiziranja bila hranjena v temnem prostoru pri 15 °C. Naslednji korak je bil pregled celotne literature, ki bi nam prišla prav pri našem raziskovanju. Preučiti je bilo potrebno: definicijo in sestavo vod, direktive in omejitve za pitno vodo v Sloveniji, koristi posameznih kationov za naše zdravje in izvedeti čim več o tehniki ionske kromatografije, ki se uporablja za analizo ionov v tekočih vzorcih. Za analizo smo si vzorce naših vod ustrezno pripravili (ultrazvočna kopel, redčenje, itd.) in jih pomerili z ionskim kromatografom. Predhodno smo si pripravili še raztopine standardov, ki so nam kasneje omogočale izračun masnih koncentracij Na^+ , K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+} ionov v posameznem vzorcu z izrisom umeritvene krivulje. Iz dobljenih meritev smo najprej izločili ubežnike z Grubbsovimi in Dixonovimi testom. Nato smo izrisali umeritvene krivulje, preko katerih smo lahko izračunali masne koncentracije kationov v naših vzorcih. Rezultate smo nato prikazali v tabeli in jih interpretirali. Celotna zasnova eksperimentalnega dela je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Zasnova eksperimentalnega dela.

3.2 Izbira vzorcev

Za namene raziskave smo izbrali 21 različnih vod v plastenkah. Plastenke so prihajale iz številnih evropskih držav; Francije, Slovenije, Avstrije, Srbije, Hrvaške, Italije, Turčije, Romunije, Norveške in Češke ter iz nekaterih držav izven meja Evrope; iz Združenih držav Amerike in Fidžija. Uporabljene plastenke z vodo za raziskovalno nalogo so prikazane v tabeli 3.

Tabela 3: Vključeni vzorci vode in fotografije njihovih embalaž.

Fiji 	Smart water Slovenija 
Jamnica 	Prolom voda 
Zala 	S. Pellegrino 

Smartwater Združene države Amerike



Proud Source



Radenska Kraljevi vrelec



Borsec



Radenska Naturelle



Donat



Isklar



Long life



Evian



Römerquelle



Rogla



Bursasu



San Benedetto



Perrier



Muszynanka



Spodnja tabela (tabela 4) prikazuje oštevilčene vzorce vod (v naključnem vrstnem redu) in njihove lastnosti.

Tabela 4: Vzorci vode, primerjalno.

Številka vzorca vode	Vrsta vode	Kraj izvora	Dodan CO ₂
1	izvirna voda	Slovenija	NE
2	arteška voda	Fidži	NE
3	naravna mineralna voda	Francija	NE
4	naravna mineralna voda	Slovenija	DA
5	naravna mineralna voda	Romunija	DA
6	naravna mineralna voda	Slovenija	DA
7	izvirna voda	Slovenija	NE
8	naravna mineralna voda	Norveška	NE
9	naravna mineralna voda	Avstrija	NE
10	naravna mineralna voda	Srbija	NE
11	naravna mineralna voda	Avstrija	DA
12	pitna voda	Združene države Amerike	NE
13	pitna voda	Slovenija	NE
14	naravna mineralna voda	Hrvaška	DA
15	naravna mineralna voda	Francija	DA
16	naravna mineralna voda	Slovenija	DA
17	naravna mineralna voda	Češka	DA
18	izvirna voda	Turčija	NE
19	naravna izvirna voda	Združene države Amerike	NE
20	naravna mineralna voda	Italija	DA
21	naravna mineralna voda	Italija	DA

3.3 Priprava vzorcev

Vodo iz plastenk smo prelili v čiste 50 mL plastične centrifugirke in jih zaprli s plastičnim pokrovom, da bi preprečili zunanjo kontaminacijo našega vzorca. Centrifugirke z vzorci smo nato prenesli do ultrazvočne kopeli, odprli pokrove in jih potopili v vodo. Vzorce smo v ultrazvočni kopeli pustili 15 minut, da so se iz njih odstranili mehurčki CO₂ (slika 2). Po končanem postopku smo centrifugirke ponovno zaprli in vzorce prenesli v digestorij, kjer smo nadaljevali s pripravo vzorcev.



Slika 2: Ultrazvočna kopel.

Z etiket na plastenkah vode smo razbrali poročane vrednosti masnih koncentracij preučevanih kationov. Iz poročanih vrednosti smo si izračunali razredčitve za posamezne vzorce vode. Pri tem smo uporabili enačbo 1, kjer y pomeni masno koncentracijo in V volumen.

$$y_1 \cdot V_1 = y_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

Masna koncentracija kationov po razredčitvi je morala biti znotraj linearnega območja pripravljene umeritvene krivulje za posamezne katione. Vzorce vode smo redčili z ultra čisto vodo, ki smo jo pridobili s sistemom za ultra čisto vodo ELGA PureLab (Veolia Water Technologies, Združeno Kraljestvo) (slika 3). Ultra čista voda ne vsebuje raztopljenih kontaminantov, plinov, kakor tudi ne raztopljenih kationov. Uporabljena ultra čista voda za pripravo vzorcev je imela upornost $18,2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ pri 25°C . Vzorce smo redčili v 10 mL in 25 mL steklenih bučkah. Najprej smo s pomočjo avtomatskih pipet prenesli ustrezen volumen vode iz plastenke, nato pa preostali volumen do oznake napolnili z ultra čisto vodo s pomočjo plastične Pasteurjeve pipete. Steklene bučke smo zaprli z zamaški in pripravljeni vzorec dobro premešali s pomočjo vorteksa. Redčenje vzorcev je prikazano na sliki 4.



Slika 3: Sistem za ultra čisto vodo.



Slika 4: Redčenje vzorcev z ultra čisto vodo v steklenih bučkah.

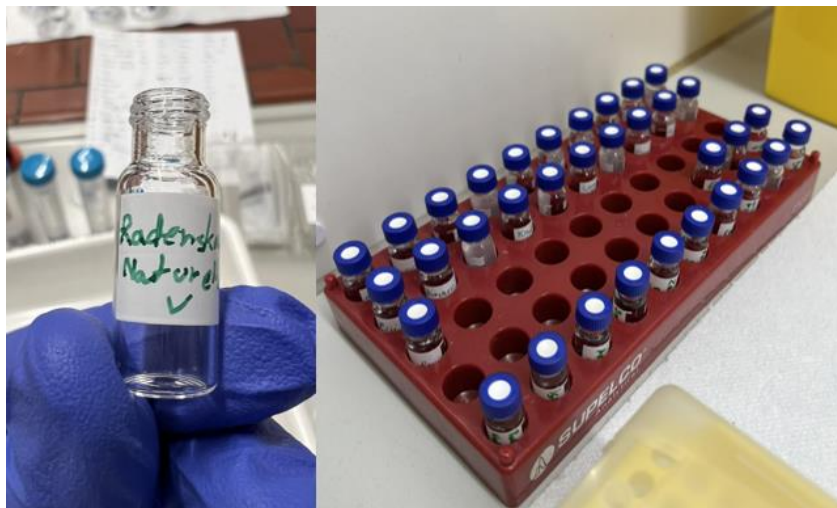
Za namene preverjanja točnosti meritev smo k vsakemu realnemu vzorcu dodali znano količino raztopine standarda. Temu pristopu se v angleščini reče spike recovery test. To smo naredili



tako, da smo v čiste 10 mL steklene bučke s pomočjo 100 μL avtomatske pipete prenesli 20 μL raztopine standarda K^+ , 50 μL raztopine standarda Na^+ , 100 μL raztopine standarda Ca^{2+} in 100 μL raztopine standarda Mg^{2+} . Raztopine standardov so imele masno koncentracijo 1000 mg/L. Po dodatku znane količine raztopine standarda smo 10 mL steklene bučke napolnili z realnimi vzorci vode. Steklene bučke smo nato zaprli z zamaški in jih premešali s pomočjo vorteksa (slika 5).

Slika 5: Vorteksiranje vzorcev v steklenih bučkah.

Vzorci vode in vzorci vode z znano količino raztopine standarda smo nato prenesli v 2 mL steklene vial, ki se uporabljajo za meritve v ionskem kromatografu in jih zamašili s plastičnimi pokrovčki (slika 6). Steklene vial smo shranili v hladilnik na 4 °C do izvajanja meritev. Na sliki 7 imamo prikazano našo delovno mesto (digestorij), kjer smo pripravljali vzorce za analizo z IC.



Slika 6: Steklene vial za vzorce, namenjene za meritve z IC.



Slika 7: Digestorij, kjer se je izvajala priprava vzorcev.

3.3 Priprava raztopin standardov in mobilne faze

Za mobilno fazo smo uporabili raztopino tartarne, dipikolinske in borove kisline. Uporabljene kemikalije lahko vidimo na sliki 8. V stekleno čašo smo s pomočjo analitske tehtnice natehtali 0,7504 g tartarne kisline, 0,1671 g dipikolinske kisline in 1,4839 g borove kisline. S konstantnim spiranjem z ultra čisto vodo in mešanjem s stekleno palčko smo vsebino čaše kvantitativno prenesli v 1 L stekleno bučko. Bučko smo nato dopolnili do oznake z ultra čisto vodo, jo zaprli z zamaškom in dobro premešali, da so se raztopile vse kemikalije. Po mešanju smo mobilno fazo prefiltrirali z namenom odstranitve neraztopljenih delcev in kontaminantov (slika 9). Po filtriranju smo mobilno fazo dali v ultrazvočno kopel za 15 minut. Po končanem postopku smo mobilno fazo prelili v plastično posodo.

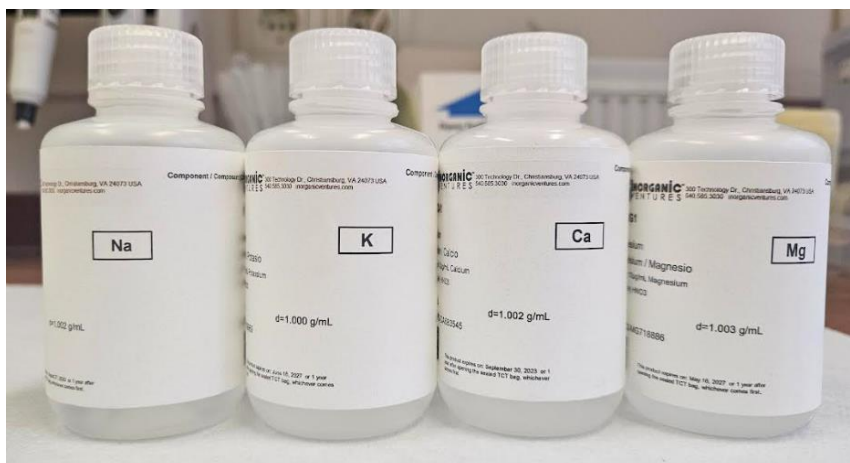


Slika 8: Kemikalije, uporabljene za pripravo mobilne faze: tartarna kislina, dipikolinska kislina in borova kislina.



Slika 9: Filtriranje mobilne faze.

Za namene določevanja masne koncentracije kationov v vzorcih vode smo uporabili metodo umeritvene krivulje. Pripravili smo si raztopine standardov za vse 4 preučevane katione. To smo naredili z ustreznim redčenjem raztopin standardov Na^+ , K^+ , Mg^{2+} in Ca^{2+} z masno koncentracijo 1000 mg/L v 10 mL steklenih bučkah z ultra čisto vodo. Raztopine standardov z masno koncentracijo 1000 mg/L, ki smo jih uporabili, so prikazane na sliki 10. Po razredčitvi in mešanju pripravljenih raztopin standardov smo jih prenesli v 2 mL steklene vial in jih shranili v hladilniku do začetka meritev. Pripravljene raztopine standardov za K^+ so bile v območju do 20,00 mg/L, za Na^+ do 60,00 mg/L, za Mg^{2+} do 100,00 mg/L in za Ca^{2+} do 100,00 mg/L. Za vsak kation smo si pripravili tudi raztopine za preverjanje točnosti metode na nizkem, srednjem in visokem koncentracijskem nivoju.

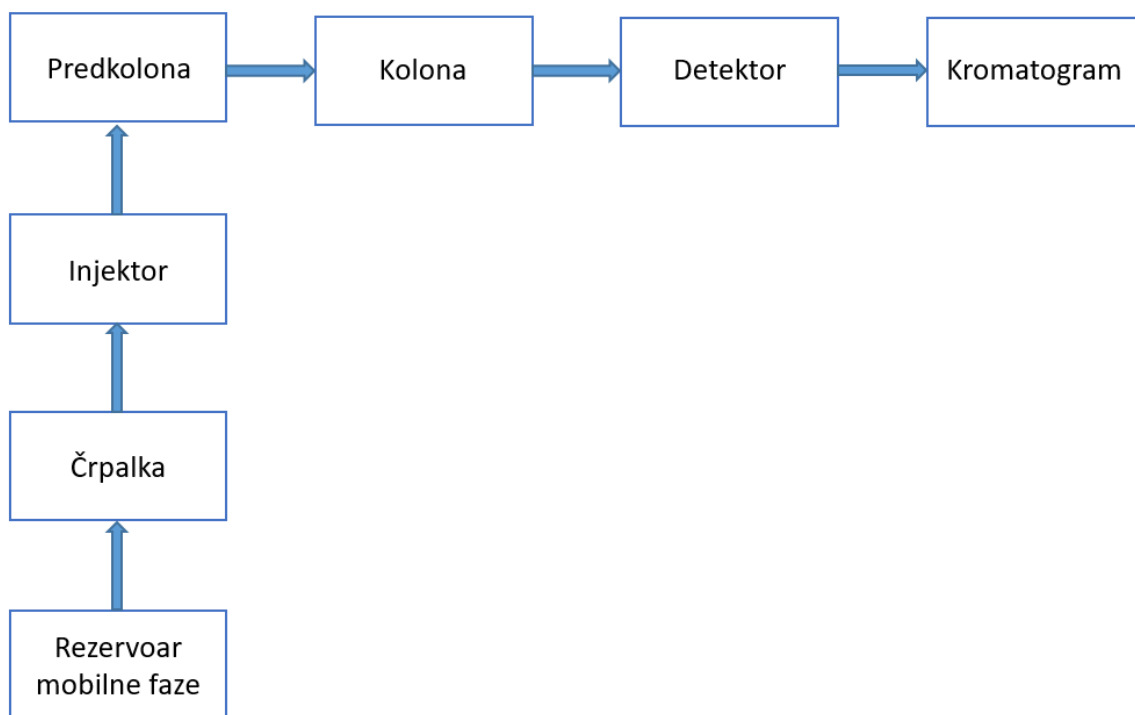


Slika 10: Raztopine standardov Na^+ , K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+} z masno koncentracijo 1000 mg/L za pripravo raztopin za umeritveno krivuljo.

3.4 Ionska kromatografija

Ionsko kromatografijo uvrščamo med analizne tehnike, njen začetek pa sega v leto 1975 [22]. Skrajšano ime za ionsko kromatografijo je IC. IC je analizna tehnika, s pomočjo katere lahko določujemo pozitivno ali negativno nabite ione. To so lahko majhni anorganski ioni ali velike molekule z nabojem, kot so proteini in aminokisline. Osnovni merilni sistem IC je sestavljen iz rezervoarja za mobilno fazo, črpalke, injektorja, predkolone, kolone, ki vsebuje stacionarno fazo, in detektorja (slika 11) [22]. Črpalka skrbi za stalni pretok eluenta (mobilne faze) po celotnem ionskem kromatografu. Eluent ali mobilna faza je topilo, ki nosi analit. Analit imenujemo snov, ki se loči od preostalih kemijskih zvrsti med kromatografsko ločbo in ga želimo določiti v našem preučevanem vzorcu. Injektor nujno potrebujemo za vnos vzorca v celoten kromatografski sistem. Tekoče vzorce lahko neposredno vbrizgamo, medtem ko je trdne vzorce potrebno predhodno raztopiti v ustreznem topilu. Predkolone so namenjene zaščiti kromatografskih kolon, saj odstranijo nezaželeni kontaminanti, ki se lahko nahajajo v vzorcu ali sami mobilni fazi. Prav tako je predkolone lažje nadomestiti, saj so veliko cenejše kakor same kromatografske kolone. Kromatografske kolone so premera od 2 mm do 5 mm, v dolžino pa merijo od 3 do 50 cm. Znotraj kromatografske kolone se nahaja fiksna stacionarna faza. Mobilna faza potuje skozi kromatografsko kolono, pri tem s seboj nosi analit, ki med prehodom skozi kolono interagira s stacionarno fazo. Tako poteka izmenjava analita med mobilno in stacionarno fazo, na podlagi fizikalno-kemijskih lastnosti. Ko analit prispe iz kolone, pride na detektor. Pri ionski kromatografiji se najpogosteje uporablja detektor na osnovi električne prevodnosti. Ta meri spremembe v električni prevodnosti, ki nastanejo, ko ioni prihajajo na detektor. Mobilna faza ima namreč konstantno električno prevodnost zaradi enakomerne sestave, ki se spremeni, če vsebuje analit. Na tak način lahko ione detektiramo in kvantificiramo. Kot rezultat analize z IC dobimo kromatogram [23]. Za določevanje kovinskih kationov se uporablja kationsko-izmenjevalna ionska kromatografija, ki se je uporabljala tudi za namene te raziskovalne naloge. Separacija kovinskih kationov poteka na podlagi fizikalno-kemijske ločitve. Kationi se izmenjujejo med mobilno in stacionarno fazo, kar povzroči različen čas elucije posameznih kationov pri določenih pogojih izvajanja meritve (pretok mobilne faze, temperatura, uporabljena stacionarna faza, sestava mobilne faze itd.). Stacionarna faza mora biti negativno nabita (vsebovati mora negativno nabite funkcionalne skupine, na katere se lahko zaradi električnega privlaka povežejo kovinski kationi), da pritegne pozitivno nabite delce. V obratnem primeru se pa anionsko izmenjevalna kromatografija uporablja, ko nas

zanimajo negativno nabiti delci. Takrat mora biti stacionarna faza pozitivno nabita [24]. S kationsko izmenjevalno kromatografijo lahko zaznamo Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} itd. [25]. S pomočjo anionske izmenjevalne kromatografije pa lahko zaznamo F^- , Cl^- , F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , SO_4^{2-} , mravljinčno kislino, ocatno kislino, oksalno kislino itd.



Slika 11: Shematski prikaz sistema za ionsko kromatografijo.

3.5 Meritve z ionskim kromatografom

Meritve smo izvajali z ionskim kromatografom, ki je bil sestavljen iz večjega števila podenot. Po vrsti si sledijo enote DGU-403, LC-20Ai, SIL-20AC, CTO-40S in CDD-10A. Ionski kromatograf in njegove sestavne dele lahko vidimo na sliki 12. DGU-403 je razplinjevalnik, ki razplini mobilno fazo oziroma odstrani raztopljene pline in zračne mehurčke pred njenim vtokom v instrument. LC-20Ai deluje kot črpalka za prenos mobilne faze po celotnem sistemu. Sledi avtomatski vzorčevalnik SIL-20AC, ki vzdržuje konstantno temperaturo vzorcev in omogoča injiciranje vzorcev v instrument. Vzorec se po injiciranju pomeša z mobilno fazo in nadaljuje svojo pot do pečice CTO-40S. V pečici se nahajata predkolona in kolona, na kateri poteka kromatografska ločba kationov. Pečica vzdržuje konstantno povišano temperaturo. Za meritve smo uporabljali predkolono YK-G in kolono YK-421, dolžine 125 mm in 4,6 mm notranjega premera, ki ju lahko vidimo na sliki 13. Po kromatografski ločbi na koloni kationi pridejo na detektor CDD-10A, ki je v našem primeru detektor na osnovi električne prevodnosti, torej meri spremembe v prevodnosti mobilne faze z analitom.

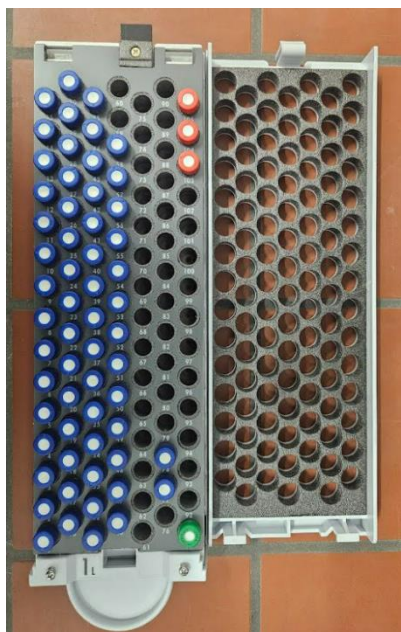


Slika 12: Ionski kromatograf, ki smo ga uporabljali za merjenje vzorcev vode.



Slika 13: Pečica IC s predkolono in kolono.

Meritve smo izvajali pri konstantnem pretoku mobilne faze 1,000 mL/min. Detektor je bil nastavljen na negativno polariteto in ogret na 43 °C. Pečica je bila nastavljena na 40 °C. Celoten čas analize enega vzorca je trajal 20 minut. Po zagonu instrumenta smo počakali 30 minut, da se je bazna linija na kromatogramu ustalila, saj za začetek meritev potrebujemo stabilno bazno linijo.



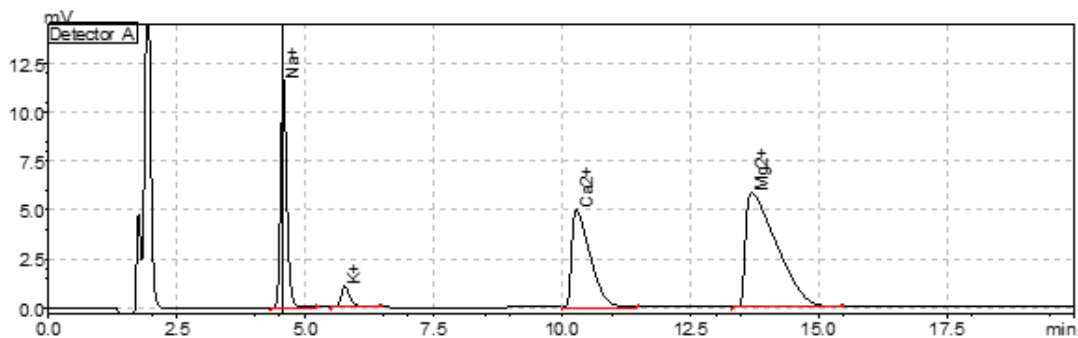
Vsako raztopino standardov in pripravljeni vzorec smo pomerili trikrat. Omenjene raztopine standardov in vzorce lahko vidimo na sliki 14.

Slika 14: Viale z raztopinami standardov in vzorci.

4 Meritve in rezultati

Kot rezultat naših meritev smo dobili kromatogram. Primer kromatograma je podan na sliki 15. Iz kromatograma vidimo, da se je najprej iz kolone eluiral Na^+ , nato K^+ in na koncu še Ca^{2+} in Mg^{2+} . Elucijski čas posameznega kationa smo potrdili z raztopinami standardov. Vsak kromatografski vrh predstavlja enega izmed kationov. Ploščina pod vsakim kromatografskim vrhom nam je dala signal za vsak posamezen kation.

Za Na^+ in K^+ so bili značilni ozki simetrični vrhovi, medtem ko so se vrhovi za Ca^{2+} in Mg^{2+} širili z višanjem koncentracije posameznega kationa.



Slika 15: Primer kromatograma, pridobljenega z meritvami z IC.

Za vsako raztopino standarda in vzorec so bile narejene 3 ponovitve meritv. Med temi tremi meritvami smo poiskali ubežnike s pomočjo Grubbsovega in Dixonovega testa ubežnikov. Ubežniki so rezultati, ki se signifikantno razlikujejo od ostalih meritev.

Grubbsov test izgleda tako:

$$G_1 = \left(\frac{\bar{x} - x_{\min}}{s} \right) \text{ za testiranje } x_{\min} \text{ in } G_1 = \left(\frac{x_{\max} - \bar{x}}{s} \right) \text{ za testiranje } x_{\max},$$

kjer je:

- $\bar{x}$ povprečna vrednost meritev
- $x_{\min}$ najmanjša vrednost meritev
- $x_{\max}$ največja vrednost meritev
- s standardna deviacija meritev

Meritev je ubežnik, če je $G_1 > G_{\text{tabela}}$, ki je za 3 meritve enaka 1,154.

Dixonov test izgleda tako:

$$Q_3 = (x_2 - x_1) / (x_{\max} - x_1) \text{ za testiranje } x_1 \text{ in } Q_3 = (x_{\max} - x_{\max-1}) / (x_{\max} - x_1) \text{ za testiranje } x_{\max},$$

kjer je:

- x_1 najmanjša vrednost meritev
- x_2 druga najmanjša vrednost meritev
- $x_{\max-1}$ druga največja vrednost meritev
- $x_{\max}$ največja vrednost meritev

Meritev je ubežnik, če je $Q_3 > Q_{\text{tabela}}$, ki je za 3 meritve enaka 0,941.

Ko smo našli ubežnike meritev, smo jih odstranili iz podatkov in iz preostalih meritev izračunali povprečje za vsak posamezni vzorec in 4 preučevane katione.

Nato smo si s pomočjo povprečnih vrednosti meritev raztopin standardov izrisali umeritvene krivulje za vse 4 katione. Za vsak kation smo si izrisali dve umeritveni krivulji, in sicer eno z ožjim koncentracijskim območjem in eno s širšim koncentracijskim območjem. Za vsako umeritveno krivuljo smo tako pridobili enačbo premice, ki smo jo uporabili za izračun masnih koncentracij kationov v posameznih vzorcih na podlagi njihovega povprečnega signala. Enačbe umeritvenih krivulj in grafi le teh so opisani v poglavju 4.1. Za vsako umeritveno krivuljo smo preverili tudi točnost na nizkem, srednjem in visokem koncentracijskem nivoju. Točnost meritev smo izračunali preko izračuna izkoristka (Re) po enačbi 2.

$$\text{Re (\%)} = 100 \cdot (y_{\text{izračunana}} / y_{\text{teoretična}}) \quad (2)$$

Prav tako smo izračunali Re za spike recovery test, ki smo ga naredili z dodatkom znane količine raztopine standarda. Na ta način smo preverili točnost naših meritev vzorcev. Točnost nam razmerje med izračunano in teoretično vrednostjo meritev. Metoda je točna, če je Re v območju med 80,00 % in 120,00 % [26]. Re za spike recovery test smo izračunali po enačbi 2, kjer nam je $y_{\text{izračunana}}$ predstavljal izračunano masno koncentracijo vzorca z dodano znano količino raztopine standarda, $y_{\text{teoretična}}$ pa je predstavljal izračunano masno koncentracijo osnovnega vzorca, ki smo mu prišteli dodano znano količino raztopine standarda. Ta je bila 2 mg/L za K^+ , 5 mg/L za Na^+ , 10 mg/L za Ca^{2+} in 10 mg/L za Mg^{2+} .

Preverili smo tudi natančnost meritev, ki smo jo določili z izračunom relativnega standardnega odmika (RSD). Natančnost meritev nam pove razpršenost naših podatkov pod določenimi pogoji meritev. Meritve so natančne, kadar je RSD manjši od 20,00 %. RSD smo izračunali po enačbi 3.

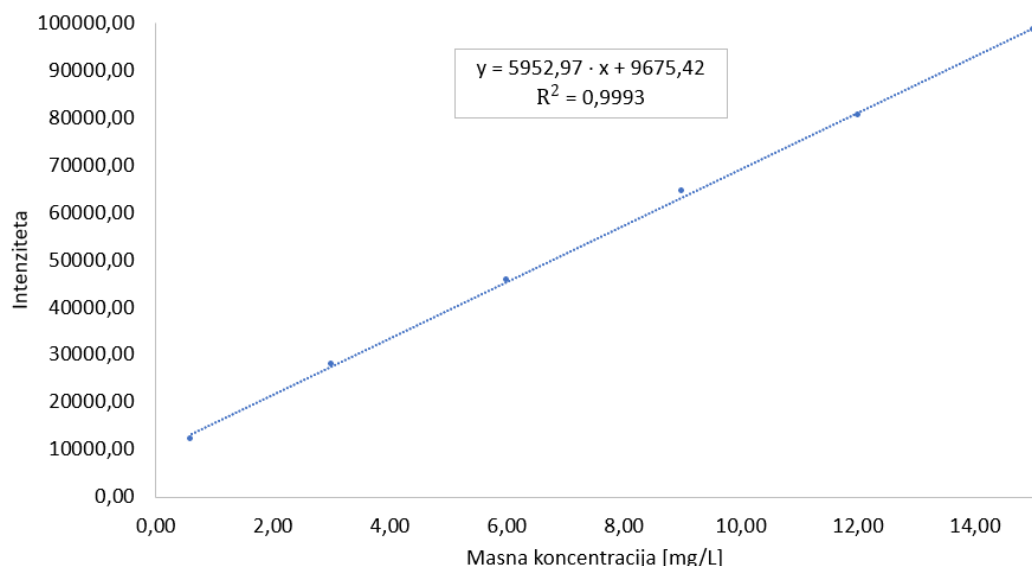
$$\text{RSD (\%)} = 100 \cdot (s/\bar{x}) \quad (3)$$

4.1 Umeritvene krivulje

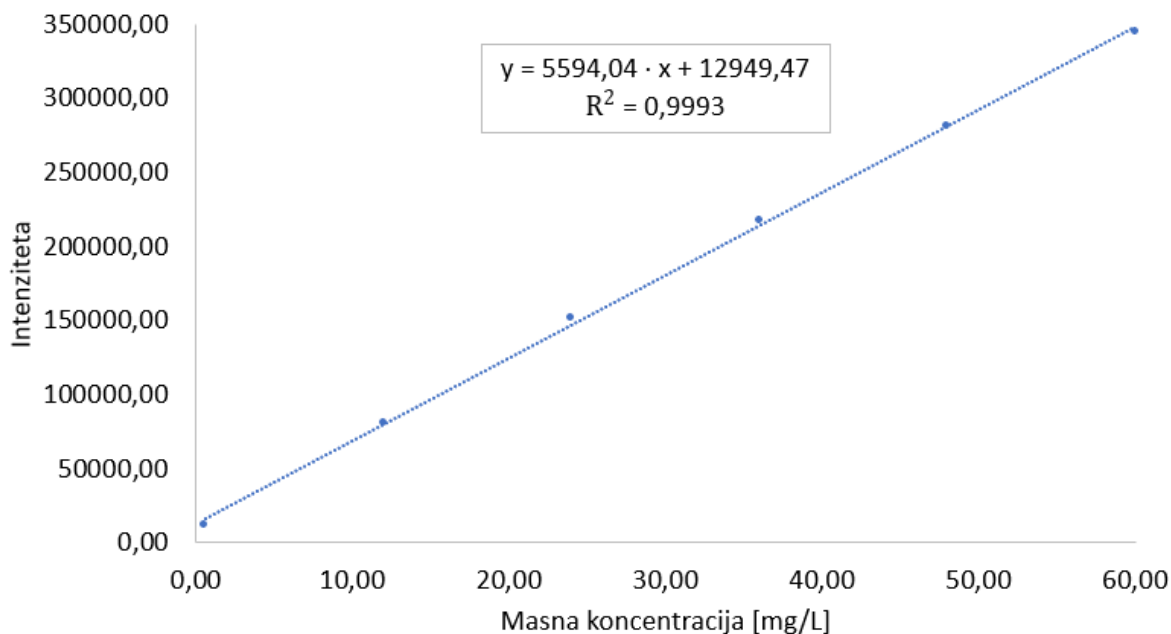
Pripravili smo si dve umeritveni krivulji za vse 4 katione, saj vrednosti masnih koncentracij v vzorcih vode zelo nihajo. Pripravljena umeritvena krivulja je bila linearna, če je bila vrednost R^2 večja od 0,9900. Iz povprečne intenzitete meritev vzorcev smo si izračunali masno koncentracijo po obeh enačbah, torej po enačbi za ožje koncentracijsko območje in za širše koncentracijsko območje. V primeru, da je masna koncentracija vzorca padla znotraj linearne območja umeritvene krivulje za ožje koncentracijsko območje, smo upoštevali to vrednost, v nasprotnem primeru smo upoštevali masno koncentracijo, izračunano po enačbi za umeritveno krivuljo za širše koncentracijsko območje.

4.1.1 Na^+ umeritvena krivulja

Umeritvena krivulja za Na^+ ; ožje koncentracijsko območje, je imela linearno območje med 0,60 mg/L in 15,00 mg/L (slika 16), medtem ko je imela umeritvena krivulja za Na^+ ; širše koncentracijsko območje, linearno območje med 0,60 mg/L in 60,00 mg/L (slika 17). Umeritvena krivulja Na^+ ; ožje koncentracijsko območje, je imela $R^2 = 0,9993$, medtem ko je imela umeritvena krivulja za Na^+ ; širše koncentracijsko območje $R^2 = 0,9993$.



Slika 16: Umeritvena krivulja za Na⁺; ožje koncentracijsko območje.



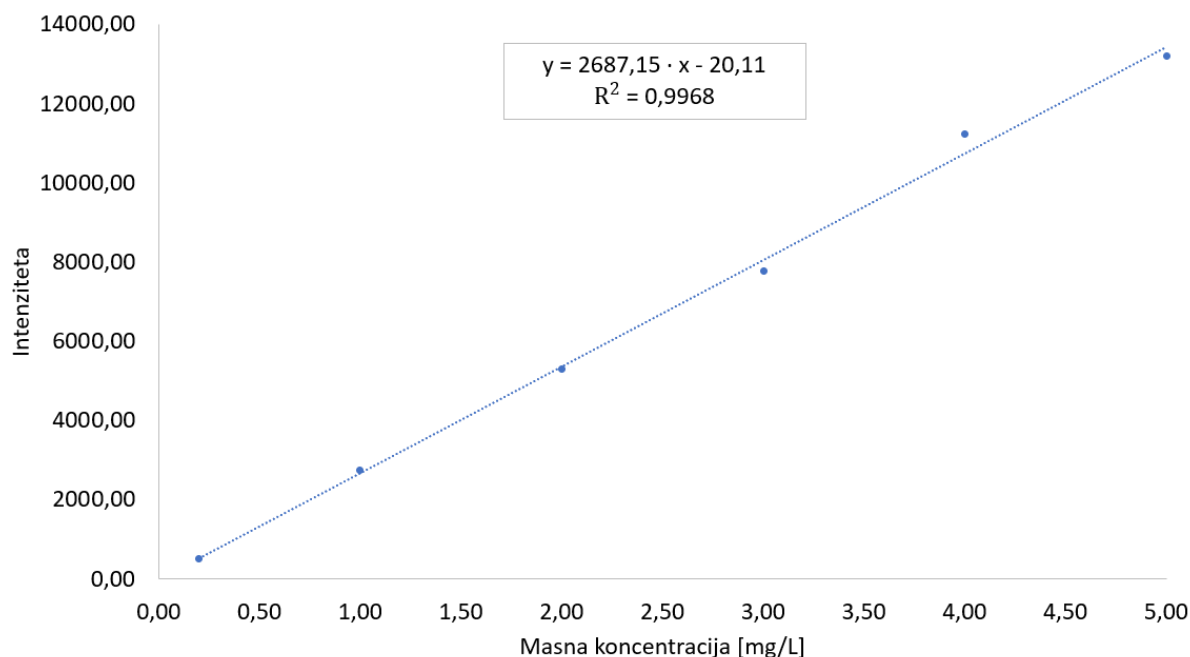
Slika 17: Umeritvena krivulja za Na⁺; širše koncentracijsko območje.

Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za Na⁺; ožje koncentracijsko območje, so bili izkoristki 101,14 % pri 1,20 mg/L, 102,82 % pri 7,50 mg/L in 98,38 % pri 13,50 mg/L.

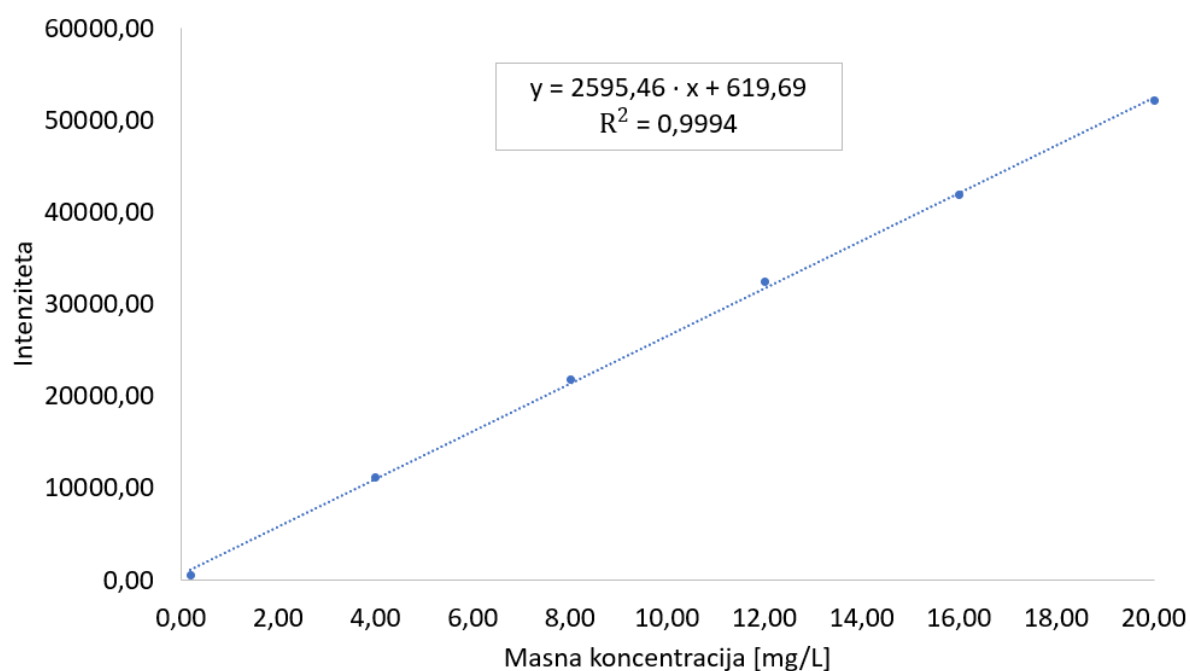
Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za Na⁺; širše koncentracijsko območje, so bili izkoristki 97,57 % pri 6,00 mg/L, 101,35 % pri 30,00 mg/L in 100,46 % pri 54,00 mg/L.

4.1.2 K⁺ umeritvena krivulja

Umeritvena krivulja za K⁺; ožje koncentracijsko območje je imela linearno območje med 0,20 mg/L in 5,00 mg/L (slika 18), medtem ko je imela umeritvena krivulja za K⁺; širše koncentracijsko območje, linearno območje med 0,20 mg/L in 20,00 mg/L (slika 19). Umeritvena krivulja K⁺; ožje koncentracijsko območje, je imela R² = 0,9968, medtem ko je imela umeritvena krivulja za K⁺; širše koncentracijsko območje R² = 0,9994.



Slika 18: Umeritvena krivulja K⁺; ožje koncentracijsko območje.

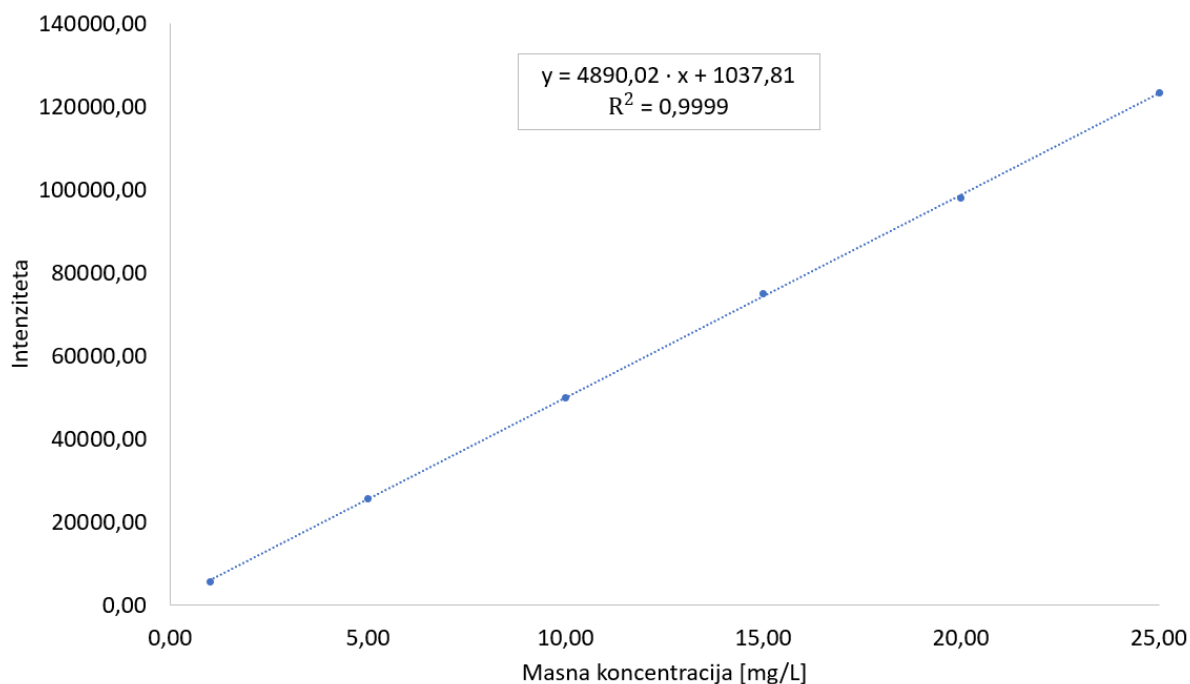


Slika 19: Umeritvena krivulja K⁺; širše koncentracijsko območje.

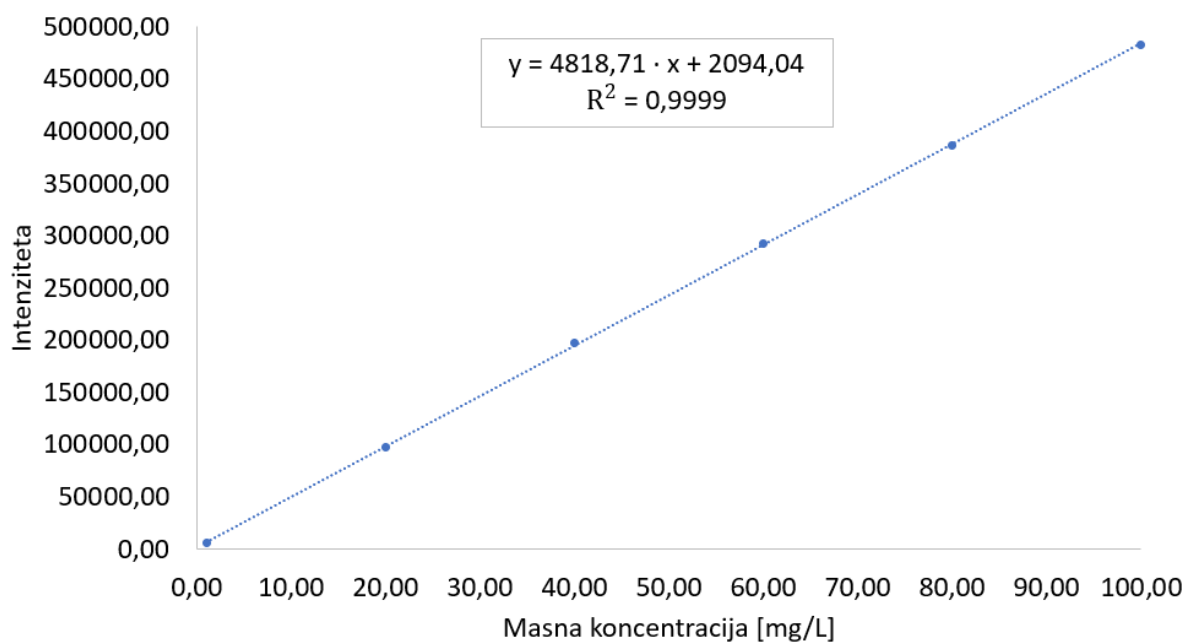
Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za K⁺; ožje koncentracijsko območje, so bili izkoristki 113,23 % pri 0,40 mg/L, 97,66 % pri 2,50 mg/L in 99,51 % pri 4,50 mg/L. Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za K⁺; ožje koncentracijsko območje, so bili izkoristki 91,90 % pri 3,00 mg/L, 98,62 % pri 10,00 mg/L in 100,44 % pri 18,00 mg/L.

4.1.3 Ca²⁺ umeritvena krivulja

Umeritvena krivulja za Ca²⁺; ožje koncentracijsko območje je imela linearno območje med 1,00 mg/L in 25,00 mg/L (slika 20), medtem ko je imela umeritvena krivulja za Ca²⁺; širše koncentracijsko območje, linearno območje med 1,00 mg/L in 100,00 mg/L (slika 21). Umeritvena krivulja Ca²⁺; ožje koncentracijsko območje, je imela $R^2 = 0,9999$, medtem ko je imela umeritvena krivulja za Ca²⁺; širše koncentracijsko območje $R^2 = 0,9999$.



Slika 20: Umeritvena krivulja Ca²⁺; ožje koncentracijsko območje.



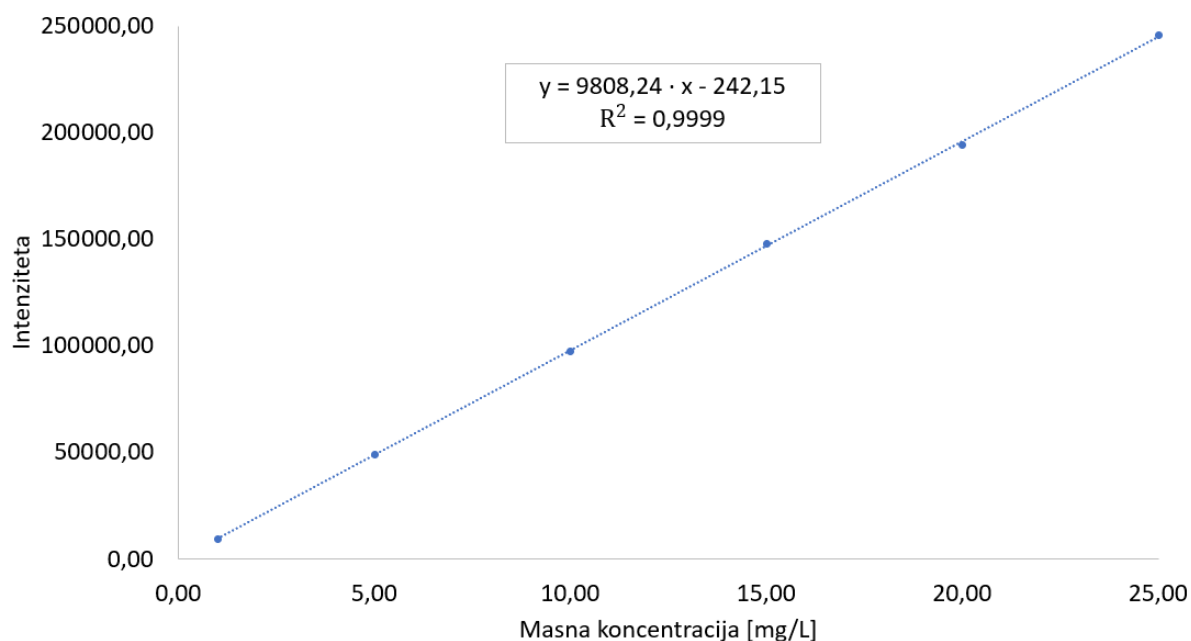
Slika 21: Umeritvena krivulja Ca²⁺; širše koncentracijsko območje.

Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za Ca^{2+} ; ožje koncentracijsko območje, so bili izkoristki 101,22 % pri 2,00 mg/L, 101,68 % pri 12,50 mg/L in 99,87 % pri 22,50 mg/L.

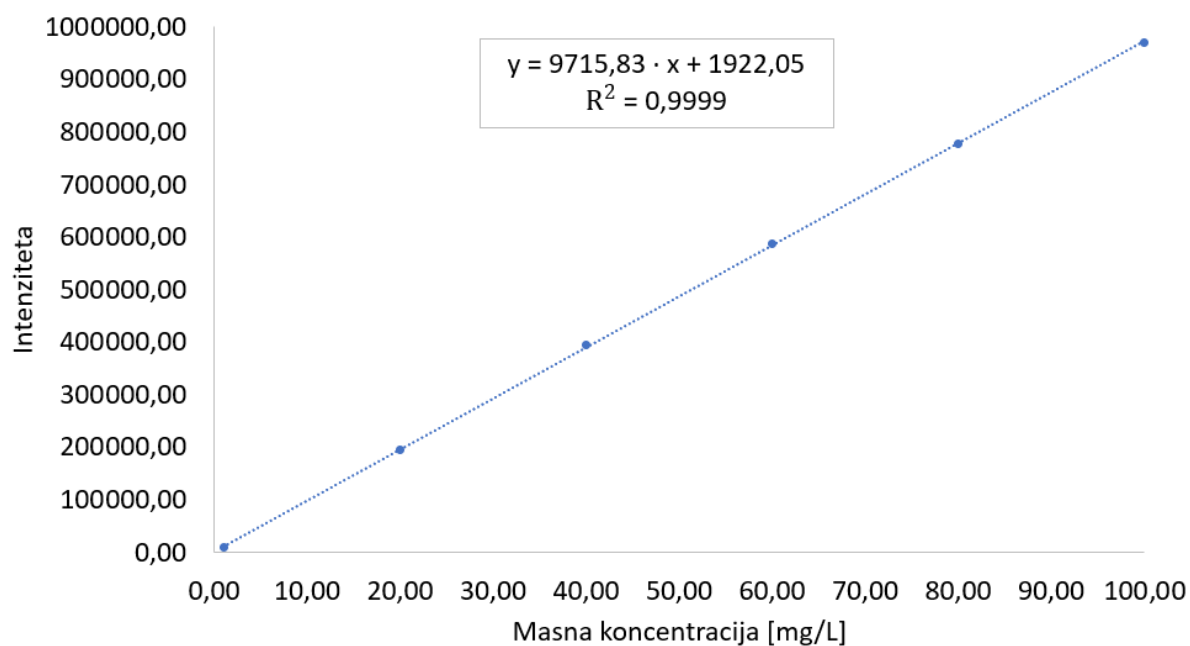
Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za Ca^{2+} ; širše koncentracijsko območje, so bili izkoristki 97,97 % pri 5,00 mg/L, 101,17 % pri 50,00 mg/L in 99,94 % pri 90,00 mg/L.

4.1.4 Mg^{2+} umeritvena krivulja

Umeritvena krivulja za Mg^{2+} ; ožje koncentracijsko območje, je imela linearno območje med 1,00 mg/L in 25,00 mg/L (slika 22), medtem ko je imela umeritvena krivulja za Mg^{2+} ; širše koncentracijsko območje, linearno območje med 1,00 mg/L in 100,00 mg/L (slika 23). Umeritvena krivulja Mg^{2+} ; ožje koncentracijsko območje, je imela $R^2 = 0,9999$, medtem ko je imela umeritvena krivulja za Mg^{2+} ; širše koncentracijsko območje $R^2 = 0,9999$.



Slika 22: Umeritvena krivulja Mg^{2+} ; ožje koncentracijsko območje.



Slika 23: Umeritvena krivulja Mg^{2+} ; širše koncentracijsko območje.

Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za Mg^{2+} ; ožje koncentracijsko območje, so bili izkoristki 100,13 % pri 2,00 mg/L, 101,60 % pri 12,50 mg/L in 100,02 % pri 22,50 mg/L.

Pri preverjanju točnosti za umeritveno krivuljo za Mg^{2+} ; ožje koncentracijsko območje, so bili izkoristki 98,41 % pri 10,00 mg/L, 101,06 % pri 50,00 mg/L in 99,94 % pri 90,00 mg/L.

4.2 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev

4.2.1 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za Na⁺

Tabela 5: Vsebnost Na⁺ v vzorcih vode.

Številka vzorca vode	Izmerjena koncentracija [mg/L]	Poročana vrednost na embalaži [mg/L]	Ujemanje izmerjene vrednosti s poročano vrednostjo [%]	Re [%] spike recovery test
1	<0,60	1	/	/
2	15,38 ± 0,04	/	/	99,31%
3	6,46 ± 0,03	6,5	99,35%	91,27%
4	6,41 ± 0,01	6,9	92,83%	94,25%
5	73,96 ± 0,40	60	123,26%	96,03%
6	1497,66 ± 0,67	1700	88,10%	96,67%
7	3,36 ± 0,02	4,9	68,50%	99,94%
8	1,01 ± 0,01	1,1	91,61%	104,75%
9	17,55 ± 0,03	21,9	80,12%	95,46%
10	44,67 ± 0,05	48,3	92,48%	97,38%
11	90,69 ± 0,13	116	78,18%	97,71%
12	<0,60	/	/	/
13	<0,60	/	/	/
14	781,76 ± 14,52	825	94,76%	98,09%
15	7,75 ± 0,03	9,6	80,72%	95,91%
16	439,68 ± 0,16	470	93,55%	99,38%
17	103,52 ± 0,12	91,5	113,14%	97,44%
18	0,74 ± 0,02	/	/	94,32%
19	1,70 ± 0,00	/	/	92,55%
20	5,17 ± 0,03	5,9	87,64%	99,20%
21	30,06 ± 0,03	30	100,19%	98,19%

Metoda za določevanje Na⁺ je bila točna, saj so bilo vsi izračunani Re v območju med 80,00 % in 120,00 %. Re nismo računali v primeru, ko je izračunana masna koncentracija bila nižja od najnižje točke umeritvene krivulje (0,60 mg/L).

Metoda za določevanje Na⁺ je bila natančna, saj so bili vsi izračunani RSDji pod 20,00 %.

4.2.2 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za K⁺

Tabela 6: Vsebnost K⁺ v vzorcih vode.

Številka vzorca vode	Izmerjena koncentracija [mg/L]	Poročana vrednost na embalaži [mg/L]	Ujemanje izmerjene vrednosti s poročano vrednostjo [%]	Re [%] spike recovery test
1	0,21 ± 0,03	1	20,73%	91,13%
2	4,34 ± 0,04	/	/	93,31%
3	0,96 ± 0,02	1	95,61%	90,38%
4	0,68 ± 0,03	0,7	96,82%	91,73%
5	12,44 ± 0,46	/	/	92,72%
6	10,22 ± 0,24	/	/	86,49%
7	0,66 ± 0,01	0,8	82,87%	89,71%
8	1,88 ± 0,04	1,9	99,20%	100,12%
9	2,00 ± 0,10	3	66,57%	89,19%
10	< 0,2	< 0,5	/	/
11	5,50 ± 0,07	8,2	67,12%	87,66%
12	2,94 ± 0,05	/	/	99,48%
13	4,38 ± 0,10	/	/	97,36%
14	22,58 ± 0,75	27	83,65%	99,81%
15	< 0,2	< 1	/	/
16	65,57 ± 0,53	75	87,43%	94,86%
17	8,46 ± 0,06	7,5	112,80%	95,71%
18	0,23 ± 0,02	/	/	91,08%
19	0,44 ± 0,00	1,3	34,08%	86,97%
20	0,89 ± 0,02	0,99	90,23%	86,60%
21	2,19 ± 0,02	/	/	89,76%

Metoda za določevanje K⁺ je bila točna, saj so bilo vsi izračunani Re v območju med 80,00 % in 120,00 %. Re nismo računali v primeru, ko je izračunana masna koncentracija bila nižja od najnižje točke umeritvene krivulje (pod 0,20 mg/L). Re so v primeru K⁺ v povprečju najbolj odstopali od 100,00 %, vendar so kljub temu bili znotraj zastavljenih mej. Odstopanje bi lahko pripisali sami pripravi vzorca, saj smo v 10 mL stekleno bučko dodali le 20 µL raztopine standarda K⁺ in bi potencialno lahko prišlo do napake pri pipetiranju tako majhnega volumna. Metoda za določevanje K⁺ je bila natančna, saj so bili vsi izračunani RSDji pod 20,00 %.

4.2.3 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za Ca^{2+}

Tabela 7: Vsebnost Ca^{2+} v vzorcih vode.

Številka vzorca vode	Izmerjena koncentracija [mg/L]	Poročana vrednost na embalaži [mg/L]	Ujemanje izmerjene vrednosti s poročano vrednostjo [%]	Re [%] spike recovery test
1	62,55 ± 0,05	70	89,36%	97,20%
2	17,82 ± 0,07	/	/	97,52%
3	80,99 ± 0,01	80	101,24%	97,64%
4	56,34 ± 0,01	59	95,49%	97,73%
5	354,98 ± 0,15	340	104,41%	97,66%
6	350,69 ± 0,93	430	81,56%	98,25%
7	61,07 ± 0,14	61	100,11%	97,95%
8	7,24 ± 0,02	7,9	91,60%	99,93%
9	130,59 ± 0,11	133	98,19%	97,86%
10	1,91 ± 0,00	3	63,51%	100,49%
11	230,48 ± 0,01	265,5	86,81%	98,27%
12	3,63 ± 0,02	/	/	102,46%
13	64,75 ± 0,03	/	/	97,70%
14	98,62 ± 1,79	109	90,48%	99,57%
15	158,32 ± 0,11	150	105,55%	97,75%
16	203,16 ± 0,10	210	96,74%	100,38%
17	204,42 ± 0,33	228,6	89,42%	97,92%
18	14,12 ± 0,03	/	/	98,57%
19	49,17 ± 0,00	51	96,41%	97,75%
20	50,64 ± 0,05	49,8	101,69%	97,63%
21	170,80 ± 0,07	166	102,89%	97,81%

Metoda za določevanje Ca^{2+} je bila točna, saj so bilo vsi izračunani Re v območju med 80,00 % in 120,00 %. Re nismo računali v primeru, ko je izračunana masna koncentracija bila nižja od najnižje točke umeritvene krivulje (pod 1,00 mg/L).

Metoda za določevanje Ca^{2+} je bila natančna, saj so bili vsi izračunani RSDji pod 20,00 %.

4.2.4 Masne koncentracije kationov, ujemanje s poročanimi vrednostmi, točnost in natančnost meritev za Mg^{2+}

Tabela 8: Vsebnost Mg^{2+} v vzorcih vode.

Številka vzorca vode	Izmerjena koncentracija [mg/L]	Poročana vrednost na embalaži [mg/L]	Ujemanje izmerjene vrednosti s poročano vrednostjo [%]	Re [%] spike recovery test
1	21,11 ± 0,02	24	87,96%	97,78%
2	13,74 ± 0,01	/	/	97,87%
3	26,42 ± 0,00	26	101,62%	98,01%
4	20,23 ± 0,03	20	101,15%	98,04%
5	103,59 ± 0,12	96,4	107,46%	97,36%
6	918,55 ± 3,03	1000	91,86%	97,78%
7	17,97 ± 0,04	18	99,83%	97,32%
8	< 1,00	0,4	/	/
9	60,80 ± 0,07	65,2	93,25%	97,83%
10	< 1,00	0,1	/	/
11	147,45 ± 0,25	193	76,40%	96,87%
12	1,49 ± 0,01	/	/	96,32%
13	4,50 ± 0,02	/	/	96,50%
14	36,98 ± 0,58	40	92,45%	97,15%
15	3,44 ± 0,03	3,9	88,09%	96,62%
16	82,76 ± 0,44	90	91,96%	98,80%
17	115,55 ± 0,10	103,5	111,64%	97,53%
18	4,90 ± 0,08	/	/	97,12%
19	1,15 ± 0,00	1,6	71,94%	98,24%
20	28,27 ± 0,00	28,5	99,18%	97,66%
21	41,64 ± 0,03	49,5	84,12%	95,24%

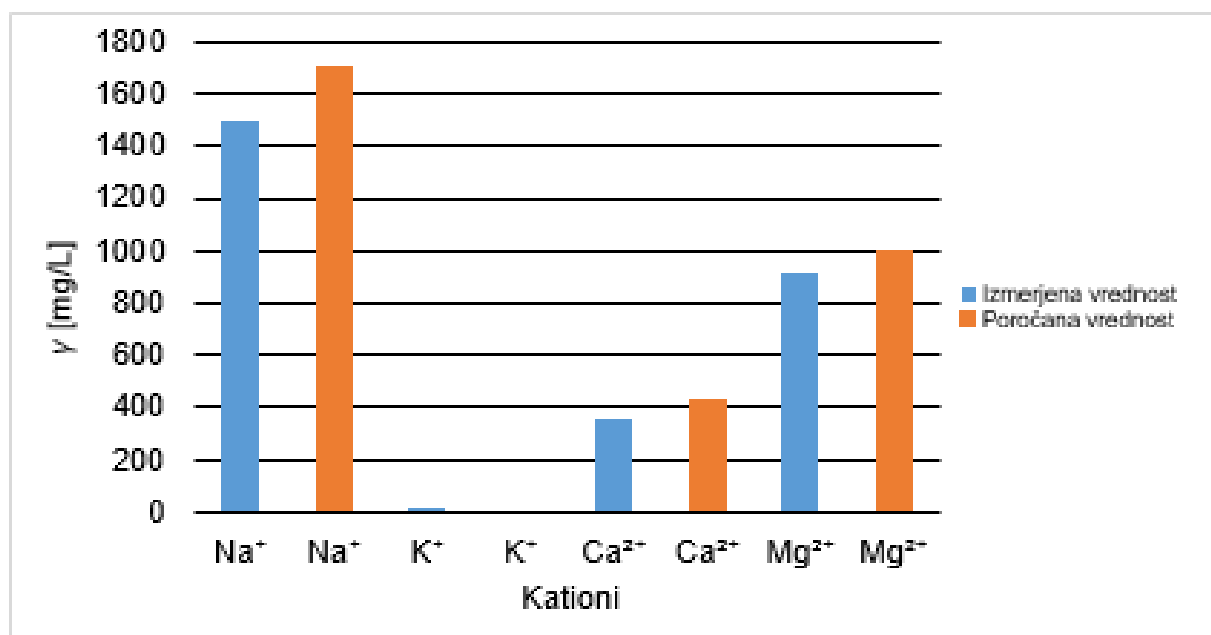
Metoda za določevanje Mg^{2+} je bila točna, saj so bilo vsi izračunani Re v območju med 80,00 % in 120,00 %. Re nismo računali v primeru, ko je izračunana masna koncentracija bila nižja od najnižje točke umeritvene krivulje (pod 1,00 mg/L).

Metoda za določevanje Mg^{2+} je bila natančna, saj so bili vsi izračunani RSDji pod 20,00 %.

5 Interpretacija rezultatov

5.1 Primerjava izmerjenih in poročanih masnih koncentracij v vzorcu 6

Po izvedbi meritev z IC in izračunu vseh potrebnih parametrov smo zbrali rezultate in jih sistematično pregledali. Masne koncentracije posameznih kationov v vzorcih vode smo primerjali med sabo ter prišli do posameznih ugotovitev. Najzanimivejše ugotovitve smo v nadaljevanju prikazali s pomočjo preglednic in grafov.



Slika 24: Primerjava izmerjenih in poročanih masnih koncentracij v vzorcu 6.

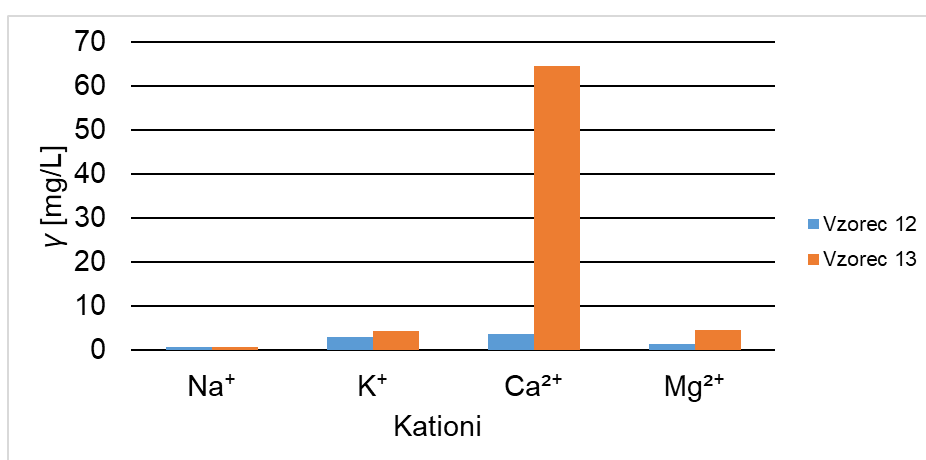
V prikazanemu stolpčnem diagramu na sliki 24 so z modro barvo prikazane izmerjene vrednosti posameznih kationov v mg/L, z oranžno barvo pa so predstavljene poročane vrednosti na etiketi vode v plastenki v mg/L za vzorec 6, v katerem je bila največja celokupna koncentracija preiskovanih kationov. Za masno koncentracijo K^+ na etiketi nimamo podane vrednosti. Razlike med izmerjenimi masnimi koncentracijami kationov so velike, npr. Na^+ je v preučevanem vzorcu vode skoraj 147-krat več kot K^+ . Z meritvami z ionskim kromatografom smo dokazali, da je vsebnost Mg^{2+} v vzorcu $918,55 \pm 3,03$ mg/L, kar pomeni, da je ujemanje izmerjene vrednosti s poročano vrednostjo na etiketi 91,86 %. Ujemanje Na^+ s poročano vrednostjo je bilo 88,10 %, medtem ko je bilo ujemanje Ca^{2+} 81,56 %. Vidimo, da so v vzorcu vode prisotna majhna odstopanja od poročanih vrednosti, vendar so le ta znotraj predvidenih mej. Vzorec 6 je za namene meritev bil redčen za velik faktor, zato bi deloma odstopanje lahko pripisali tudi samemu redčenju, saj bi že majhna razlika v volumnu razredčenega vzorca lahko vplivala na drugačno izračunano koncentracijo.

5.2 Primerjava ameriške in slovenske pitne vode

V zadnjem času je predvsem med mlajšo populacijo postala priljubljena voda istega proizvajalca v vzorcu 12 in vzorcu 13. Naredili smo analizo vode, kupljene v Sloveniji, in enakega izdelka, kupljenega v ZDA. Ob tem je potrebno izpostaviti, da ta voda ni ne izvirnska, naravna mineralna ali namizna, temveč se uvršča v kategorijo pitna voda. Zanimiv je tudi način

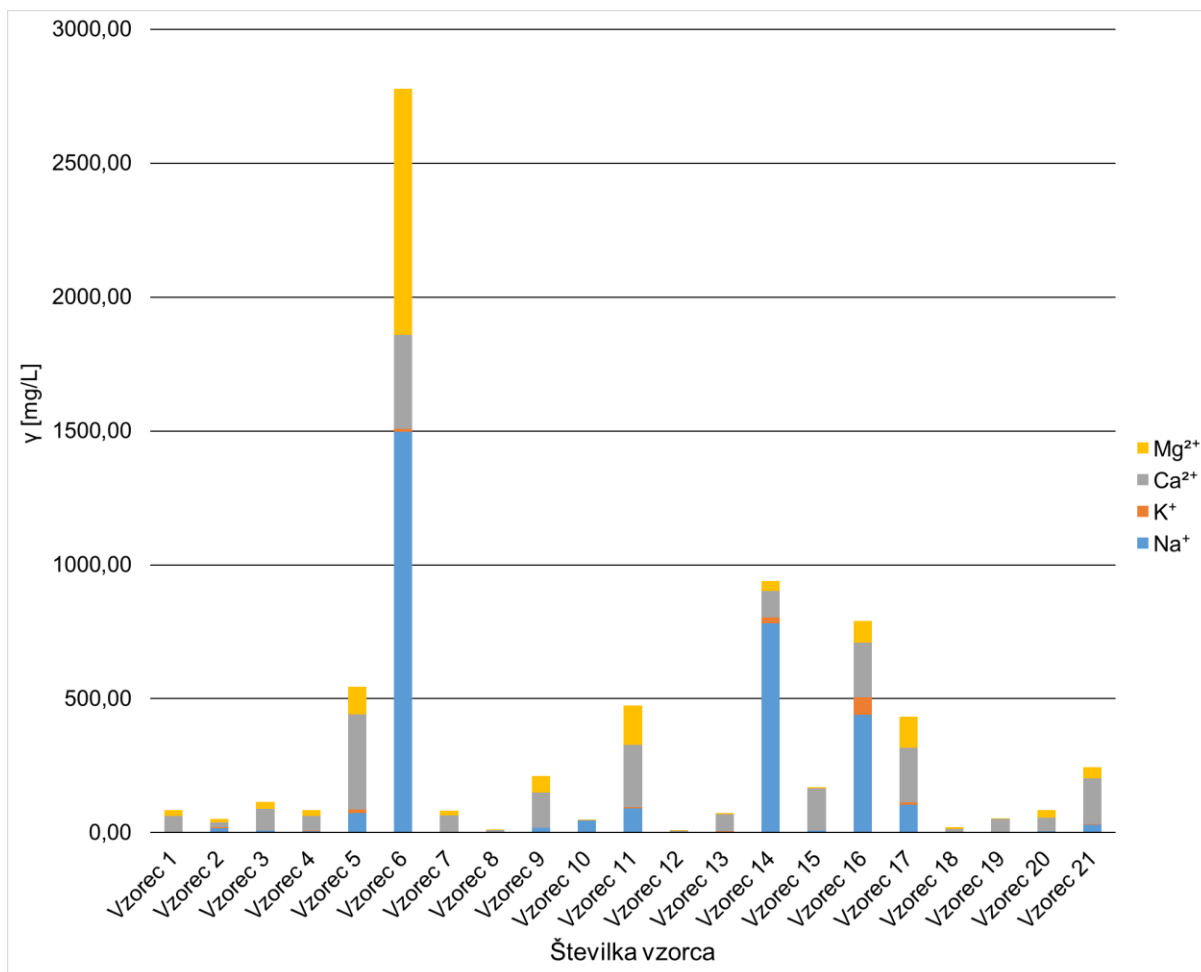
priprave te vode. Vodo, pridobljeno iz vodnega izvira, najprej uparijo, da dobijo tako imenovano »čisto« vodo, vodno paro nato kondenzirajo in ji nato po želji dodajo posamezne topljence, kot so soli alkalijskih in zemeljsko-alkalijskih kovin. Vsebnosti kationov proizvajalec te vode na nobenem izdelku ne navaja.

Čeprav gre za enako vodo istega proizvajalca, so nas rezultati zelo presenetili. Kot je vidno iz grafa na sliki 25, je masna koncentracija Ca^{2+} v vzorcu 13 (izvor: Slovenija) bistveno večja, kakor v vzorcu 12 (izvor: ZDA). Ta podatek je še posebej zanimiv, če izhajamo iz dejstva, da proizvajalec po lastni izbiri dodaja posamezne katione. Tudi vsebnost Mg^{2+} in K^{+} je v slovenski različici večja. Vsebnost Na^{+} pa je bila v obeh primerih nižja od najnižje točke umeritvene krivulje (0,60 mg/L). Glede na rezultate lahko sklepamo, da kljub temu, da gre za vodo istega proizvajalca, se za evropski in ameriški trg ne držijo enakih standardov kvalitete. Voda, pripravljena za evropski trg, boljše vpliva na naše telo, saj z njo vnesemo v telo večje količine mineralov (predvsem Ca^{2+}) kakor z ameriško verzijo.



Slika 25: Primerjava izmerjenih masnih koncentracij ionov med vzorcem 12 in vzorcem 13.

5.3 Primerjava celokupne masne koncentracije kationov v vseh analiziranih vzorcih



Slika 26: Primerjava celokupne masne koncentracije kationov v vseh analiziranih vzorcih.

V naslednji primerjavi smo med seboj sešteli masne koncentracije vseh štirih analiziranih kationov (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+}) in jih prikazali na grafu (slika 26). Celokupno masno koncentracijo kationov v posameznem vzorcu smo izračunali po enačbi 4.

$$\gamma_s = \gamma_{\text{Na}^+} + \gamma_{\text{K}^+} + \gamma_{\text{Mg}^{2+}} + \gamma_{\text{Ca}^{2+}} \quad (4)$$

kjer je:

γ_s celokupna masna koncentracija kationov [mg/L]

γ_{Na^+} masna koncentracija Na^+ [mg/L]

γ_{K^+} masna koncentracija K^+ [mg/L]

$\gamma_{\text{Mg}^{2+}}$ masna koncentracija Mg^{2+} [mg/L]

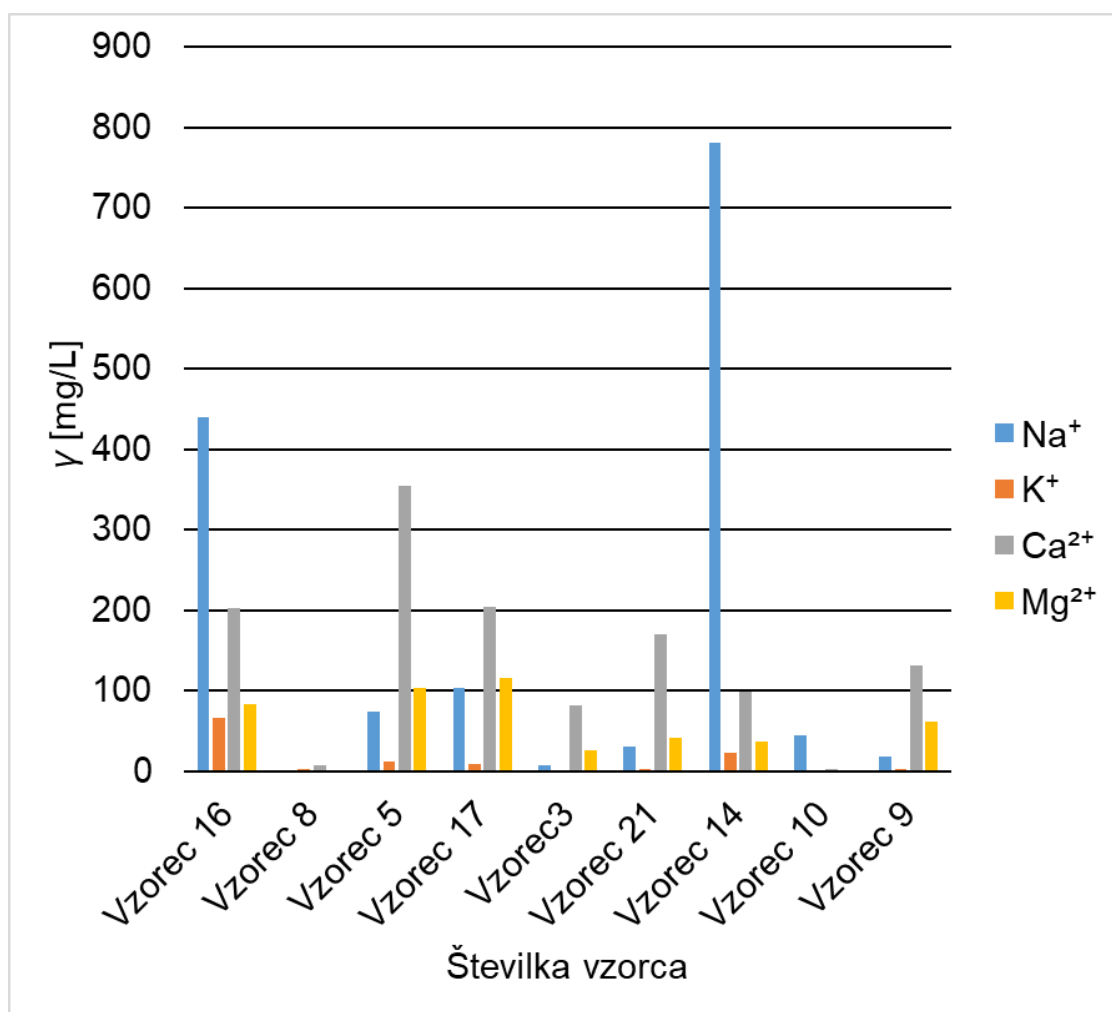
$\gamma_{\text{Ca}^{2+}}$ masna koncentracija Ca^{2+} [mg/L]

Največjo celokupno koncentracijo kationov je imel vzorec 6 ($2777,12 \pm 4,87$ mg/L). Na drugem mestu je bil vzorec 14 ($939,95 \pm 17,64$ mg/L) in na tretjem mestu vzorec 16 ($791,18 \pm 1,24$ mg/L). Vsi trije vzorci so naravne mineralne vode, vzorca 6 in 16 prihajata iz Slovenije ter vzorec 14 iz Hrvaške. Najmanjšo celokupno koncentracijo kationov je imel vzorec 12 ($8,06 \pm 0,08$ mg/L). Sledita mu vzorec 8 ($10,13 \pm 0,07$ mg/L) in vzorec 18 ($19,99 \pm 0,15$ mg/L). Vzorec

12 je pitna voda iz Združenih držav Amerike, vzorec 8 je naravna mineralna voda iz Norveške, vzorec 18 je izvorska voda iz Turčije. Ti vzorci imajo najnižje vrednosti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+} izmed vseh analiziranih vzorcev vod. Vsi trije vzorci z najmanjšimi celokupnimi koncentracijami ionov se razlikujejo po državi izvora in po vrsti, v katero jih uvrščamo. Presenetilo nas je, da je najbolj osiromašena voda s kationi prav voda, ki se jo oglašuje kot naravna mineralna voda, saj naravne mineralne vode po navadi vsebujejo večje koncentracije kationov. Iz seštevka masnih koncentracij je razvidno, da imajo najvišje celokupne koncentracije kationov naravne mineralne vode, vendar so opazna odstopanja, saj imajo nekatere naravne mineralne vode presenetljivo nizko vsebnost mineralov.

5.4 Primerjava evropskih naravnih mineralnih vod

Zanimalo nas je tudi, ali je kakšna razlika med naravnimi mineralnimi vodami v Evropi. Predvidevali smo, da se mineralne vode bistveno ne razlikujejo po svoji sestavi in da vsebujejo visoke masne koncentracije posameznih kationov v primerjavi z ostalimi vrstami vod. Rezultati meritev so pokazali zanimivo sliko, saj se masne koncentracije pomejenih vzorcev vode zelo razlikujejo med seboj. Pri nekaterih naravnih mineralnih vodah prevladuje Na^+ (vzorca 16 in 14), medtem ko v večini drugih vod prevladuje Ca^{2+} .

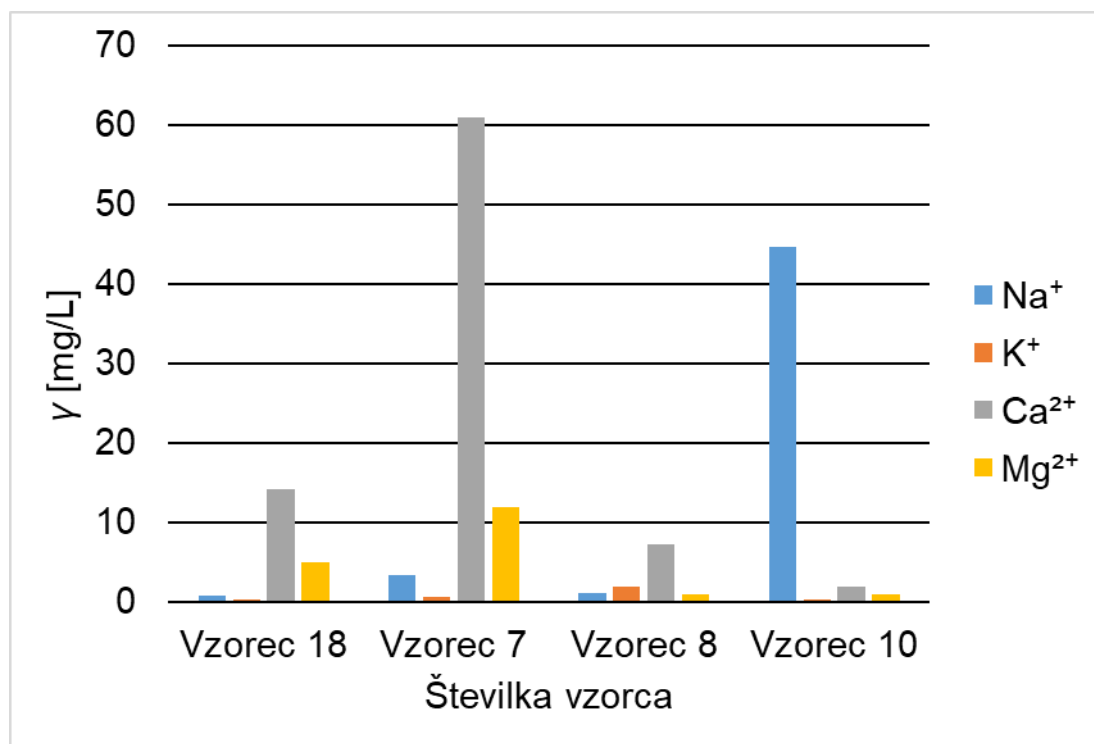


Slika 27: Primerjava evropskih naravnih mineralnih vod.

V tej primerjavi smo zajeli 9 različnih vzorcev iz 9 različnih držav, in sicer: vzorec 16 – Slovenija, vzorec 8 – Norveška, vzorec 5 – Romunija, vzorec 17 – Češka, vzorec 3 – Francija, vzorec 21 – Italija, vzorec 14 – Hrvaška, vzorec 10 – Srbija in vzorec 9 – Avstrija (slika 27). Opazili smo očitne razlike v vsebnosti Na^+ , saj sta izstopali vodi iz Hrvaške in Slovenije, z največjima koncentracijama tega kationa. V vseh ostalih vzorcih je bila koncentracija Na^+ veliko manjša, in sicer manj kot $103,52 \pm 0,12 \text{ mg/L}$. Vrednosti K^+ in Mg^{2+} so bile v vseh primerih dokaj nizke, najvišja vrednost je imel vzorec 17 z masno koncentracijo $115,55 \pm 0,10 \text{ mg/L}$. Visoko vsebnost Ca^{2+} smo izmerili v vzorcu 5 ($354,98 \pm 0,15 \text{ mg/L}$), vzorcu 17 ($204,42 \pm 0,33 \text{ mg/L}$) in vzorcu 21 ($170,80 \pm 0,07 \text{ mg/L}$). Najnižjo celokupno vrednost raztopljenih kationov izmed teh devetih izbranih vod imata vodi iz Norveške in Srbije. To je še posebej zanimivo, saj je vsem devetim preučevanim vodam skupen napis na embalaži – naravna mineralna voda, razlike v koncentraciji pa so zelo očitne.

Naravni mineralni vodi iz Srbije in Norveške imata tako majhno vsebnost raztopljenih kationov, da smo ju naknadno primerjali z izvirskima vodama iz Slovenije in Turčije.

5.5 Primerjava dveh naravnih mineralnih in dveh izvirskih vod

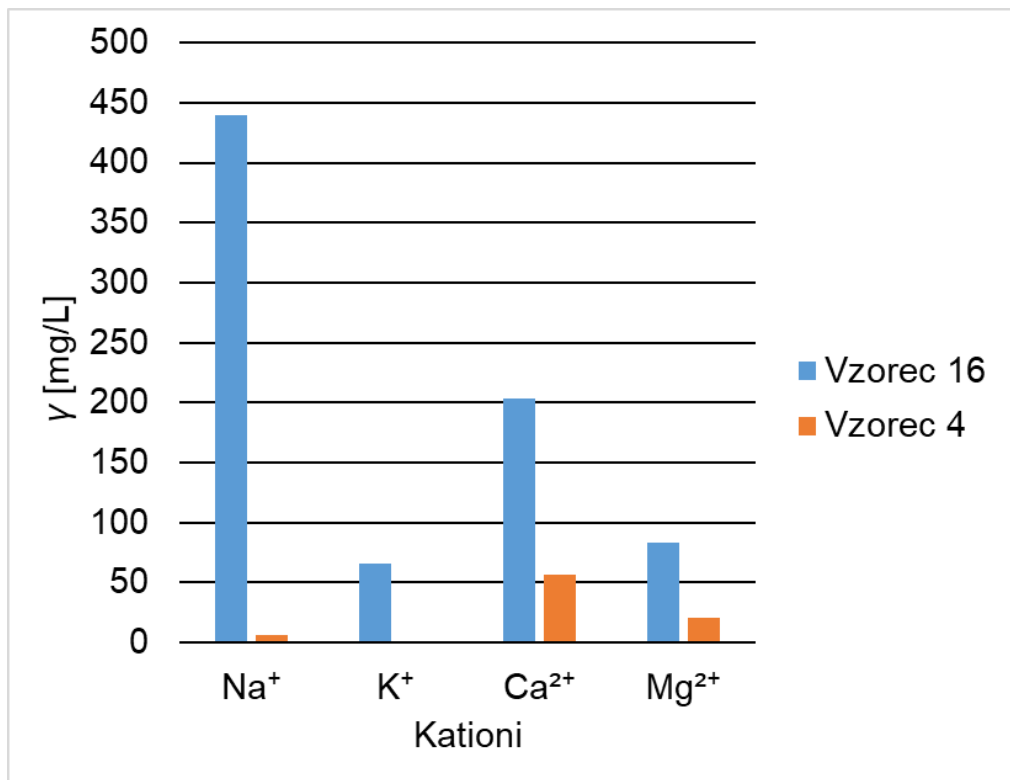


Slika 28: Primerjava dveh naravnih mineralnih in dveh izvirskih vod.

Vzorec 18 je izvirski voda iz Turčije in vzorec 7 izvirski voda iz Slovenije. Če ju primerjamo z naravnima mineralnima vodama iz Norveške (vzorec 8) in Srbije (vzorec 10), ugotovimo, da imata izvirski vodi podobno ali celo višjo masno koncentracijo raztopljenih kationov kot naravna mineralna voda iz Norveške. Prav tako imata izvirski vodi večjo vsebnost K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+} kot naravna mineralna voda iz Srbije. Vzorec naravne mineralne vode iz Srbije izstopa le v masni koncentraciji Na^+ , ki je nekajkrat večja od vsebnosti Na^+ v ostalih treh vzorcih.

5.6 Primerjava vod enakega slovenskega proizvajalca

V naslednjo primerjavo smo vključili slovenski naravni mineralni vodi, ki ju polni isto podjetje, vendar je ena voda gazirana naravna mineralna voda, medtem ko je druga negazirana naravna mineralna voda, zato tudi sklepamo, da bo sestava kationov v vzorcih različna.



Slika 29: Primerjava dveh naravnih mineralnih vod istega podjetja.

Vzorca 16 in 4 sta naravni mineralni vodi, ki ju polni isto podjetje, vendar se po vsebnosti kationov močno razlikujeta. Vsebnost K⁺ je v vzorcu 16 96-krat večja kot v vzorcu 4. Masna koncentracija Na⁺ v vzorcu 16 je 68-krat večja kot v vzorcu 4. Koncentraciji Mg²⁺ Ca²⁺ sta v vzorcu 16 4- in 3-krat večji v primerjavi z vzorcem 4. Ujemanja izmerjenih masnih koncentracij posameznih kationov s poročanimi vrednostmi so med 87,43 % in 101,15 %, kar pomeni, da so podatki točni glede na poročane vrednosti.

5.6 Vode z največjimi in najmanjšimi koncentracijami posameznih kationov

Tabela 9: Vzorci vode z največjimi in najmanjšimi koncentracijami posameznih kationov.

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Najvišje izmerjene masne koncentracije [mg/L]	Vzorec 6 (1497,66 ± 0,67) Vzorec 14 (781,76 ± 14,52) Vzorec 16 (439,68 ± 0,16)	Vzorec 16 (65,57 ± 0,53) Vzorec 14 (22,58 ± 0,75) Vzorec 5 (12,44 ± 0,46)	Vzorec 5 (354,98 ± 0,15) Vzorec 6 (350,69 ± 0,93) Vzorec 11 (230,48 ± 0,01)	Vzorec 6 (918,55 ± 3,03) Vzorec 11 (147,45 ± 0,25) Vzorec 17 (115,55 ± 0,10)
Najnižje izmerjene masne koncentracije [mg/L]	Vzorec 1 (<0,60) Vzorec 12 (<0,60) Vzorec 13 (<0,60)	Vzorec 15 (< 0,2) Vzorec 10 (< 0,2) Vzorec 1 (0,21 ± 0,03)	Vzorec 10 (1,91 ± 0,00) Vzorec 12 (3,63 ± 0,02) Vzorec 8 (7,24 ± 0,02)	Vzorec 8 (< 1,00) Vzorec 10 (< 1,00) Vzorec 19 (1,15 ± 0,00)

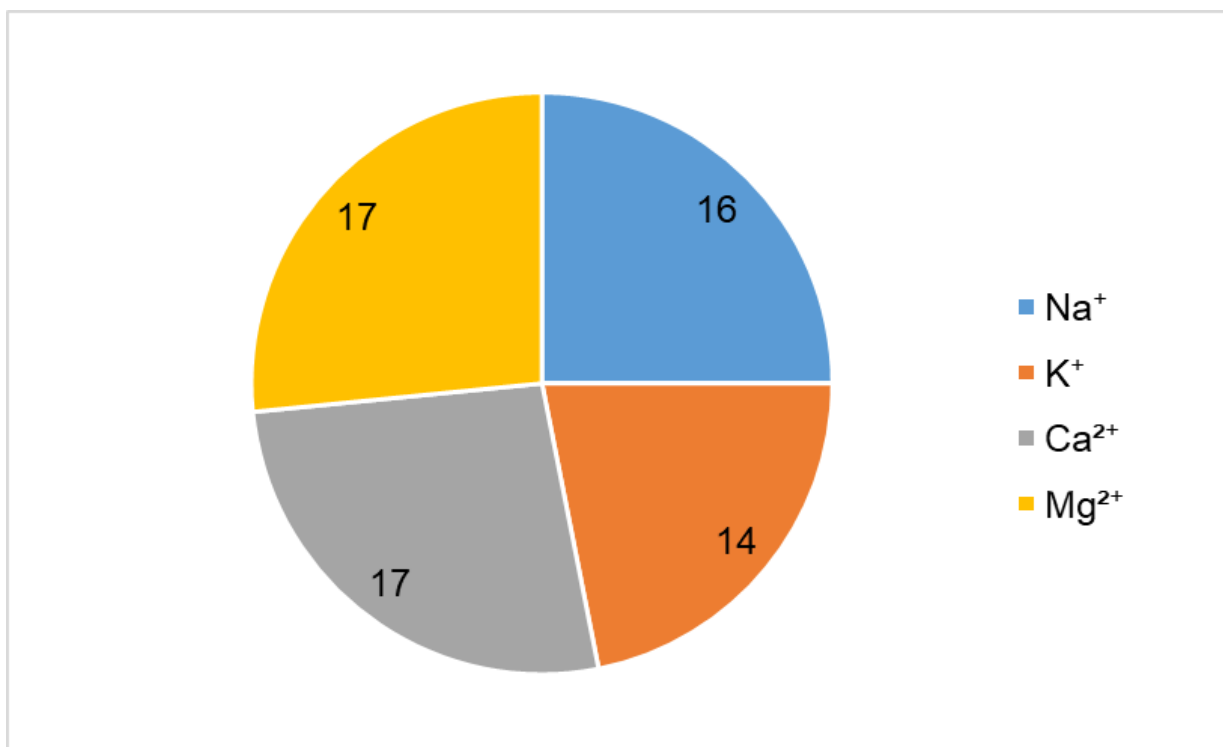
Tabela 9 prikazuje vzorce z najvišjimi in najnižjimi izmerjenimi masnimi koncentracijami posameznih kationov. Najvišjo masno koncentracijo Na⁺ smo izmerili v vzorcu 6 (1497,66 ± 0,67 mg/L), vzorcu 14 (781,76 ± 14,52 mg/L) in vzorcu 16 (439,68 ± 0,16 mg/L). Najnižje izmerjene koncentracije Na⁺ so imeli vzorec 1 (<0,60 mg/L), vzorec 12 (<0,60 mg/L) in vzorec 13 (<0,60 mg/L). Najvišjo izmerjeno vsebnost K⁺ so imeli vzorec 16 (65,57 ± 0,53 mg/L), vzorec 14 (22,58 ± 0,75 mg/L) in vzorec 5 (12,44 ± 0,46 mg/L). Najmanjšo vsebnost K⁺ so imeli vzorec 15 (< 0,2 mg/L), vzorec 10 (< 0,2 mg/L) in vzorec 1 (0,21 ± 0,03 mg/L). Največjo vsebnost Ca²⁺ smo izmerili v vzorcu 5 (354,98 ± 0,15 mg/L), v vzorcu 6 (350,69 ± 0,93 mg/L) in v vzorcu 11 (230,48 ± 0,01 mg/L). Najmanjšo vsebnost Ca²⁺ so imeli vzorec 10 (1,91 ± 0,00 mg/L), vzorec 12 (3,63 ± 0,02 mg/L) in vzorec 8 (7,24 ± 0,02 mg/L). Največjo koncentracijo Mg²⁺ smo izmerili v vzorcu 6 (918,55 ± 3,03 mg/L), v vzorcu 11 (147,45 ± 0,25 mg/L) in v vzorcu 17 (115,55 ± 0,10 mg/L). Najmanjšo vsebnost Mg²⁺ sta imela vzorec 8 in 10 (< 1,00 mg/L) ter vzorec 19 (1,15 ± 0,00 mg/L).

5.7 Ujemanje s poročanimi vrednostmi

Pri analiziranju vsebnosti Na⁺ na embalažah vzorcev vode je imelo 16 od 21 vzorcev poročano vsebnost Na⁺ (slika 30). Vrednosti masne koncentracije Na⁺ na embalaži niso bile navedene pri vzorcih 2, 12, 13, 18 in 19. Največjo odstopanje izmerjene vrednosti Na⁺ s poročano so imeli vzorec 7 (68,50 %), vzorec 5 (123,26 %) in vzorec 11 (78,18 %). Najmanjše odstopanje izmerjene vrednosti Na⁺ s poročano so imeli vzorec 21 (100,19 %), vzorec 3 (99,35 %) in vzorec 14 (94,76 %). Poročano vrednost K⁺ je na embalaži imelo 14 od 21 vzorcev. Poročane vrednosti K⁺ niso imeli navedene vzorci 2, 5, 6, 12, 13, 18 in 21. Ujemanja izmerjenih masnih koncentracij s poročanimi so bila v povprečju najslabša pri K⁺. Največja odstopanja smo zabeležili v vzorcu 1 (20,73 %) in v vzorcu 19 (34,08 %). Najmanjša odstopanja so imeli vzorec 8 (99,20 %), vzorec 4 (96,82 %) in vzorec 3 (95,61 %). Pri analiziranju vsebnosti Ca²⁺ so bila prisotna najmanjša odstopanja izmed vseh štirih analiziranih kationov, poročano vrednost na embalaži je imelo 17 od 21 vzorcev. Poročanih vrednosti ni bilo navedenih na etiketah vzorcev 2, 12, 13 in 18. Največja odstopanja so bila prisotna v vzorcu 10 (63,51 %), v vzorcu 6 (81,56 %) in v vzorcu 11 (86,81 %). Najmanjša odstopanja izmerjenih vrednosti Ca²⁺ s poročanimi smo zabeležili v vzorcu 7 (100,11 %), v vzorcu 3 (101,24 %) in v vzorcu 20 (101,69%). Pri analiziranju vsebnosti Mg²⁺ je imelo 17 od 21 vzorcev poročano vrednost Mg²⁺ na embalaži.

Poročanih vrednost Mg^{2+} ni bilo navedenih na embalažah vzorcev 2, 12, 13 in 18. Največja odstopanja smo zabeležili v vzorcu 19 (71,94 %) in v vzorcu 11 (76,40 %). Najmanjše odstopanje izmerjene vrednosti Mg^{2+} s poročano sta imela vzorec 7 (99,83 %) in vzorec 20 (99,18 %). Opazili smo, da embalaže vzorcev 2, 12, 13 in 18 niso imele navedene masne koncentracije nobenega izmed štirih analiziranih kationov.

Pri pregledu embalaž smo ugotovili, da so bile kemijske analize nekaterih vzorcev vode narejene že pred nekaj leti in lahko predvidevamo, da se je v tem času mineralna sestava posameznih vod nekoliko spremenila. Vsekakor lahko s primerjavo izmerjenih vrednosti in poročanih sklepamo, da so nove analize sčasoma potrebne, da se posodobi informacija o masni koncentraciji kationov v posameznih vodah.

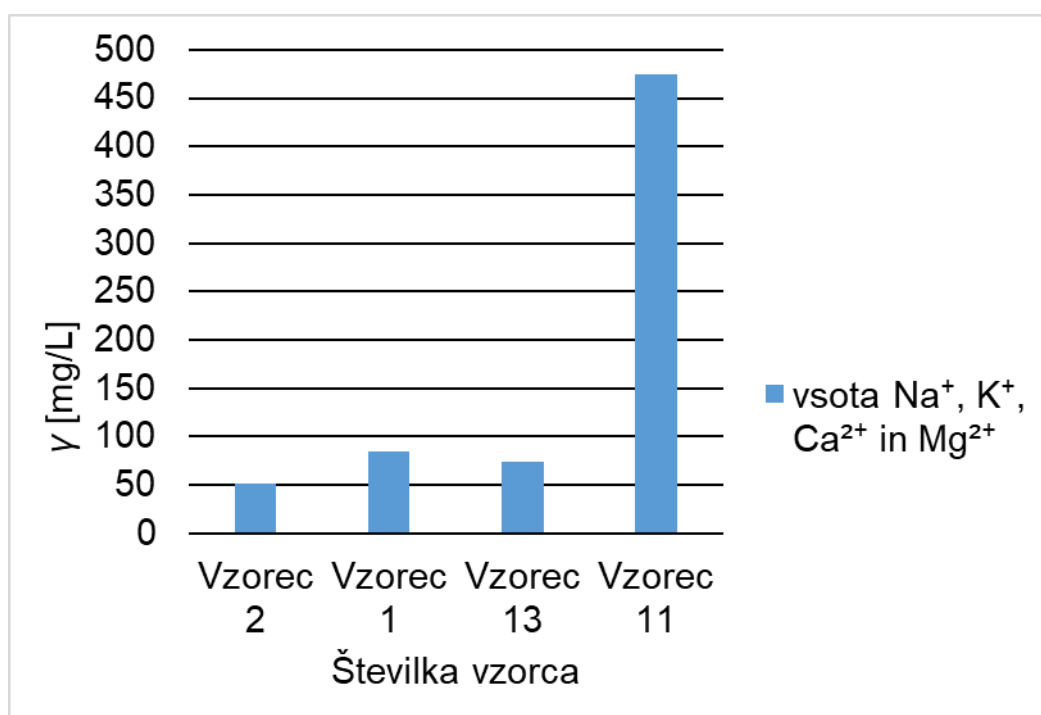


Slika 30: Število poročanih vrednosti posameznih kationov na embalažah vzorcev vode.

6 Zaključki

S pregledom teoretičnega ozadja in po izvedbi eksperimentalnega dela ter interpretaciji rezultatov smo dosegli zadane cilje raziskave. Odgovorili smo si na naša zadana vprašanja in dobili dovolj podatkov, s katerimi smo lahko potrdili ali ovrgli zastavljene raziskovalne hipoteze. Na začetku raziskovalne naloge smo določili štiri hipoteze, ki so nas usmerjale pri našem raziskovanju.

1. NARAVNE MINERALNE VODE IMAJO VEČJO KONCENTRACIJO KATIONOV KAKOR IZVIRSKÉ, ARTEŠKE IN PITNE VODE. – HIPOTEZA POTRJENA



Slika 31: Primerjava celokupne masne koncentracije Na^+ , K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+} v posameznih vzorcih.

Vzorec 2 je arteška voda iz Fidžija, vzorec 1 je slovenska izvirna voda, vzorec 13 je slovenska pitna voda, ki se polni sicer na Madžarskem, vendar se jo v nadaljnjih postopkih izpari in nato poljubno doda raztopljene snovi. Vzorec 11 je naravna mineralna voda iz Avstrije. Na splošno imajo naravne mineralne vode višje koncentracije kationov kakor druge vode, kar se lahko vidi pri vzorcu 16, vzorcu 14 itd. Meritve so pokazale, da tudi nekatere vode, ki se tretirajo kot naravne mineralne vode, vsebujejo relativno nizke masne koncentracije kationov. V interpretaciji rezultatov smo primerjali naravne mineralne z izvirskimi in prišli do ugotovitev, da imajo tudi nekatere izvirne vode večjo vsebnost raztopljenih kationov kot naravne mineralne vode, vendar so to redke izjeme.



Slika 32: Primerjava povprečne celokupne koncentracije kationov Na⁺, K⁺, Ca²⁺ in Mg²⁺ v posameznih vrstah vode.

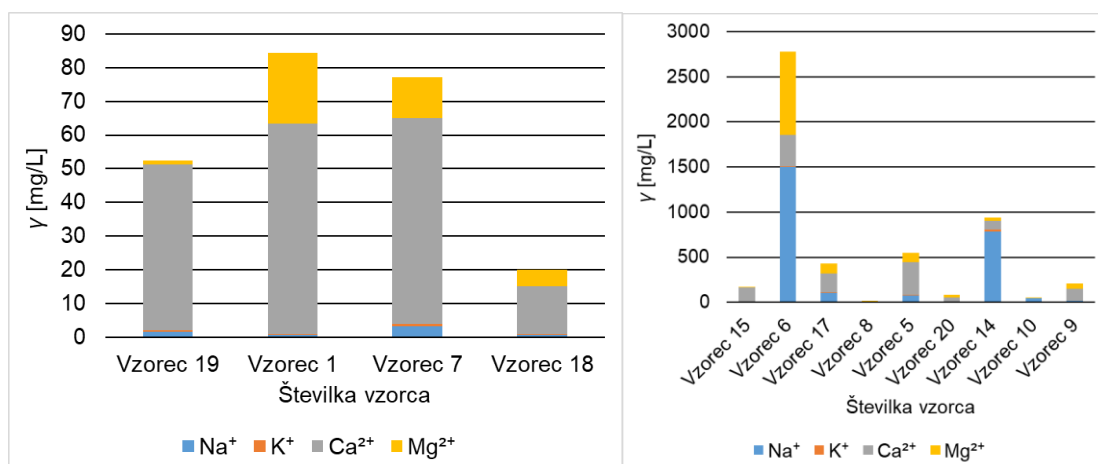
V eksperimentalnem delu smo analizirali 21 vzorcev vode: 14 naravnih mineralnih vod, 4 izvirske vode, 2 pitni vodi in 1 arteško vodo. Masne koncentracije vseh štirih analiziranih kationov v posameznem vzorcu vode smo sešteli in dobili celokupno masno koncentracijo raztopljenih kationov (enačba 4). Nato smo sešteli vse celokupne masne koncentracije vzorcev naravnih mineralnih vod, izvirskih vod, pitnih vod in arteških vod posebej in jih delili s številom vzorcev (enačba 5). Tako smo izračunali povprečno celokupno koncentracijo kationov v posamezni vrsti vode.

$$\bar{\gamma} = (\gamma_{s1} + \gamma_{s2} + \gamma_{s3} + \dots + \gamma_{sn}) / N \quad (5)$$

Z grafa na sliki 32 je razvidno, da naravne mineralne vode vsebujejo veliko večje celokupne koncentracije raztopljenih kationov kot izvirske, pitne in arteške vode, zato za prvo hipotezo lahko rečemo, da jo lahko potrdimo.

2. SLOVENCJI PIJEMO VODE V PLASTENKAH, KI VSEBUJEJO VEČ KOVINSKIH KATIONOV, KAKOR VODE V PLASTENKAH, KI JIH PIJEJO DRUGOD PO EVROPI IN V SEVERNI AMERIKI. – HIPOTEZA POTRJENA

Za namene preverjanja te hipoteze smo posebej primerjali slovenske in tuje izvirske vode ter posebej slovenske in tuje naravne mineralne vode.

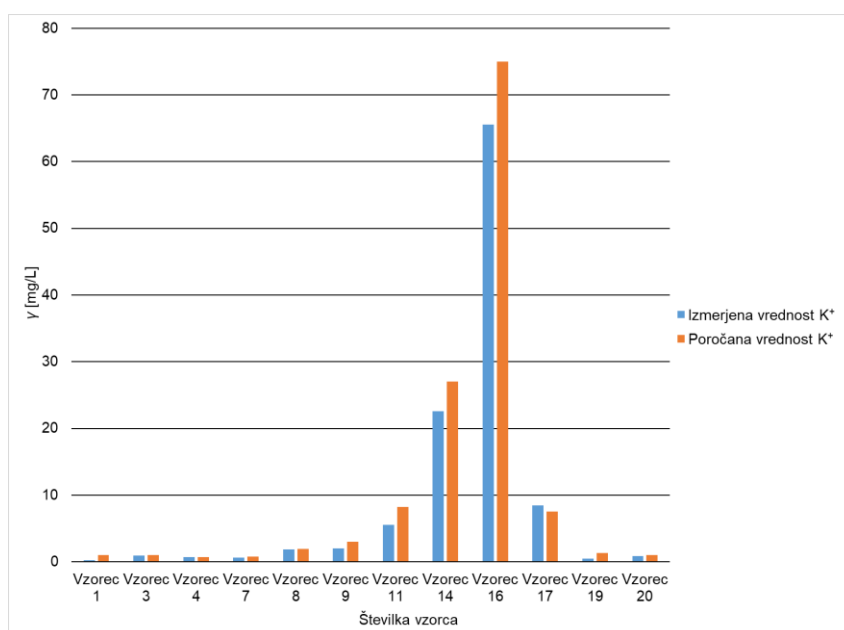


Slika 33: Primerjava izvirskih vod.

Slika 34: Primerjava naravnih mineralnih vod.

Primerjali smo štiri vzorce izvirske vode; dve iz Slovenije, eno iz Turčije in eno iz Združenih držav Amerike. Glede na prikazan graf (slika 33) vidimo, da sta slovenski izvirski vodi boljši kot vodi iz Turčije in ZDA, saj vsebujeta večjo celokupno masno koncentracijo raztopljenih kationov v vzorcu. Prav tako smo primerjali devet naravnih mineralnih vod iz devetih različnih držav: Francije, Slovenije, Češke, Norveške, Romunije, Italije, Hrvaške, Srbije in Avstrije, njihove celokupne masne koncentracije pa smo predstavili na sliki 34. Ugotovili smo, da po vsebnosti raztopljenih kationov najbolj izstopa slovenska naravna mineralna voda (vzorec 6). Vse ostale evropske vode imajo bistveno manjšo vsebnost kationov in so tako nekoliko manj koristne za naše zdravje oz. za vnos mineralov v človeško telo. Hipotezo št. 2 lahko potrdimo, saj iz grafov vidimo, da slovenske vode v plastenkah vsebujejo več kovinskih kationov kakor druge vode.

3. IZMERJENE VREDNOSTI MASNIH KONCENTRACIJ KATIONOV V VZORCIH SE UJEMAJO S POROČANIMI VREDNOSTMI MASNIH KONCENTRACIJ KATIONOV NA ETIKETAH. – HIPOTEZA DELNO POTRJENA



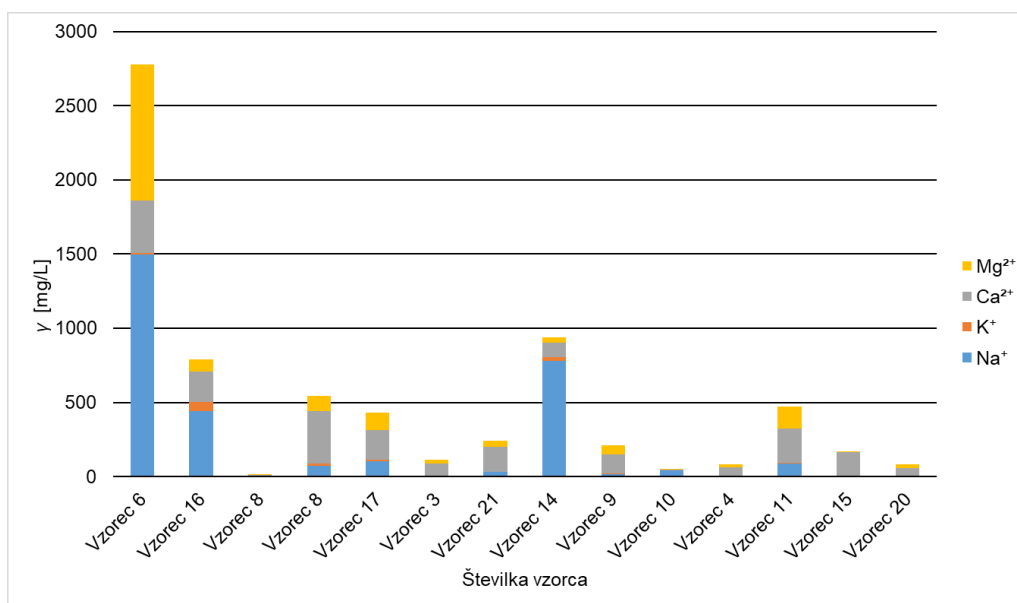
Slika 35: Izmerjene in poročane masne koncentracije K⁺ na etiketi.

Iz grafa na sliki 35 lahko razberemo, da prihaja do rahlih odstopanj med izmerjenimi vrednostmi in poročanimi vrednostmi, vendar se v večini primerih izmerjene vrednosti masnih koncentracij kationov v posameznih vzorcih ujemajo s poročano vrednostjo masnih koncentracij kationov na etiketah. Do odstopanj pride zaradi več vzrokov. Eden izmed njih je ta, da so analize posameznih vzorcev vod stare tudi več let in se je med tem časom mineralna sestava vod lahko nekoliko spremenila. Pri vzorcih vode z velikimi koncentracijami raztopljenih kationov je lahko prišlo tudi do napake pri redčenju pri pripravi vzorcev, saj je bilo potrebne nekatere vzorce tudi več 10-krat redčiti.

Velika večina izmerjenih podatkov je padla med 80,00 % in 120,00 %, glede na poročano vrednost na embalaži, kar pomeni, da so izmerjene vrednosti podobne poročanim. Je pa prišlo do nekaterih večjih odstopanj. Pri Na^+ so pri treh vzorcih izmerjene masne koncentracije padle izven tega območja, največje odstopanje je imel vzorec 7 s 68,50 % ujemanjem s poročano vrednostjo. Za K^+ so imeli štirje vzorci ujezanje izven omenjenega območja. Največje odstopanje je imel vzorec 1 s 20,73 % ujemanjem. Pri Ca^{2+} je samo en vzorec odstopal izven danega območja, in sicer vzorec 10 s 63,51 % ujemanjem. Za Mg^{2+} sta pod 80,00 % ujemanjem bila 2 vzorca, najmanjše ujezanje je imel vzorec 19 s 71,94 % ujemanjem. Za četrto hipotezo tako lahko rečemo, da delno drži.

4. PITJE MINERALNIH VOD POMEMBNO PRISPEVA K OHRANJANJU NAŠEGA DOBREGA POČUTJA TER IMA VELIKO KORISTI ZA NAŠE ZDRAVJE. – HIPOTEZA DELNO POTRJENA

Za vpliv mineralnih vod na naše zdravje, smo morali v obravnavo vzeti vse preiskovane naravne mineralne vode, ki jih je bilo v našem primeru 14. Minerali so za telo nujno potrebni, kar smo dokazali z zapisanim v teoretičnih osnovah. Količina posameznih ionov v vzorcih nam nakazuje, da z naravnimi mineralnimi vodami lahko zadovoljimo potrebe našega organizma po vnosu določenih kationov.



Slika 36: Masna koncentracija vseh analiziranih naravnih mineralnih vod.

Iz slike 36 je razvidno, da se koncentracije Na^+ , K^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+} med posameznimi naravnimi mineralnimi vodami močno razlikujejo, zato je ta hipoteza delno potrjena. Nekatere mineralne vode zelo veliko prispevajo k ohranjanju našega dobrega počutja, saj vsebujejo velike koncentracije posameznih kationov, medtem ko imajo nekatere veliko manj raztopljenih kationov, čeprav so prav tako tretirane kot naravne mineralne vode.

Na koncu našega raziskovalnega dela lahko potrdimo, da smo uspešno dosegli vse zastavljene cilje naše raziskovalne naloge ter prišli do mnogih zanimivih ugotovitev. Z metodo ionske kromatografije smo dobili natančne in točne podatke o vsebnosti masne koncentracije določenih kationov v širokem naboru različnih vod, ki smo jih analizirali. Z interpretacijo rezultatov smo se še bolj približali našemu cilju, ki je ozavestiti ljudi o pomenu pitja kakovostne vode bogate z minerali.

Ugotovili smo, da v večini primerih drži, da imajo naravne mineralne vode večjo koncentracijo kationov kakor izvirske, arteške in pitne vode. Vendar smo s primerjavo izvirske in naravne mineralne vode ugotovili, da ima lahko tudi izvirska voda večjo vsebnost koncentracije kationov kot naravna mineralna voda, torej se je zelo pomembno prepričati o vsebnosti raztopljenih snovi pred nakupom izdelka in ne zgolj prisegati na napis naravna mineralna voda na embalaži.

Ugotovili smo, da Slovenci pijemo kakovostnejše vode kot prebivalci drugod po Evropi in v Severni Ameriki, saj smo preverili vsebnost kationov v izvirskih vodah iz Slovenije, Turčije in Združenih državah Amerike. Slovenski vodi sta imeli večjo skupno vrednost izmerjene koncentracije kationov. Prav tako smo primerjali devet naravnih mineralnih vod iz devetih različnih držav ter ugotovili, da slovenska predstavnica naravne mineralne vode močno izstopa po vsebnosti kationov.

Delno smo potrdili, da pitje naravnih mineralnih vod pomembno prispeva k ohranjanju našega dobrega počutja ter ima veliko koristi za naše zdravje, saj smo po primerjanju koncentracije kationov v vzorcih vseh analiziranih naravnih mineralnih vod ugotovili, da imajo nekatere mineralne vode zelo majhno koncentracijo kationov, zato nimajo bistvenega vpliva na naše počutje in zdravje, saj z njimi ne zadovoljimo potreb po zadostnem vnosu mineralov v telo. Nekatere naravne mineralne vode z večjo koncentracijo raztopljenih kationov pa pomembno vplivajo na naše počutje in imajo večje koristi za naše zdravje.

12 vzorcev od 21 je imelo na etiketi v celoti poročane masne koncentracije vseh štirih kationov, ki smo jih analizirali. To dejstvo nas je presenetilo, torej očitno med širšo populacijo ljudi ni potrebe po poznavanju sestave vode, kar nam nakazuje, da ljudje niso ozaveščeni o pomenu pitja z minerali bogatih vod in njihovi koristi za naše zdravje.

Zelo pomembno se je zavedati pomena pitja z minerali obogatenih vod in poznati razlike med posameznimi vrstami vod. Le tako bomo lahko v naše telo s pomočjo vod vnašali ustrezne količine mineralov. Ni dovolj, da na etiketi piše naravna mineralna voda, saj nam to še nič ne pove o dejanski kvaliteti vode, zmeraj je potrebno preveriti izsledke kemijske analize, ki je poročana na embalaži. Najbolj nas je zmotilo, da nekateri proizvajalci ne navajajo mineralne sestave vode na etiketi, kar lahko vodi do nejasnosti pri izbiri ustrezne ustekleničene vode. Ob

tolikšni izbiri raznovrstnih ustekleničenih vod bi morali ljudje bolj preudarno razmisliti, kaj bodo vnašali v svoje telo.

7 Viri in literatura:

- [1]Zachariadis, G., Lyratzi, A. in Stratis, J. (2011). *Ion chromatographic method for the determination of cations of group IA and IIA in water samples, pharmaceuticals and energy drinks by non-suppressed conductometric detection.*
- [2]Abramova, I., Medrish, M., Savel'yeva, V., Romanova, A. in Gavrilova, D. (2020). *Ion chromatography in the liqueurs and spirits quality control.*
- [3]SelectScience (b. d.). *Ion chromatography for food & beverage analysis.*
- [4]Momani, A. K. (2006). *Chemical Assessment of Bottled Drinking Waters by IC, GC, and ICP-MS.*
- [5]Michalski, R. (2006). *Ion Chromatography as a Reference Method for Determination of Inorganic Ions in Water and Wastewater.*
- [6]Mariborski vodovod (b. d.). *Kaj je voda?* [Kaj je voda? - Mariborski vodovod \(mb-vodovod.si\)](http://mb-vodovod.si) [Datum dostopa: 15.1.2024].
- [7]Direktiva 2008/54/ES Evropskega parlamenta in sveta o izkoriščanju in trženju naravnih mineralnih vod. (2009). *Uradni list Evropske unije.* [Direktiva - 2009/54 - SL - EUR-Lex \(europa.eu\)](http://eur-lex.europa.eu) [Datum dostopa: 9.1.2024].
- [8]Pravilnik o naravni mineralni vodi, izvirski vodi in namizni vodi. (2004). *Uradni list RS*, št. 50/04, 75/05, 45/08 – ZKme-1 in 61/23. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV5392> [Datum dostopa: 11.1.2024].
- [9]Janža, M., Jamnik, B., Prestor, J., Mali, N., 2023. *Podzemna voda - glavni (skoraj edini) vir pitne vode v Sloveniji.* *Geografija v šoli*, 25, 3. Članek v tisku.
- [10]FDA. (b. d.). *Bottled Water Everywhere: Keeping it Safe.* [Bottled Water Everywhere: Keeping it Safe | FDA](https://www.fda.gov/food/food-safety/bottled-water-everywhere-keeping-it-safe) [Datum dostopa: 25.1.2024].
- [11]Prehrana (b. d.). *Hidracija.* <https://prehrana.si/clanek/537-hidracija> [Datum dostopa: 4.1.2024].
- [12]NIJZ (2013). *Referenčne vrednosti za vnos vitaminov in mineralov - tablična priporočila za otroke, mladostnike odrasle in starejše.* https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/referencne_vrednosti_za_vnos.pdf [Datum dostopa: 8.1.2024].
- [13]ABC zdravja (6. 2. 2013). *Minerali v našem telesu.* [Minerali v našem telesu - ABC zdravja](http://www.abczdravja.si/minerali-v-nasem-telesu) [Datum dostopa: 9.1.2024].
- [14] Medical News Today (12. 11. 2021). *What is the required daily intake of vitamins and minerals?* [Daily intake of vitamins and minerals: What to know \(medicalnewstoday.com\)](https://www.medicalnewstoday.com/articles/required-daily-intake-of-vitamins-and-minerals) [Datum dostopa: 5.2.2024].

- [15]Austin, K. in Seebohar, B. (b. d.) *Nutrient timing for heat and humidity*. [Nutrient timing for heat and humidity – Human Kinetics](#) [Datum dostopa: 2.1.2024].
- [16]Mašič, P. L., Obreza, A. in Vovk, T. (2020). *Minerali, vitamini in druge izbrane snovi*. Ljubljana: Slovensko farmacevtsko društvo.
- [17]*Elektroliti v krvi*. (b. d.). <https://www.elektroliti.si/clanki/elektroliti-v-krvi> [Datum dostopa: 5.2.2024].
- [18]*Ionski kanalčki*. (b. d.). https://wiki.fkkt.uni-lj.si/index.php/Ionski_kanal%C4%8Dki [Datum dostopa: 19.1.2024].
- [19]Wikipedia (b. d.) *Kalij*. [Potassium - Wikipedia](#) [Datum dostopa: 24.1.2024].
- [20]Prehrana (b. d.). *Kalcij*. <https://www.prehrana.si/sestavine-zivil/minerali/kalcij> [Datum dostopa: 3.1.2024].
- [21]McGrane, K. (4. 9. 2019). *Does Mineral Water Have Health Benefits?* <https://www.healthline.com/nutrition/mineral-water-benefits> [Datum dostopa: 10.1.2024].
- [22]Islamčević-Razboršek, M., Kolar, M., (2023). *Analizna kemija II in industrijska analiza*. Maribor: Univerza v Mariboru.
- [23]Kromatografija. (b. d.). V Wikipedija: prosta enciklopedija. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Kromatografija> [Datum dostopa: 13.1.2024].
- [24]Bio, S. (30. 6. 2023). *Ionska izmenjevalna kromatografija - definicija, princip, protokol, aplikacije*. Microbiologynote.com <https://microbiologynote.com/sl/ionsko-izmenjevalna-kromatografija/> [Datum dostopa: 18.1.2024].
- [25]Gros, N., (2013). *Ion Chromatographic Analyses of Sea Waters, Brines and Related Samples*.
- [26]R&D Systems. (b. d.) *Spike, Recovery, and Linearity*. [Spike and Rec 2014 Rev 2.1.pdf \(woongbee.com\)](#) [Datum dostopa: 19.1.2024].