

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Obsah arsenu ve víně z rizikové oblasti

Diplomová práce

Bc. Martina Bulková

Obor studia: Výživa a potravin

Vedoucí práce: doc. Ing. Ondřej Drábek, Ph.D.

Konzultant: RNDr. Václav Tejnecký, PhD.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Obsah arsenu ve víně z rizikové oblasti" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19. 4. 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Ondřejovi Drábkovi, Ph.D a konzultantovi RNDr. Václavovi Tejneckému, PhD. a hlavně rodině a přátelům za pomoc, podporu, odborné rady, cenné připomínky a čas, který mi věnovali při vypracování této diplomové práce.

Obsah arsenu ve víně z rizikové oblasti

Souhrn

V diplomové práci jsme se věnovali výzkumu směřujícímu ke zjištění obsahu arsenu ve víně z rizikové oblasti.

Bylo třeba potvrdit nebo vyvrátit hypotézu: „Ve víně z rizikové oblasti se může vyskytovat arsen.“ Takovouto oblast představuje historicky antropogenně kontaminovaná lokalita, kde se v současné době nacházejí vinice, v našem výzkumu je touto oblastí Kutná Hora.

Cílem teoretické části diplomové práce bylo vytvořit ucelený literární přehled o arsenu, základní informace, fyzikální a chemické vlastnosti, toxicita, zdroje kontaminace životního prostředí. Dále byly popsány analytické metody, kterými stanovujeme množství arsenu v půdě, hroznech a víně.

Cílem praktické části diplomové práce bylo najít oblast, kde se pěstuje vinná réva a kde je zvýšený obsah arsenu v půdě. Pomocí vhodné analytické metody byl stanoven obsah arsenu (a dalších rizikových prvků) v komerčně dostupném víně z dané oblasti a v kontrolních vzorcích.

Celkové množství arsenu v jednotlivých vzorcích vína bylo naměřeno metodou optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem.

Víno ze všech vybraných oblastí obsahovalo větší množství arsenu jako je stanovený limit.

Výzkum této diplomové práce potvrdil domněnku, že ve víně z rizikové oblasti se může vyskytovat arsen.

Vzhledem k tomu, že se ve všech vínech vyskytoval arsen ve větším množství, by bylo do budoucna ke zvážení dělat pravidelné rozbory vin.

Klíčová slova: Arsen, víno, toxicita, stanovení arsenu, kontaminace půdy

The content of arsenic in wine from a risk area

Summary

This thesis deals with a study of arsenic content in the samples of wine from risk areas.

The goal was to confirm or deny the hypothesis: "There is a possibility of arsenic content in the samples of wine from risk areas." Risk area is such an area, where anthropogenic contamination occurred and where there are vineyards presently. In this thesis, the risk area is Kutná Hora.

The theoretical part of this thesis was to create a complex literal digest about arsenic - basic information, physical and chemical properties, toxicity and sources of environmental contamination. Furthermore, this part contains a description of analytical methods used to determine the quantity of arsenic in soil, grapes and samples of wine.

The practical part of this thesis was to find an area with a vineyard and increased quantity of arsenic in the soil. Using an appropriate analytical method, the content of arsenic (and other hazardous substances) was determined in commercially available samples of wine grown in that particular area and in a control sample. The results were statistically analysed.

The total amount of arsenic in individual samples was determined using inductively coupled plasma optical emission spectroscopy.

Wines from all selected regions contained larger amounts of arsenic, such as a set limit.

Research into this thesis confirmed the assumption, that arsenic may be present in wine from the risk area.

Since arsenic was present in greater quantities in all wines, it would be considered to do regular wine analyses in the future.

Keywords: Arsenic, wine, toxicity, determination of arsenic, soil contamination

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Arsen	10
3.1.1 Základní informace	10
3.1.2 Historické využití Arsenu	11
3.1.3 Současné využití Arsenu	13
3.1.4 Fyzikální a chemické vlastnosti	14
3.1.5 Sloučeniny Arsenu	14
3.1.5.1 Anorganické sloučeniny Arsenu	15
3.1.5.2 Organické sloučeniny Arsenu	17
3.2 Toxicita	18
3.2.1 Expozice, absorpce, metabolismus	18
3.2.2 Akutní toxicita	20
3.2.3 Chronická toxicita	21
3.2.4 Limity stanoveny pro Arsen	22
3.3 Zdroje kontaminace životního prostředí	23
3.4 Analytické metody pro stanovení množství arsenu	25
3.4.1 Studie zabývající se Arsenem ve víně	26
4 Metodika	29
4.1 Použitá přístrojová a laboratorní technika	29
4.2 Původ vzorek vína	29
4.3 Příprava vzorků, ladicích roztoků a úprava vzorků	32
4.4 Analýza vzorků	32
4.4.1 Teorie ke ICP-OES	33
4.5 Zpracování dat	35
5 Výsledky	36
5.1 Naměřené hodnoty Arsenu	36
5.2 Naměřené hodnoty další prvky	37
5.2.1 Draslík	37
5.2.2 Hliník, bór, baryum, beryllium	38
5.2.3 Vápník, kadmium, kobalt, chrom	41
5.2.4 Měď, železo, hořčík, mangan	44
5.2.5 Sodík, nikl, fosfor, olovo	47
5.2.6 Síra, antimon, křemík	50
5.2.7 Vanad, zinek	52

6	Diskuze	54
6.1	Analýza vín	54
6.1.1	Naměřené hodnoty arsenu ve víně	54
6.1.2	Naměřené hodnoty ostatních vybraných prvků ve víně	57
6.2	Závěrem	59
7	Závěr	60
8	Literatura	61
9	Seznam použitých obrázků, grafů a tabulek.....	65
10	Seznam použitých zkratk.....	66

1 Úvod

Znečištění arsenem je univerzální celosvětový problém. Forma arsenu v půdě, vodě a rostlinách hraje důležitou roli při pochopení expozice arsenu, metabolismu a koloběhu arsenu v životním prostředí a potravinovém řetězci (Zia et al., 2021).

Zaznamenaná historie vína zahrnuje sedm tisíciletí řemeslné zručnosti a inovací. Ve starověku bylo víno považováno za magický, spontánní dar přírody. Fermentace převedla hrozny podléhající zkáze do formy, která mohla být skladována po delší dobu bez významného mikrobiálního znehodnocení. Pěstitelé hroznů a vinaři byli strážci životně důležité tradice. I přesto je to teprve 60 let, odkdy vědci dokázali pochopit biochemickou cestu pro fermentaci cukru k alkoholu. Dnešní spotřebitelé očekávají mnohem více než jen jednoduchý skladovatelný nápoj. Požadují vína, která jsou příjemná ve všech smyslových aspektech, zdravá, vyrobená způsobem udržitelným z hlediska životního prostředí, a která splňují standardy maximálního povoleného množství možných obsažených látek (Pretorius & Høj, 2005).

Arsenitan sodný se používá ve vinohradnictví jako fungicid proti chorobě rostlin (*Eutypa lata*). Arsen je podezřelý karcinogen a málo se ví o jeho chronických subletálních účincích. Koncentrace As ve vínech závisí hlavně na faktorech, jako je složení půdy, odrůda hroznů, klimatické podmínky, použití pesticidů, proces vinifikace a podmínky skladování. Mezinárodní organizace pro víno a révu (O.I.V.) stanovila maximální limit As ve vínech na 200 $\mu\text{g/L}$, ale obecně je akceptována přítomnost pouze několika $\mu\text{g/L}$ As v nekontaminovaných vínech (Flamini & Panighel, 2006).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza: Ve víně z rizikové oblasti se může vyskytovat Arsen. Takovouto oblast představuje historicky antropogenně kontaminovaná lokalita, kde se v současné době nacházejí vinice.

Cílem teoretické části diplomové práce je vytvořit ucelený literární přehled o arsenu – základní informace, fyzikální a chemické vlastnosti, toxicita, zdroje kontaminace životního prostředí. Dále budou popsány analytické metody, kterými stanovujeme množství arsenu v půdě, hroznech a víně.

Cílem praktické části diplomové práce je najít oblast, kde se pěstuje vinná réva a kde je zvýšený obsah arsenu v půdě. Pomocí vhodné analytické metody stanovit obsah arsenu (a případně dalších rizikových prvků) v komerčně dostupném víně z dané oblasti a v kontrolních vzorcích. Výsledky statisticky vyhodnotit.

3 Literární rešerše

3.1 Arsen

Arsen (zkratka As, latinsky *Arsenicum*, anglicky Arsenic, další názvy jsou Arsenik, Arzén) je chemický prvek, který patří do 15. (V.A) skupiny periodické soustavy prvků. Nachází se mezi germaniem a selenem. Protonové číslo Arsenu je 33, má relativní atomovou hmotnost 74,92 g/mol, elektronegativitu 2,18, jeho zkrácená elektronová konfigurace je [Ar] 3d¹⁰4s²4p³, a proto nabývá oxidačních čísel –III, 0, III a V. Arsen patří mezi polokovy (metaloidy) a má chalkofilní charakter–chemické vlastnosti jako kovy i nekovy (IUPAC, 2018).

Arsen bývá často chybně označován jako „těžký kov“. Elementární arsen je ocelově šedé barvy a pevného skupenství. Sloučeniny arsenu mohou být anorganického nebo organického původu. V přírodě se anorganický arsen vyskytuje v půdě, minerálech a rudách, které obsahují olovo a měď, ale i s dalšími prvky jako je např. kyslík, chlór a síra. Jsou to konkrétně:

- arsenik (oxid arsenitý) As₂O₃
- arsenopyrit FeAsS
- löllingit FeAs₂
- realgar AsS
- auripigment As₂S₃
- brassit Mg(AsO₃OH)(H₂O)₄
- haidingerit Ca(AsO₃OH)(H₂O)
- lavendulan NaCaCu₅(AsO₄)₄Cl(H₂O)₅
- metarauchit Ni(UO₂AsO₄)₂(H₂O)₆
- slavkovit Cu₁₃(AsO₄)₆(AsO₃OH)₄(H₂O)₂₃ a řada dalších.

Organické sloučeniny arsenu vznikají vazbou mezi uhlíkem a arsenem. Patří sem arsan a kyselina arseničná, ze kterých se dá nahrazením hydroxylového (-OH) ligandu methylovou skupinou (CH₃) generovat další sloučeniny (Flora, 2015a).

Většina sloučenin arsenu nemá žádnou chuť ani zápach, a proto se používal v travičství. Jeho registrační číslo CAS je 7440-38-2 (PubChem, 2004).

3.1.1 Základní informace

Arsen patří mezi toxické prvky. Přirozeně se nachází v zemské kůře s koncentrací až 3,4 mg/kg. Je přítomný v různých koncentracích ve vodě, půdě, vzduchu, potravinách, rostlinách i živočiších. Zdroje Arsenu jsou buď přirozené, anebo antropogenní (vzniklé činností člověka).

Arsen se dostává do půdy a vody různými cestami, jako jsou např.:

- Přírodní aktivity, jako je vulkanická činnost, rozpuštění nebo desorpce minerálů – hlavně do podzemních vod, vegetační exsudáty a větrem navátý prach.

- Lidské činnosti, jako je zpracování těžkých kovů, spalování fosilních paliv (zejména uhlí), těžba, ošetření dřeva, historické použití a využití zemědělských pesticidů.
- Remobilizace historických zdrojů – odpadní vody po těžbě kovů.
- A mobilizace do pitné vody z geologických usazenin při vrtání studní (Kabata-Pendias&Pendias, 2001; Stockley et al., 2021).

3.1.2 Historické využití Arsenu

Arsen má bohatou historii, hlavně v oblasti toxikologie a medicíny.

Po dobu nejméně 3000 let se arsen používá:

- v tradiční čínské medicíně a pod přísnými předpisy se používá dodnes,
- realgar a auripigment se používá v hinduistické medicíně, oba pocházejí z Indie,
- a Egyptologové tvrdí, že staří Egypťané používali arsen k vytvrzování mědi a používali ho i do své balzamovací tekutiny.

Minerál realgar, As_4S_4 , byl pravděpodobně popsán již ve 4. stol. př.n.l. Aristotelem. Název se odvozoval z arabského slova znamenající „prášek z jeskyně“. Pasta z realgaru byla doporučovaná Hippokratem (460–377 př.n.l.) pro léčbu vředů (Bentley & Chasteen, 2002; Doyle, 2009a).

Ranné čínské, řecké a egyptské civilizace těžili rudy, které obsahovali arsen. Ten byl zkoumán alchymisty. Alchymisté byli jednotlivci, kteří se pokoušeli přeměnit různé kovy na drahé kovy, jako je např. zlato, a hledali elixír nesmrtelnosti. Většina alchymie byla zahalená mystikou a magií. Některé z chemických technik jsou užitečné a použitelné v dnešní moderní chemii. Alchymie existovala zhruba od 500 př.n.l. do 16. století.

První, kdo arsen popsal, byl Dioscorides, řecký lékař z 1. st. n.l. Dioscorides napsal 5 dílný lékopis „De Materia Medica“, ve kterém byl arsen popsán jako jed. Měl ideální vlastnosti pro smrtící aktivity, protože měl nedostatek barvy, zápachu a chuti. Když byl smíchán s jídlem nebo pitím, i ve velmi malých dávkách byl účinný. Pro všechny třídy společnosti byl šikovný a téměř dokonalý jed. Předpokládá se, že Nero v 1. st. n.l. použil arsen k zabití svého nevlastního bratra Britannika, aby zajistil, že se stane římským císařem. A proto v roce 82 n.l., ve snaze zabránit rozsáhlým otravám, vydal římský ústavní reformátor Lucius Cornelius Sulla první zákon (Lex Cornelia) proti otravám. Ve skutečnosti se objev arsenu jako prvku připisuje alchymistovi jménem Albertus Magnus v roce 1250. Albertus Magnus byl německý dominikánský mnich a biskup, uznávaný vědec, filozof, astrolog, teolog, duchovní spisovatel, ekumenista a diplomat. Jeho učenci o něm hovořili jako o nejvýznamnějším německém filozofovi a teologovi středověku. Magnus zahříval As_2S_3 s mýdlem, což vedlo ke vzniku elementárního arsenu. Zprostředkoval věrohodný přechod od alchymie k vědě. Paracelsus (1493 – 1541), otec moderní toxikologie, se zasloužil o sepsání prvních pokynů pro přípravu metaloidního arsenu (Kapp, 2018).

V roce 1649 publikoval německý fyzik a farmakolog Johann Schröder vznik elementárního arsenu a sulfidu železnatého zahříváním arzenopyritu $FeSAs$ se dvěma metodami jeho přípravy (PubChem, 2004).

Od roku 1786 se začal používat tzv. Fowlerův roztok – 1 díl kyseliny arzenité, 1 díl uhličitanu draselného, 3 díly složené tinktury z levandule a 95 dílů destilované vody. Fowlerovo řešení bylo zjevně všeobecným všelékem Viktoriánské éry. Většina lékařů předepisovala dávky v kapkách a stávalo se, že u některých pacientů došlo k předávkování. Fowlerův roztok neprošel žádnými klinickými zkouškami, a i přesto byl široce doporučován předními lékaři a chirurgy. Je sporné, jestli lidé, kteří roztok užívali před rokem 1868 věděli, že obsahuje arsen.

<u>Exophthalmic goitre</u>	<i>(‘... is a routine treatment, taken thrice daily for one week for 6, 8 or even 12 months.’)</i>
<u>Pernicious anaemia</u>	<i>(‘...but it has probably no real value. There is no specific remedy’)</i>
<u>Hodgkins disease</u>	<i>(‘ Arsenic should be pushed to the farthest limit short of toxic effects.’)</i>
<u>Asthma</u>	<i>(‘five minim doses at breakfast and dinner’.)</i>
<u>Anaemic vomiting</u>	<i>(‘two minims thrice daily is effective’.)</i>
<u>Herpes Zoster</u>	<i>(‘15 drops of Fowlers daily for some time...’)</i>
<u>Skin papilloma</u>	<i>(‘well treated by swabbing thrice daily.’)</i>

Obrázek 1 Klinické indikace k předepsání Fowlerovho roztoku (Doyle D., 2019)

V roce 1809 vyčítal skotský chirurg James Begbie lékařům zanedbávání doporučení arsenu, kvůli strachu z nežádoucích účinků. Naléhal k používání arsenu na psoriázu, epilepsii a jiné záchvaty, chronický revmatismus, a choreu – vyžadující postupně se zvyšující dávky.

Christions v roce 1848 provedl podrobné studie o „bílému arsenu“. Zjistil, v jak velkých dávkách se jedná o jed a v jak malých dávkách o tonikum. Při aplikaci na povrchovou kožní lézi je začátek bolestivý, pak podráždění prochází do odlupování a ke vzniku ulcerací. Zaujalo ho, že po arsenu není v trávicím traktu žádná stopa, ale v játrech a dalších tkáních je. Uvádí nežádoucí účinky jako jsou: křeče, částečná obrna, dyspepsie, extrémní vazodilatace a pacienti nakonec umírají na smrtelnou slabost (Doyle, 2009b).

V letech 1830–1850 došlo v Británii k velkému množství otrav a úmrtí, které nebylo možné zcela jasně diagnostikovat. A proto zainteresovaní členové veřejnosti začali volat po určité kontrole prodeje bílého arsenu. Soudní důkaz pro určení přítomnosti arsenu a jeho sloučenin vynalezl James Marsh. V roce 1833 byl Marsh obžalobou povolán jako chemik v procesu vraždy, v němž byl jistý John Bodle obviněn z otravy svého dědečka kávou s obsahem arsenu. Marsh provedl standardní test smícháním podezřelého vzorku se sirovodíkem a kyselinou chlorovodíkovou. Arsen sice dokázal rozpoznat jako žlutý trisulfid arsenu, ale když došlo na jeho předvedení porotě, vzorek neuspokojil požadavky, což umožnilo podezřelého zprostit obžaloby kvůli důvodným pochybnostem. Marsh, který nebyl s výsledkem soudu spokojený, vyvinul mnohem lepší test. Zkombinoval vzorek obsahující arsen s kyselinou sírovou a zinkem bez obsahu arsenu, což vedlo ke vzniku arsínu. Plyn se vznítal a rozložil se na čistý kovový arsen, který se při přechodu na studený povrch jevil jako stříbřitě černé ložisko. Test byl tak citlivý, že dokázal detekovat sotva padesátinu miligramu arsenu.

V roce 1851 zakročila britská vláda a schválila zákon o regulaci prodeje arsenu. Prodejci vedli záznamy kupujících, tzv. poison book, které obsahovaly jméno, adresu, důvod nákupu arsenu a podpis. Počet pokusů o otravu začal klesat (Hempel, 2013).

Vývoj léků

V moderní době se užívání arsenových léků setkal s úspěchy i neúspěchy. Arsenové léky mohou být obecně seskupeny do anorganických, například oxid arsenitý a organických sloučenin, jako je atoxyl (p-aminofenylarsenát nebo kyselina p-arsanilová (p-ASA)). Atoxyl, první účinná umělá organoarsenová droga, byla syntetizována francouzským vědcem Antoinem Béchampem v roce 1859 zahřátím směsi anilinu a kyseliny arsenové. Jeho klinická účinnost byla prokázána v roce 1905, kdy lékaři Kanadčan Harold W. Thomas a Australan Anton Breinl z Liverpoolské školy tropické medicíny ji poprvé použili k léčbě lidské trypanozomiázy.

Ačkoli v důsledku vysokého obsahu arsenu způsobuje atrofii optiky, trypanocidální účinky Béchampova atoxylu inspirovaly Paula Ehrlicha (1854–1915), německého laureáta Nobelovy ceny známého jako otec chemoterapie, k zahájení rozsáhlé syntézy organických arzenů za účelem nalezení léku proti *syphilis spirochaete*. Arsfenamin byl 606. aromatický arsen, který syntetizoval v roce 1910. Sloučenina 606 byla později nazývána stříbrnou kulkou Salvarsan, prvním účinným chemoterapeutickým lékem pro léčbu syfilidy. O složení Salvarsanu se debatovalo téměř sto let. V roce 2005 Nicholas s kolegy poskytli vědecké důkazy, že Salvarsan v roztoku existuje jako cyklický druh. Stejně jako atoxyl však byla i léčba Salvarsanem zdlouhavá a vedlejší účinky nepříjemné. Méně toxické deriváty, jako je neoarsfenamin (Neosalvarsan) a oxofenarsin hydrochlorid (Mapharsen) učinily léčbu snesitelnější. Ehrlichova práce se Salvarsanem uvedla do novodobé éry chemoterapie (Paul et al., 2022).

3.1.3 Současné využití Arsenu

Arsen se řadí k 20. nejčastějšímu prvku zemské kůry, 14. v moři a 12. v lidském těle. Spalování uhlí v tepelných elektrárnách a likvidace popílku, dlouhodobá těžba a tavení sulfidových rud, odtok z důlních hlušín a aplikace pesticidů a herbicidů znamenají vypouštění obrovského množství arsenu do biosféry. Kromě toho se používá při výrobě polovodičů, olověných baterií, pesticidů a herbicidů, ve sklářském průmyslu, k rafinaci mědi a při kalení kovových slitin. Použití arsenu při konzervaci dřeva je velmi běžné a v posledních několika desetiletích výrazně vzrostlo se zhoršujícím se napadením hmyzem, houbami, bakteriemi a zvířaty, ale lze je chránit impregnační pomocí arzeničnanu měďnatého – CuO (18,5 %), Cr₂O₃ (47,5 %) a As₂O₃ (18,5 %). V jednu dobu byly sloučeniny arsenu, jako je arseničnan olovnatý, arseničnan vápenatý a arseničnan sodný, používané jako pesticidy k odkornění stromů, k hubení klíšťat, blech a vši a při hubení vodních plevelů. Tyto aplikace však byly zakázány kvůli toxickým účinkům arsenu a později kvůli povědomí veřejnosti o bezpečnosti potravin a kontaminaci životního prostředí (Flora, 2015b).

3.1.4 Fyzikální a chemické vlastnosti

Arsen se vyskytuje ve 3 různých alotropních modifikacích. Nejrozšířenější je šedý, alfa, lesklý, s křehkou krystalickou strukturou. Černý/hnědý, beta, je amorfní a žlutý, gama, arsen je měkký a krystalický (PubChem, 2004). Šedý arsen vzniká, když hydrid arsenu prochází žhavicí skleněnou trubicí, a také když se pára rychle ochladí. Má hustotu $5,727\text{g/cm}^3$, tlak páry 1 mmHg (372°C), bod varu 615°C (sublimuje), bod tání 818°C (36 atm). Žlutý arsen vzniká náhlým ochlazením par arsenu a skládá se z průhledných voskovitých krystalů. Je nestabilní – působením světla nebo mírným zahřátím se mění na kovový arsen. Má hustotu $1,97\text{g/cm}^3$, bod tání 815°C . Černý nebo hnědý arsen je metastabilní forma s ortorombickou strukturou, podobnou jako má černý fosfor. Může vzniknout ochlazením par na teplotu kolem $100\text{--}220^\circ\text{C}$ a krystalizací amorfního arsenu v přítomnosti par rtuť. Je skelný a křehký. Má hustotu $3,7\text{--}4,1\text{g/cm}^3$ (Fowler et al., 2015; Barth et al., 1977).

Další vlastnosti arsenu: je nerozpustný ve vodě, je nebezpečný při zahřátí a rozložení – emituje toxické výpary arsinu. Tvrdost podle Brinella je 147, na Mohsově stupnici tvrdosti má hodnotu 3,5 (“Encyclopedia of Metalloproteins,” 2013).

Arsen má 33 známých izotopů, jejich nukleonová čísla (A) jsou 60–93. Pouze jeden izotop je stabilní. Mají široké uplatnění v biologii a medicíně. Např. ^{72}As (s poločasem rozpadu 26 h) a ^{74}As jsou užitečné v molekulárním zobrazování, protože jsou to radioaktivní izotopy, které emitují pozitrony, které mohou být navrženy tak, aby se navázaly na monoklonální protilátky (mAb), které se hromadí v nádorech. ^{73}As a ^{76}As (s poločasy 80,3 dne, resp. 1,1 dne) jsou důležité radioaktivní indikátory používané v environmentálních a biomedicínských studiích ke kvantifikaci absorpce arsenu (PubChem, 2004).

3.1.5 Sloučeniny Arsenu

ECHA, evropská chemická agentura, uvádí na svých webových stránkách všechny sloučeniny arsenu, kterých je celkem 388 (ECHA, 2021).

Sloučeniny arsenu dělíme na dvě základní skupiny: anorganické a organické. Tyto skupiny jsou dále rozděleny na další podskupiny. V následujících tabulkách jsou uvedeny ty nejznámější a nejpoužívanější.

3.1.5.1 Anorganické sloučeniny Arsenu

Tabulka 1 Anorganické sloučeniny arsenu

Hydridy arsenu	arsan (dříve arsin, triviální název arsenovodík)	AsH ₃	bezbarvý, velmi jedovatý plyn, který vykazuje nepříjemný česnekový zápach
Jiné hydridy arsenu	domeykit	Cu ₃ As	minerál, arsenid mědi, cínově bílý až šedavý nerost kovového lesku, na vzduchu velmi rychle žlutě až pestře nabíhá
	löllingit	FeAs ₂	neprůhledný minerál s kovovým leskem, barvu má kovově šedou až cínovobílou
	chloantit	NiAs ₂	minerál sestávající z arsenidu niklu, je bílý nebo šedavý s kovovým leskem a obvykle masivní
	nikelin	NiAs	neprůhledný minerál s kovovým leskem, má světle měděnočervenou barvu, která na vzduchu pomalu černá
	smaltit	CoAs ₂	minerál se používal i při přípravě smaltu pro výrobu modré barvy v porcelánu a skle
	diarsin	As ₂ H	vedlejší produkt, který vzniká z přípravy arsinu zpracováním slitiny arsenidu hořečnatohlinitého se zředěnou kyselinou sírovou
Halogenidy arsenu	fluorid arsenitý	AsF ₃	bezbarvá kapalina, fluorační činidlo, katalyzátor, iont, implantační zdroj a dopant
	fluorid arseničný	AsF ₅	bezbarvý plyn, dopovací činidlo v elektrovedivých polymerech
	chlorid arsenitý	AsCl ₃	bezbarvá kapalina, meziprodukt pro organické arzeniky (farmaceutika, insekticidy), keramika
	bromid arsenitý	AsBr ₃	žlutá pevná látka, analytická chemie, medicína
	jodid arsenitý	AsI ₃	červená pevná látka

Oxidy a kyseliny arsenu	oxid arsenitý	As_2O_3	nejčastěji v podobě bílého prášku nebo hrudek, bez zápachu, velmi toxickou, pigmenty, keramické smalty, anilinové barvy, odbarvovací prostředek ve skle, insekticid, rodenticid, herbicid,
	oxid arseničný	As_2O_5	bílá sklovitá hmota, insekticidy, barvení a tisk, přípravek na hubení plevele, barevné sklo, lepidla na kov
	kyselina arsenitá	H_3AsO_3	slabá kyselina, je známo, že existuje pouze v roztoku
	kyselina trihydrogenarseničná	H_3AsO_4	používá se v chemii jako oxidační činidlo, jako složka prostředků pro hubení myšovitých hlodavců a roztočů a jako přísada jiných pesticidů,

Arseničnany	solí kyseliny arsenové	AsO_4^{3-}	z mnoha solí kyseliny arsenové soli draslíku, sodíku, vápníku a olova jsou komerčně důležité
-------------	------------------------	---------------------	--

Sulfidy arsenu	realgar	As_4S_4	červené sklo, existuje v rubínově červených krystalech nebo jako amorfni načervenalá hmota.
	sulfid arsenitý auripigment	As_2S_3	citronově žlutá krystalická látka, pigment, redukční činidlo, pyrotechnika, sklo se používá pro infračervené čočky, polovodiče, odstranění chlupů z kůže
	sulfid arseničný	As_2S_5	žlutá pevná látka, byl používán jako pigment a chemický meziprodukt, ale jsou obecně zajímavé pouze v akademických laboratořích
	tetraarsenictrisulfide	As_4S_3	oranžovo-žlutý
	tetraarsenicpentasulfide	As_4S_5	

3.1.5.2 Organické sloučeniny Arsenu

Tabulka 2 Organické sloučeniny arsenu

Nejčastější organické sloučeniny arsenu	Ethylarsine	C_2H_7As	Sloučeniny arsenu používané v zemědělství jako prostředky na ochranu rostlin a pesticidy jsou ve velké míře nahrazeny sloučeninami bez kovů, pro prostředky na ochranu dřeva se sloučeniny arsenu používají výlučně ve složených přípravcích
	Diethylarsine	$C_5H_{11}As$	
	Triphenylarsine	$C_{18}H_{15}As$	
	Dimethylbromoarsine	C_2H_6AsBr	
	Methyldifluoroarsine	CH_3AsF	
	Oxophenylarsine	C_6H_5AsO	
	Phenylarsonous acid	$C_6H_7AsO_2$	
	Dimethylarsinouscyanide	C_3H_6AsN	
	Methyl diphenylarsinite	$C_{13}H_{13}AsO$	
	Tetrakis(trifluoromethyl) diarsine	$C_4As_2F_{12}$	
	Pentamethylpentaarsolane	$C_5H_{15}As_5$	
	4-Ethylarsenin	C_7H_9As	
	1-Chloroarsolane	C_4H_8AsO	
	1 <i>H</i> -arsole	C_4H_5As	
	Phenylarsonic acid	$C_6H_7AsO_3$	
	Diphenylarsinic acid	$C_{12}H_{11}AsO_2$	
	Arsonoacetic acid	$C_2H_5AsO_5$	
	Diethylmethylarsonate	$C_5H_{13}AsO_3$	
	Triphenylarsine oxide	$C_{18}H_{15}AsO$	
	Tetrachlorophenylarsorane	$C_6H_5AsCl_4$	
Tetramethylarsoniumperchlorate	$C_4H_{12}AsClO_4$		
Triphenylarsonium 2-propenylide	$C_{21}H_{19}As$		
Alifatické organické sloučeniny arsenu	kyselina metylarsonová $CH_3AsO_3H_2$ (Methylarsonic acid)	používají se soli této kyseliny	Jako fungicidy při pěstování rýže a jako herbicidy při pěstování bavlny
	Kyselina arsinová/kakodylová $(CH_3)_2AsO_2H$ (Dimethylarsinic acid)	obecně se vyrábí reakcí methyl – halogenidu se solí kyseliny arsenité	nazývaná také Ansar 160, se používá jako totální herbicid a vysoušedlo

Aromatické organické sloučeniny arsenu	anilin se nechá reagovat s kyselinou arsenovou	$C_6H_5NH_2 + H_3AsO_4 \rightarrow H_2N + C_6H_4 + AsO(OH)_2$	druhá metoda se ukázala jako komerčně důležitější při výrobě arsonových
	reagují diazosloučeniny s arseničnanem sodným	$C_2H_5N_2Cl + Na_3AsO_3 \rightarrow C_6H_5 + AsO(ONa)_2 + N_2 + NaCl$	kyselin, používají se v různých průmyslových oborech, například jako inhibitory koroze pro železo a ocel a jako přísady do motorových paliv, zemědělství baktericidy, herbicidy a fungicidy

3.2 Toxicita

Toxicita arsenu je celosvětový zdravotní problém. Postihuje miliony lidí. Kontaminována může být voda, vzduch, půda i jídlo.

IARC (Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny) zařazuje arsen a jeho sloučeniny mezi karcinogeny a mutageny. Do skupiny 1, prokázaných karcinogenů pro člověka, patří arsen a jeho anorganické sloučeniny – oxid arsenitý, arsenitan a arseničnan. Způsobují rakovinu plic, močového měchýře, kůže a mohou způsobovat rakovinu ledvin, jater a prostaty. Do skupiny 2B, možných karcinogenů pro člověka, patří kyselina dimethylarsinová a kyselina monomethylarsinová. Do skupiny 3 patří arsenobetain a další organické sloučeniny arsenu, u kterých ale nelze posoudit karcinogenitu u člověka, protože nejsou metabolizovány v lidském těle (IARC, 2012).

Toxicita arsenu inaktivuje až 200 enzymů, především ty, které se podílejí na buněčných energetických drahách, replikacích a opravách DNA, a nahrazuje fosfáty ve vysoce energetických sloučeninách, jako je ATP. Nevázaný arsen rovněž vykazuje svou toxicitu tím, že během redoxního cyklování a metabolických aktivačních procesů, které způsobují peroxidaci lipidů a poškození DNA, vytváří reaktivní kyslíkové meziprodukty. Zejména $^{29}As^{III}$ váže thiol nebo sulfhydryl skupiny v tkáňových proteinech jater, plic, ledvin, sleziny, gastrointestinální sliznice a v tkáních bohatých na keratin (kůže, vlasy, a nehty) (Abernathy et al., 1999).

3.2.1 Expozice, absorpce, metabolismus

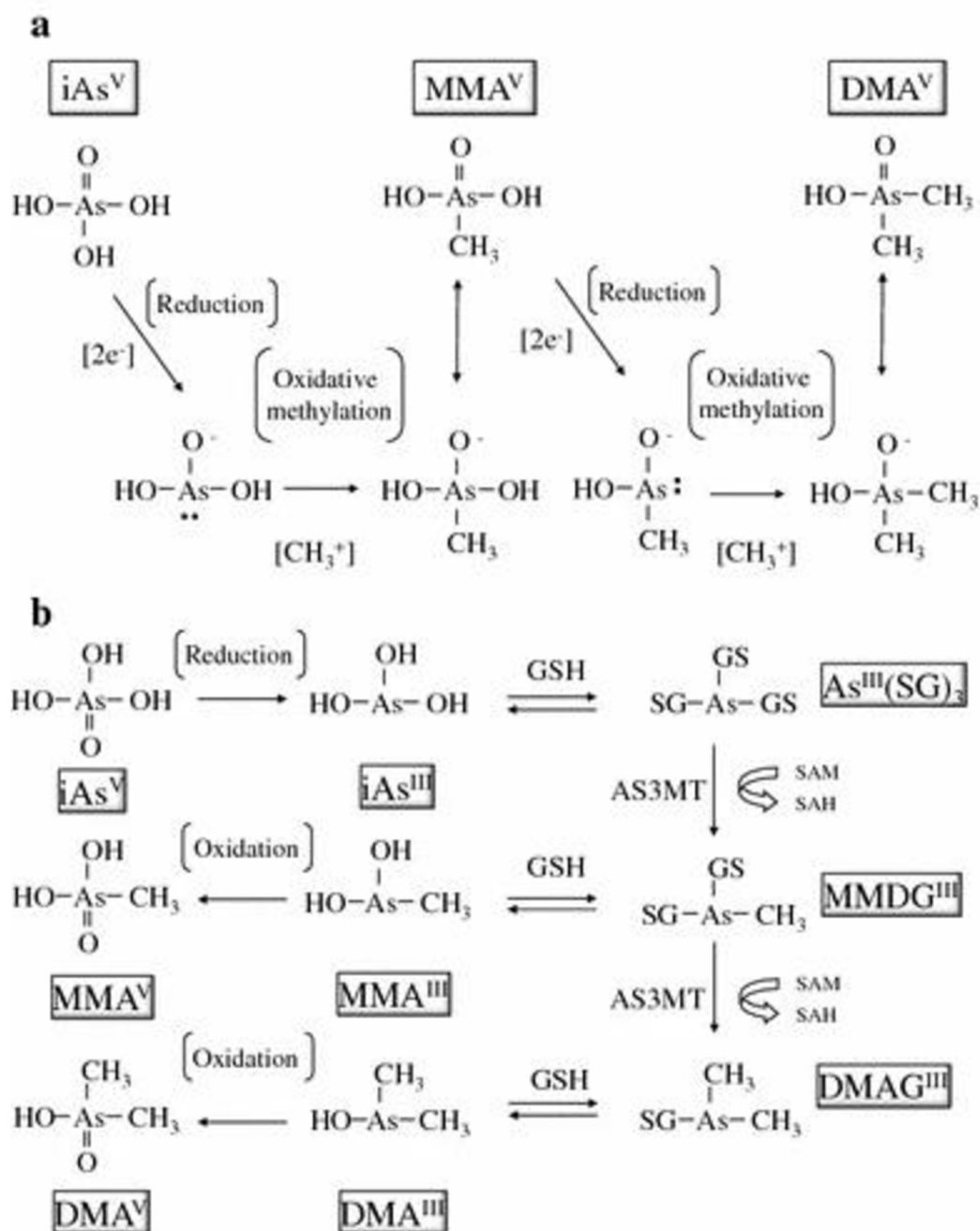
K expozici arsenu dochází různými cestami: vdechováním, absorpcí kůží, a především požitím kontaminované pitné vody a potravin. Arsen se v potravinách vyskytuje v relativně

netoxických organických sloučeninách (arsenobetain a arsenocholin), hlavně v mořských plodech, rybách a řasách. Tyto sloučeniny způsobují zvýšené hladiny arsenu v krvi, ale jsou rychle vylučovány v nezměněné podobě močí. Příjem arsenu je vyšší z potravin než z tekutin. Organické i anorganické sloučeniny arsenu mohou vstupovat do rostlinného potravinového řetězce ze zemědělských produktů nebo z půdy zavlažované kontaminovanou vodou.

Hlavním místem absorpce je tenké střevo, elektrogenním procesem zahrnujícím protonový (H^+) gradient. Optimální pH pro absorpci arsenu je 5,0, i když v prostředí v tenkém střevě je pH přibližně 7,0 v důsledku sekrece pankreatických šťáv.

Absorbovaný arsen prochází jaterní biomethylací za vzniku kyseliny monomethylarsonové a kyseliny dimethylarsinové. Jsou méně toxické, ale ne zcela neškodné. Zhruba 50 % požitá dávka může být vyloučeno močí za 3–5 dní. Dominantní močovou látkou je metabolit kyseliny dimethylarsinové DMA (60 %–70 %) ve srovnání s monomethylarsonovou kyselinou MMA. Vylučuje se také malé množství nezměněného anorganického arsenu. Po akutní otravě ukazují studie pomocí ET-AAS (elektrotermální atomová absorpční spektrometrie), že nejvyšší koncentrace arsenu je v ledvinách a játrech. Při chronickém požití arsenu se arsen hromadí v játrech, ledvinách, srdci a plicích, menší množství ve svalech, nervovém systému, gastrointestinálním traktu a slezině. Ačkoli většina arsenu je z těchto míst odstraněna, zbytkové množství zůstává ve tkáních bohatých na keratin, nehtech, vlasech a kůži – ukládá se po asi dvou týdnech od požití.

Popis níže uvedeného obrázku: Oxidativní methylační dráha (a) a glutathionová konjugační (redukční) dráha (b) pro metabolismus arsenu u savců. Požitý arseničnan (iAs^V) se přemění na kyselinu monomethylarsonovou (MMA^V) a kyselinu dimethylarsinovou (DMA^V). V oxidativní methylační dráze dochází současně ke změně z trojmocného na pětímocný arsen a k methylaci arsenu. Při tomto procesu také dochází k přenosu methylového kationtu (CH_3^+) z S - adenosylmethioninu. V konjugační dráze glutathionu se nejprve tvoří triglutathion arsenu ($As^{III} (SG)_3$), s $As^{III} (SG)_3$ ten se následně methyluje za vzniku monomethylarsendiglutathionu ($MMDG^{III}$) a dimethylarsenového glutathionu ($DMAG^{III}$). Následně jsou konjugáty arsen-glutathion hydrolyzovány a poté oxidovány za vzniku konečných metabolitů arsenu, jako jsou MMA^V a DMA^V . Meziprodukty arsenu, MMA^{III} a DMA^{III} , jsou vysoce toxické a předpokládá se, že jsou to formy, které jsou zodpovědné za toxicitu arsenu, včetně karcinogeneze (Watanabe & Hirano, 2013).



Obrázek 2 Oxidativní methylační dráha (a) a glutathionová konjugační (redukční) dráha (b) pro metabolisms arsenu u savců (Watanabe T. & Hirano S., 2013)

3.2.2 Akutní toxicita

Většina případů akutní otravy arsenem vzniká náhodně požitím insekticidu nebo pesticidu, méně často u pokusů o sebevraždu. Malé množství (<5 mg) vedou ke zvracení a průjmům, které odezní do 12 hodin a léčba není nutná. Smrtelná dávka arsenu při akutní otravě se pohybuje od 100–300 mg, odhadnutá smrtelná dávka anorganického arsenu pro člověka je přibližně 0,6 mg/kg/den. V závislosti na spotřebovaném množství smrt obvykle nastane během 24 hodin až čtyř dnů. Klinické příznaky se zpočátku vždy týkají gastrointestinálního projevu a jsou to: nevolnost, zvracení, kolika břišní a vodnatý průjem. Bolest břicha může být závažná a napodobovat náhlou příhodu břišní a dochází

k nadměrnému slinění. Další příznaky: akutní psychóza, rozsáhlé kožní vyrážky, kardiomyopatie a záchvaty. Vodnatý průjem je připisovaný zvýšené propustnosti krve. Příčinou smrti je masivní ztráta tekutin v důsledku sekrece z GIT (gastrointestinálního traktu) vedoucí k těžké dehydrataci, snížení objemu cirkulující krve a následný oběhový kolaps. U posmrtného vyšetření je hlášena ezofagitida, gastritida a steatóza jater. Hematologické abnormality: hemoglobinurie, intravaskulární koagulace, útlum kostní dřeně, pancytopenie, normocytární normochromní anémie a bazofilní tečkování. Respirační selhání a plicní edém. Nejčastější neurologický projev je periferní neuropatie a encefalopatie. K metabolickým změnám patří acidóza. Nejlepším ukazatelem koncentrace arsenu v těle je 1-2 dni stará moč (Raitnake T.N., 2003).

3.2.3 Chronická toxicita

Dlouhodobá toxicita arsenu vede k multisystémovým onemocněním a malignitám. Klinické příznaky toxicity arsenu se liší mezi jednotlivci, populacemi, skupinami a geografickými oblastmi. Není jasné, jaké faktory určují výskyt konkrétní klinické manifestace. Chronická toxicita má široké spektrum běžných klinických příznaků. Začátek je spojený s nespecifickými příznaky jako bolesti břicha, průjem a bolesti v krku.

Kůže. Při dlouhodobé expozici dochází k četným kožním změnám, jako je hyperpigmentace, palmární a solární keratóza. Hyperpigmentace se vyskytuje jako difúzní tmavě hnědá skvrna, méně diskrétní difúzní ztmavnutí kůže nebo má charakteristický vzhled „dešťové kapky“. Sdružené onemocnění s arsenem je rakovina kůže, Bowenova choroba s neobvyklým projevem u Asiatů může být způsobena vysokým obsahem kožního melaninu. Arsen může způsobit bazocelulární karcinom u kůže, která nemá melaninový pigment. U pacientů léčených Fowlerovým roztokem, u pracovníků vinic s použitím arsenových pesticidů a z pití kontaminovaného vína může být latentní období po expozici až 60 let. Dalším projevem je usazování arsenu v keratinu – vznikají výrazné příčné bílé čáry na nehtech prstů a palců.

Gastrointestinální trakt. Průjem je hlavním a časným příznakem při akutní otravě. Při chronické toxicitě se objevuje průjem s opakujícími se záchvaty v spojení se zvracením. Podezření na požití arsenu mohou způsobit také kožní změny a neuropatie.

Kardiovaskulární onemocnění. Zvýšené riziko mají dělníci v hutích. Arsen způsobuje přímé poškození myokardu, srdeční arytmie a kardiomyopatie. Onemocnění černé nohy je onemocněním periferních cév, které způsobuje gangrénu nohy na jihozápadním pobřeží Tchaj-wanu, kvůli dlouhému dlouhodobému vystavení vysokému množství arsenu ve vodě z artéských studní.

Nervová soustava. Neurologických účinků je mnoho a jsou rozmanité. Nejčastějším příznakem je periferní neuropatie napodobující Guillain-Barrého syndrom. Účinky toxicity zahrnují také změny v chování, zmatenost a ztrátu paměti. Zvýšená prevalence cerebrovaskulárních onemocnění, zejména mozkový infarkt, byl pozorován u mužů a žen, kteří zažili dlouhodobou expozici arsenu ze studniční vody.

Vylučovací soustava. Zvýšená úmrtnost z nefritidy, rakoviny prostaty, nádory močového měchýře a ledvin. Vysoké hladiny arsenu v pitné vodě ze studní jsou spojeny

s buněčnými karcinomy močového měchýře, ledvin, močovodu a celé močové trubice, rakoviny u mužů i žen a adenokarcinomů.

Dýchací soustava. Studie z Indie upozorňují na restriktivní i obstrukční onemocnění plic. Chronická toxicita má souvislost mezi dýchacími onemocněními a kožními projevy. K dalším projevům patří bronchitida.

Endokrinní soustava. Vystavení vysokým koncentracím arsenu je spojeno se zvýšeným rizikem diabetes mellitus a objevuje se také toxická neutropenie.

Nádorová onemocnění. Vztah mezi arsenem a malignitou vzbuzuje rostoucí obavy, protože miliony lidí jsou potenciálními oběťmi, jelikož je spojován s rakovinou kůže, plic, jater, ledvin a močového měchýře.

Diagnóza – ke kvantifikaci se používají analýzy vzorků krve, moči a vlasů ke sledování expozice. Hladiny mezi 0,1 a 0,5 mg/kg u vzorku vlasů ukazují na chronickou otravu, zatímco 1,0 až 3,0 mg/kg indikuje akutní otravu.

Zcela překvapivě se nedostatek arsenu se u zvířat projevuje zvýšenou úmrtností, sníženou plodností, zvýšenou mírou samovolných potratů, nízkou porodní hmotností u potomků a poškozením červených krvinek. U zvířat je denní potřeba 12–25 µg/den (Raitnake T.N., 2003).

3.2.4 Limity stanoveny pro Arsen

Současný doporučený limit podle WHO, světové zdravotnické organizace, je pro arsen v pitné vodě **10 µg/L**. Miliony lidí na celém světě jsou však vystaveny arsenu v koncentracích mnohem vyšších, než je směrná hodnota (100 µg/l nebo vyšší). V oblasti veřejného zdraví je prioritou snížení této expozice pro dané lidi na minimum (WHO, 2022).

Vyhláška 153/2016 Sb. stanovuje v zemědělské půdě tzv. preventivní limity rizikových látek a prvků. Pro arsen byly stanoveny tyto hodnoty: pro běžné půdy **20 mg/kg sušiny** (extrakce lučavkou královskou), pro lehké půdy: **15 mg/kg sušiny** (extrakce lučavkou královskou). Indikační hodnota, při jejímž překročení může být ohroženo zdraví lidí a zvířat je **40 mg/kg sušiny** (extrakce lučavkou královskou) (EP, 2016).

ČSN EN 15841 Norma uvádí metody pro stanovení depozice arsenu (As), kadmia (Cd), niklu (Ni) uvedené v rámci směrnice Evropského parlamentu a Rady o kvalitě venkovního ovzduší. Stanovuje postupy pro odběr vzorků čisté mokré depozice a vzorků mokré depozice s částí suché depozice As, Cd, Ni a Pb, postupy úpravy vzorků a analýzy metodami GF-AAS nebo ICP-MS – vhodné pro měření depozice ve venkovských, odlehlých oblastech, průmyslových a sídelních oblastech. Rozsahy stanovitelnosti byly validovány následovně: **As 0,05 -2 µg/(m²·den)**, Cd 0,01 -1 µg/(m²·den), Ni 0,05 - 25 µg/(m²·den) a Pb 0,1 - 65 µg/(m²·den)(ÚNMZ, 2009).

ČSN ISO 17378-2 norma specifikuje metodu (HG-AAS) pro stanovení arsenu a antimonu ve vodě. Tato metoda je použitelná pro pitnou, povrchovou, podzemní, dešťovou a odpadní vodu, NE mořskou vodu. Přibližný lineární rozsah pro As a Sb je **0,5 µg/l - 20 µg/l**. Vzorky obsahující vyšší koncentrace než uvedený rozsah použití mohou být po vhodném zředění analyzovány (ÚNMZ, 2015).

3. března 2023 vyšlo nové nařízení komise (EU) 2023/465, kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006, pokud jde o maximální limity arsenu v určitých potravinách.

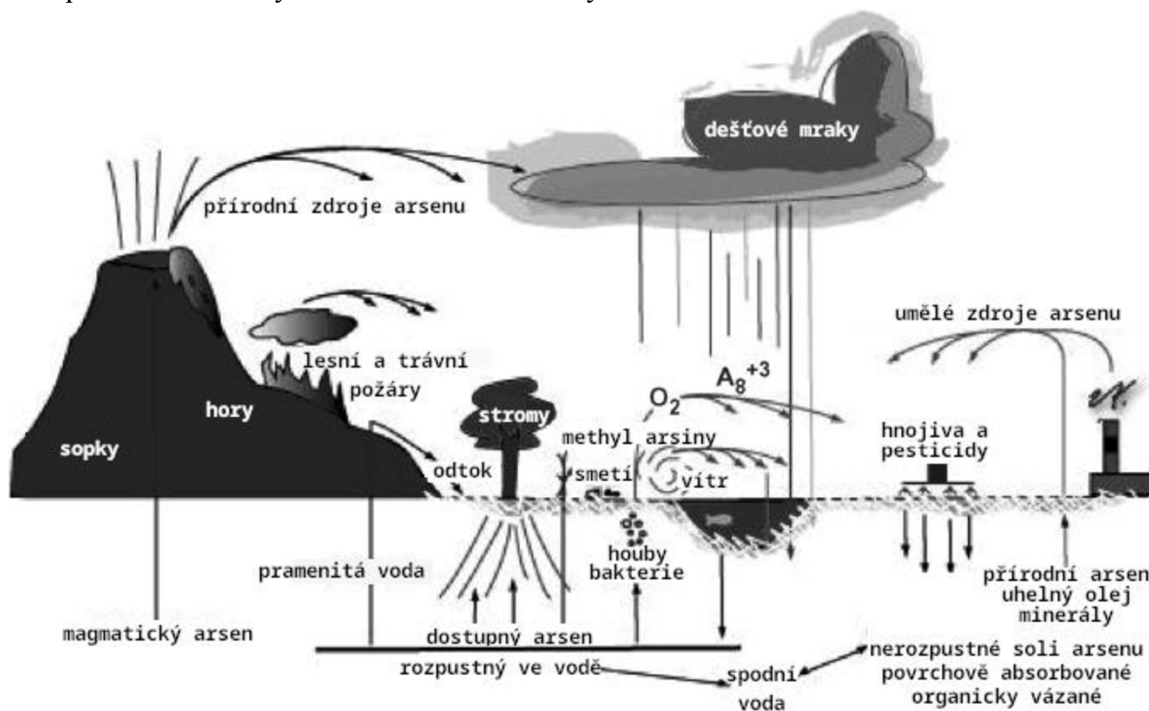
Tolerovatelný týdenní příjem ve výši 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tělesné hmotnosti stanovený FAO/WHO odborníci pro potravinářské přídatné látky (JECFA) již neodpovídá. Bylo prokázáno, že anorganický arsen způsobuje rakovinu plic, močového měchýře, kůže a byla zaznamenána řada nepříznivých účinků i při nižších expozicích. Komise CONTAM určila nový rozsah spodních limitních hodnot spolehlivosti referenční dávky v rozmezí **0,3 až 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$** tělesné hmotnosti na den. Nejvíce ohroženou skupiny jsou lidé s vysokou spotřebou rýže a děti do 3 let (EHP, 2023).

OIV (Mezinárodní organizace pro révu a víno) kvůli obavám z kontaminace vína arsenem schválila limit pro víno **200 $\mu\text{g}/\text{l}$** .

Akutní toxicita arsenem byla pozorována při příjmu pitné vody obsahující vysoké koncentrace As přibližně **21,0 mg/l** . Chronická toxicita byla pozorována hlavně u dětí, které pijí vodu kontaminovanou arsenem (průměrná koncentrace **0,6 mg/l**) v průměru po dobu 7 let (Stockley et al., 2021).

3.3 Zdroje kontaminace životního prostředí

Arsen, stejně jako jiné přirozeně se vyskytující prvky (včetně P), má tendenci se v prostředí cyklovat. Toto cyklování zajišťuje, že lidé jsou vždy a nevyhnutelně vystaveni As. As je skutečně přítomen ve všech živých organismech a každý organismus od *Escherichia coli* po člověka má vyvinuté detoxikační cesty.



Obrázek 3: Cyklus arsenu v přírodě (upraveno (Jones F.T., 2007))

Obsah As v půdách je v průměru 5 až 6 mg/L , no může se vyskytovat v rozmezích od 0,2 do 40 mg/L ppm. Většina přirozeně se vyskytujícího arsenu byla transportována ve formě částic ze zvětralých hornin. Avšak v blízkosti tavicích provozů a kolem starších sadů, kde byly používány arsenové pesticidy, byly zjištěny úrovně v půdě 100 až 2 500 mg/L As. Ačkoli se odhaduje, že asi 80 % celkového množství antropogenního arsenu uvolněného

do životního prostředí se nachází v půdě, většina sloučenin As zůstává ve formě částic a adsorbuje se na částice půdy, které jsou transportovány vyluhováním pouze na krátké vzdálenosti v půdě. Adsorpční kapacita půdy pro As pozitivně koreluje s obsahem volného oxidu Fe, MgO, Al₂O₃ a jílu v půdě. Bylo prokázáno, že mnoho běžných mikrobiálních rodů (*Bacillus*, *Clostridium*, *Alcaligenes* a *Citrobacter*) převádí sloučeniny As na plynný arsin nebo methylarsin, čímž se snižuje množství arsinu přítomného v půdách

Arsen v rostlinách. Po desetiletí je známo, že půdy se zvýšenými hladinami As (tj. ≥ 20 mg/L) produkují rostliny se zvýšenými hladinami As. Je však třeba si uvědomit, že mnoho z těchto studií bylo provedeno s půdami obsahujícími >500 mg/L, zatímco většina půd obsahuje ≤ 10 mg/L As. Kromě toho mohou být koncentrace As v půdě 10 až 1000 krát vyšší než v rostlinách rostoucích na této půdě. Kromě toho je distribuce As mezi různými částmi rostlin vysoce variabilní. Semeny a plody mají nižší koncentraci As než listy, stonky a kořeny. Kořeny a hlízy mají obecně nejvyšší koncentrace As, přičemž slupka má vyšší koncentrace než vnitřní dužina. V jedlých částech zeleniny se zřídka akumulují vysoké koncentrace As, protože většina rostlin bude usmrcena nebo vážně zakrněna dlouho předtím, než koncentrace As v jejich tkáních dosáhne koncentrací, které představují zdravotní riziko.

Jak již bylo naznačeno, arsen není snadno přijímán rostlinami, a proto je nepravděpodobné, že by představoval problém. Je však třeba si uvědomit, že obsah arsenu nalezený v rostlinách bude také záviset na půdních podmínkách. S ekvivalentními koncentracemi arsenu v půdě mají rostliny pěstované na písčité nebo hlinitopísčité půdě obvykle vyšší celkový obsah arsenu než rostliny pěstované na půdách s těžší texturou. Rostliny obecně absorbují nejmenší množství půdy, stejně jako při neutrálním pH půdy a bylo zjištěno, že zvýšení půdní organické hmoty přidáním kompostu, hnoje nebo jiných organických úprav půdy snižuje příjem půdy rostlinami. Přidání vápna do půdy má tendenci znehybnovat arsen. Bylo však zjištěno, že přidání fosfátových doplňků do půd s vysokým obsahem arsenu zvyšuje příjem půdního arsenu rostlinami. Tento jev může být způsoben chemickou podobností mezi P a As, které jsou ve stejném sloupci periodické tabulky, 1 řádek od sebe (Jones, 2007).

3.4 Analytické metody pro stanovení množství arsenu

Pro detekci arsenu lze použít několik citlivých a elementárních technik. Výběr metod extrakce a přípravy vzorků musí být komplementární a kompatibilní s metodou separace, aby mohla být provedena kvalitativní a kvantitativní analýza druhů arsenu a jeho koncentrace. Různé detekční techniky jsou: atomová hmotnostní spektrometrie, molekulová hmotnostní spektrometrie, optická spektrometrie, röntgenové metody a další (voltametrie, potenciometrie, konduktometrie a spektrofotometrie), které poskytují různou úroveň specifičnosti, nákladové efektivity a limitů detekce.

ICP-MS je nejběžněji používaná technika pro detekci více druhů arsenu kvůli své vysoké citlivosti, vysoké selektivitě a širokému dynamickému rozsahu. Spojení chromatografie s ICP-MS má několik výhod díky kompatibilitě mobilní fáze s chováním plazmového hořáku a pečlivě stanovené interferenci kontroly kvality. Byly vyvinuty různé techniky k odstranění nebo snížení izobarické interference při detekci arsenu poměrem hmotnosti k náboji. V poslední době pomáhá kombinace ICP a trojitě kvadrupólové tandemové hmotnostní spektrometrie (ICP-QQQ) ve srovnání s tradiční jednkvadrupólovou ICP-MS eliminovat izobarickou interferenci, redukovat pozadí a zlepšovat selektivitu. Kvantifikace se provádí přípravou standardních roztoků komerčně dostupných látek (iAs(III), iAs(V), MA, DMA a AB). Obecně je známo, že arzeničnan se používá ke kalibraci aniontových látek a arsenobetain ke kalibraci kationtových látek. DMA je považován za nejvhodnější kalibrační standard pro kvantifikaci lipidů arsenu. Citlivost ICP-MS k detekci arsenu je omezena jeho relativně vysokým ionizačním potenciálem. Aby se tento efekt kompenzoval, byly použity různé metody, včetně přidání doplňkového roztoku methanolu nebo ethanolu do rozprašovací komory nebo za kolonu přes T-kus a použití korekčních faktorů odezvy. Nakonec byla k překonání nespektrálních maticových efektů a instrumentálního driftu použita vnitřní standardizace.

V poslední době je molekulární hmotnostní spektrometrie považována za perspektivní techniku pro analýzu speciace arsenu, zejména pro detekci nových organických druhů arsenu, jako jsou thioarsenocukry a arsenolipidy. Při této detekční technice je vyčištěná část extrahovatelného vzorku zavedena elektrosprejovou ionizací (ESI) a poté je hmotnostní spektrometrie kombinována s kapalinovou chromatografií. Obecně se pro formy As používá jednoduchý kvadrupólový hmotnostní analyzátor, zatímco tandemová hmotnostní spektrometrie se používá pro přesné určení struktury, ať už se jedná o „prostorový“ trojitý kvadrupól nebo kvadrupólovou časovou kombinaci, nebo o „časový“ a Orbitrap systém. Bylo však zjištěno, že analýza ESI-MS postrádá selektivitu pro komplexní matrice a kvantifikace je obtížnější než ICP-MS. Proto se jako detektor stejného chromatografického systému používá nejvýkonnější nastavení pro analýzu speciace arsenu, které kombinuje atomové a hmotnostní spektrometry.

Technika optické spektroskopie, jako je atomová absorpční spektroskopie (AAS) a atomová fluorescenční spektroskopie (AFS), je mezi výzkumníky oblíbená jako atraktivní alternativa k hmotnostní spektrometrii. Vzhledem k nízkým pořizovacím a provozním nákladům, vysoké rychlosti, nízké spotřebě organických rozpouštědel, vysokému koeficientu obohacení, v kombinaci s tvorbou hydridů poskytuje vysokou citlivost a snížený maticový efekt, byla tato technologie aplikována na stanovení druhů arsenu ve vzorcích životního

prostředí. Kromě toho systémy generování hydridů (HG-AAS a HG-AFS) usnadňují přímé měření více As. Atomová absorpční spektroskopie grafitové pece může být nezávislým zařízením a nevyžaduje AsH₃ kvůli nízké úrovni interference. Ve skutečnosti je optická spektroskopie účinnou technikou, když je kombinována s různými separačními technikami a chemickými modifikátory, lze identifikovat iAs(III), iAs(V), MA, DMA a TMAO a významnou tvorbu hydridů arsenocukrů a lze pozorovat thioarsenáty. Přesto se HGAAS a HG-AFS používají hlavně pro vzorky vody, extrakty sedimentů a půdy a rostliny obsahují hlavně anorganický arsen. Tyto techniky jsou také použitelné pro biologické substráty a tvrdohlavější analýzu arsenu.

Röntgenová metoda je důležitou technikou pro morfologickou analýzu vzorků životního prostředí, která dokáže zaznamenat nezpracovaná data o chemickém prostředí atomů arsenu in situ bez přípravy vzorků. Röntgenová atomová absorpční spektroskopie (XAS) je obecně rozdělena do dvou oblastí: rentgenová absorpce v blízkosti okraje (XANES) a rozšířená rentgenová absorpční jemná struktura (EXAFS). Tyto technologie se používají především k přímé detekci pevných vzorků, včetně sedimentů, půdy a rostlin. XANES i EXAFS studovaly abiotické matrice pro měření redoxního stavu arsenu a geochemické korelace (Zia et al., 2021).

Elektrochemické metody obecně zahrnují přenos náboje mezi povrchem elektrody a kapalnou nebo pevnou fází. Obě mezifázové reakce a elektrická vodivost v objemovém roztoku přispívají k tomuto procesu přenosu náboje. Elektrochemické techniky jsou považovány za uživatelsky přívětivé, protože se řídí jednoduchými postupy bez reagentů a nízkými náklady. Elektroanalytické techniky lze miniaturizovat a automatizovat pro měření in situ. Tyto metody mají ve srovnání s jinými analytickými technikami minimální změny vzorku, kontaminaci činidly nebo ztráty adsorpcí na nádobách. Poskytuje poměrně rychlou analýzu s experimentálními daty. Není pochyb o tom, že došlo k významnému pokroku ke zlepšení citlivosti a limitu detekce, protože byla vyvinuta řada elektrochemických technik s potenciálovou nebo proudovou modulací, např. diferenciální pulzní voltametrie (DPV), obdélníková voltametrie (SWV) nebo stripovací chronopotenciometrie (SCP). Kromě toho byly práce na zvýšení selektivity, zejména v případě detekce těžkých kovů, prováděny prostřednictvím strategií povrchové funkcionalizace.

K vývoji levných, rychlých, citlivých a reprodukovatelných metod pro druhy arsenu, které mohou pracovat s nízkými detekčními limity, je však stále zapotřebí výzkumného úsilí (Zaib et al., 2015).

3.4.1 Studie zabývající se Arsenem ve víně

Na obrázku je vyfoceno zrající víno ve vinné oblasti Kutná Hora.



Obrázek 4 Zrající víno

Huang H.J. et al. publikoval v roce 2012 studii zabývající se výskytem a stabilitou anorganických a organických druhů arsenu ve vínech, rýžových vínech a pivech ze středoevropského trhu. Zkoumal celkem 80 vzorků vína, 7 vzorků hroznové šťávy a 23 vzorků piva zakoupených v Německu, Švýcarsku a Rakousku. Zjistil, že celková koncentrace arsenu byla ve většině zkoumaných vzorků nižší, než je limit 10 $\mu\text{g/l}$ pro pitnou vodu stanovený WHO, v rozmezí od 0,46 do 21,0 $\mu\text{g/l}$ v červených a bílých vínech a od 0,75 do 13,4 $\mu\text{g/l}$ v pivech. V rýžovém víně od 0,63 do 6,07 $\mu\text{g/l}$, v rýžovém pivu od 3,69 do 8,23 $\mu\text{g/l}$ a v ledovém víně 7,94-18,8 $\mu\text{g/l}$. Závěr studie je, že odhadovaná týdenní expozice As je nízká. Významnější účinky arsenu se mohou projevit pouze u konzumentů, kteří vypijí více než 3 litry piva denně a přijmou tak přes 75,6 μg arsenu za týden. Organizace FAO a WHO doporučují tolerovatelný týdenní přísun anorganických forem arsenu 15 $\mu\text{g/kg}$ živé hmotnosti (Huang et al., 2012).

Wilson D. v roce 2015 zkoumal obsah arsenu v americkém víně. Bylo zkoumáno celkem 65 reprezentativních vín z čtyř nejlepších vinařských států. Všechny vzorky obsahovaly úroveň arsenu, které překračovaly U.S. EPA limit pro pitnou vodu 10 ppb (10 $\mu\text{g/l}$). Průměrné množství detekovaného arsenu mezi všemi studovanými vzorky bylo 23,3 ppb. Olovo, společný kontaminant arsenu, bylo detekováno v 58 % testovaných vzorků, ale pouze v 5 % překročilo expoziční limit U.S. EPA pro pitnou vodu 15 ppb. Hladiny arsenu v amerických vínech převyšovaly hladiny nalezené v jiných studiích zahrnujících vodu, balenou vodu, jablečný džus, směs jablečné šťávy, mléko, rýžový

sirup a další nápoje. V USA může všudypřítomný arsen ve víně představovat potenciální zdravotní riziko pro pravidelné konzumenty vína (Wilson, 2015).

Aguilar M. V. et al. v roce 1978 publikoval studii vliv vinařské techniky na obsah arsenu v mošttech a vínech. Zjistil, že vína rosé obsahují víc As, než vína červená, protože vyžadují kratší dobu kontaktu se slupkou. Kromě toho během procesu výroby vína dochází k poklesu obsahu As hlavně během fáze fermentace a macerace (Aguilar et al., 1987).

Bertoldi D. et al. publikovala v roce 2012 studii o přítomnosti arsenu v řetězci půda – vinná réva – listy – hrozny – víno v staré důlní oblasti ve Trentinu, v Itálii. Zjistila, že množství arsenu dostupného v půdě se pohybovalo od 18 do 639 mg/kg, v listech vinné révy bylo od 16,3 do 579 mg/kg suché hmotnosti (medián 70,5 mg/kg). Byly zjištěny výrazně vyšší hodnoty pro rostliny pěstované v dobývacím prostoru s mediánem 179 mg/kg hmotnosti sušiny. V samotném víně byly hladiny arsenu vždy nižší než 1,62 mg/L, s vyšší koncentrací u vín červených. Mezi koncentracemi As v půdě, listech a bobulích byly významné korelace. Množství arsenu ve víně bylo vždy minimálně 100 krát nižší, než je limit stanovený OIV (Bertoldi et al., 2013).

4 Metodika

V praktické části této diplomové práce se dělala analýza arsenu a dalších rizikových a stopových, ale i makro-prvků v komerčně dostupném víně. Bylo zkoumáno celkem 20 různých vín z České republiky, ze třech vinařství – Vinné sklepy Hutná Hora, vinařství Kraus Mělník a Moravíno Valtice.

4.1 Použitá přístrojová a laboratorní technika

Kvůli zabránění kontaminace vzorků bylo veškeré použité laboratorní sklo předem řádně umyto, následně 4krát propláchnuto stříčkou s ultračistou vodou a vysušeno.

Z laboratorní techniky byly použité skleněné kádinky (různých objemů), odměrné baňky, odměrné válce, PP centrifugační zkumavky, jednorázové zkumavky z transparentního polystyrenu, automatické pipety (pro různé objemy), špičky na pipety, 5 ml stříkačky, filtry na stříkačky a další.

Z přístrojové techniky byla použita analytická váha, AdronaCrystal přístroj pro výrobu ultračisté vody, vhodné pro vysoko citlivé analýzy a ICP-OES spektrometr Thermo scientific iCAP 7000 Series.

4.2 Původ vzorek vína

Použité víno je komerčně dostupné a bylo zakoupeno přes eshopy konkrétních vinařství, v uzavřených skleněných láhvích. Každá láhev byla pro zjednodušení očíslována čísly od 1 do 20.

Vín bylo celkem 20 ks. Z vinařství vinné sklepy Kutná Hora bylo analyzováno 14 láhví, z vinařství Kraus z Mělníka 3 ks a z vinařství Moravíno Valtice 3 ks.

První 3 láhve jsou odrůdy Rulandské šedé (Pinot gris) z roku 2019. Láhve 4–6 jsou odrůdy Rulandské modré (Pinot noir) z roku 2019 a 7–9 jsou Ryzlink rýnský z roku 2018, ze všech tří vinařství

Láhve 10–20 jsou všechny z Kutné Hory.

Vína byla bílá – 12 ks, červená – 6 ks, růžová – 1 ks, a jedno biodynamické šumivé. Vína jsou uvedena v následující tabulce a na následujících fotkách.

Tabulka 3 Přehled názvů odrůd, ročníků a vinic (když bylo uvedeno na láhvi) všech 20 vin použitých pro analýzu, dále uvedeny pod čísly 1–20.

	Odroda	Vinářství
1	Rulandské šedé 2019	KH - Vinice nad Kapličkou
2	Rulandské šedé 2019	Mělník
3	Rulandské šedé 2019	MV - Pod svatým kopečkem, Mikulov
4	Rulandské modré 2019	KH - Vinice u všech svatých
5	Rulandské modré 2019	Mělník
6	Rulandské modré 2019	MV - Pod svatým kopečkem, Mikulov
7	Ryzlink rýnský 2018	KH - Vinice u všech svatých
8	Ryzlink rýnský 2018	Mělník
9	Ryzlink rýnský 2018	MV - Viniční trať Kačisdorfské pole
10	Müller Thurgau 2021	KH - Vinice nad Kapličkou
11	Solaris 2021	KH - Vinice nad Kapličkou a u Borku
12	Hibernal 2019	KH - Vinice na Příčce
13	Tramín Kořenný 2019	KH - Vinice u všech svatých a na Příčce
14	Muškat Ottonel 2019	KH - Vinice nad Kapličkou
15	Regent Rosé 2019	KH - Vinice u Borku
16	Chardonnay 2019	KH - Vinice nad Kapličkou
17	Svatovavřínecké 2021	KH
18	Svatovavřínecké 2018	KH - Vinice nad Kapličkou
19	Svatovavřínecké 2017	KH - Vinice nad Kapličkou
20	Mladý Punk Ryzlink rýnský 2021	KH - biodynamické víno



Obrázek 5 Vyfocená očíslovaná vína číslo 1-9.



Obrázek 6 Vyfocená očíslovaná vína číslo 10–20.

4.3 Příprava vzorků, ladících roztoků a úprava vzorků

První připravená zkumavka byla tzv blank, slepý vzorek, s nulovým obsahem měřeného analytu.

Následně byly do odměrných baněk připraveny kalibrační roztoky standardů.

První byl použitý certifikační referenční materiál pro 19 prvků, s koncentrací 1g/l u všech: Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn ve 5% HNO₃.

Druhý byl použitý jednoprvkový ICP standardní roztok antimonu, s koncentrací 1 g/l, matrix 20 % HCl.

Třetí použitý byl certifikační referenční materiál pro 3 prvky, s koncentrací 1 g/l u každého: P, S, Si ve vodě. Z těchto standardů byly naředěny kalibrační roztoky o koncentracích 1, 5 a 25 mg/l.

Do standardů jsme přidávali etanol.



Obrázek 7: Připravené vzorky

Pak následovala příprava vína pro analýzu. Z každého vína bylo připraveno celkem 9 vzorků:

- 3 zkumavky nezředěné filtrované víno,
- 3 zkumavky zředěné 1:10 s destilovanou vodou a filtrované víno,
- 1 ks 50 ml centrifugační zkumavka (do lednice) a
- 2 ks centrifugační zkumavky 30 ml (do mrazáku).

Pomocí ICP-OES bylo analyzováno a vyhodnoceno celkem 60 vzorků (20 vin, z každého 3 zkumavky víno filtrované a zředěné v poměru 1:10).

4.4 Analýza vzorků

Pro určení arsenu a dalších prvků ve víně jsme zvolily optickou emisní spektrometrii s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES). Byl použitý Thermo scientific iCAP 7000 series ICP spektrometr. Při této metodě přijímají atomy prvků v plazmovém výboji energii

a přecházejí za současné ionizace do excitovaných stavů. Částice vyzařují záření s charakteristickými spektrálními čarami pro daný prvek, při návratu do základního stavu. Spektroskopická analýza záření vede k informacím o prvcích, které tohle záření vysílají, a ke množství daného prvku ve vzorku. Identifikace neznámého prvku probíhá srovnáváním spektrálních čar záření se známými čarami z knihovny přístroje.

Stanovení množství obsahu nalezeného prvku je založeno na úměře mezi intenzitou vysílaného záření na vybrané vlnové délce a obsahem prvku ve vzorku. Úměra se stanovuje kalibrace přístroje pro daný prvek a vlnovou délku.

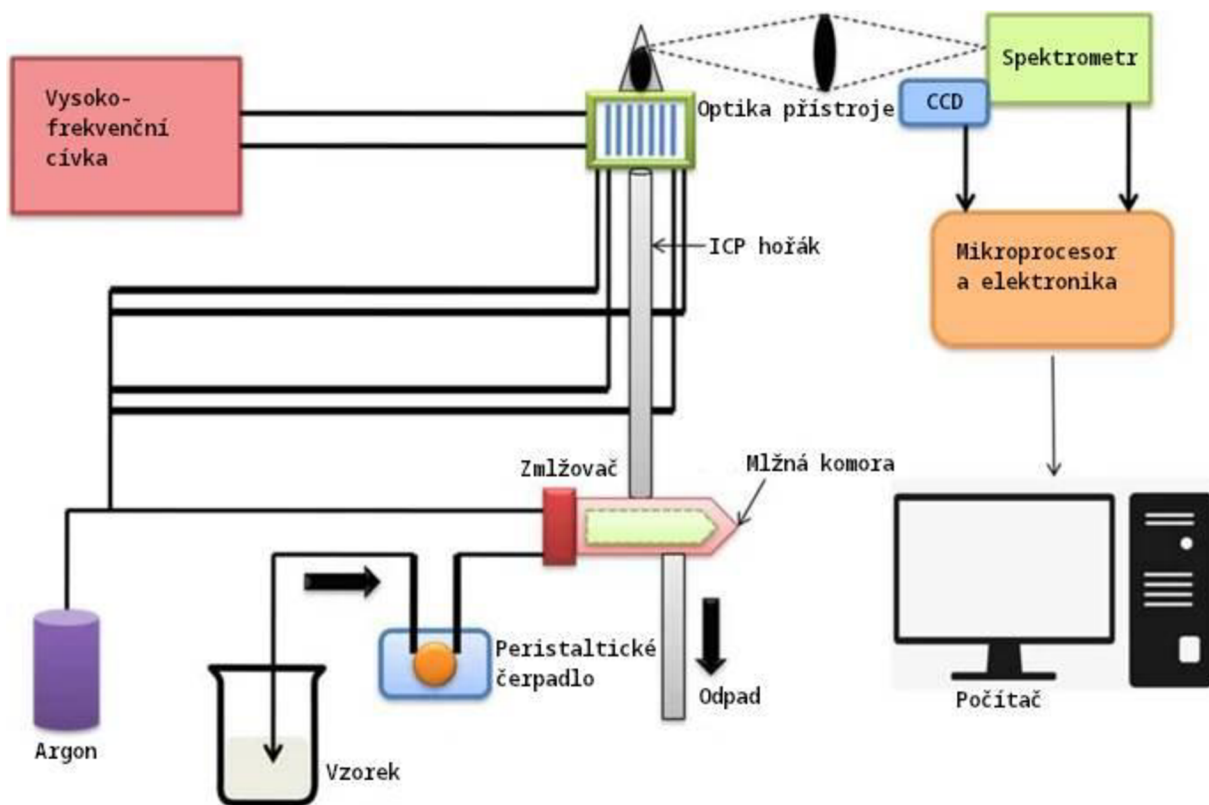
Potíže při této zvolené metodě nastávají při nižších koncentracích, blízcích se k detekčnímu limitu a při vyzařování málo intenzivního záření.

Typické vzorky pro analýzu jsou kapaliny s vodnými roztoky ve zředěných minerálních kyselinách, zbaveny mechanických nečistot. Vzorky přírodního původu by měly být stabilizovány přidáním stabilizačního činidla (okyselením), přidáním 100 μ l ultračisté kyseliny dusičné naředěné v objemovém poměru 1 díl kyseliny a 3 díly redestilované vody do 100 ml roztoku.

Typické obsahy stanovovaných prvků jsou v rozmezí od stovek ppm až po desítky ppb. Záření, které studujeme, je v rozmezí od 160 nm do 750 nm (Jelínek E. et al., 2008).

4.4.1 Teorie ke ICP-OES

Ke procesu emise záření je nutno dosáhnout excitovaného stavu částice. Metoda ICP užívá termické excitace, při které se vzorek přivádí do plazmového výboje. Za podmínek v plazmatu dochází nejprve k odpaření rozpouštědla (vody) ve vzorku, dále dochází k atomizaci (termickému rozkladu sloučenin přítomných ve vzorku na atomy jednotlivých přítomných prvků) a následně nastává ionizace atomů spojená s excitací elektronů a přechodem iontů do excitovaných stavů.



Obrázek 8 Instrumentace ICP-OES (upraveno (Khan S. R., et al., 2022))

Přístroj ICP-OES se skládá z peristaltického čerpadla, zmlžovače, mlžné komory, ICP hořáku, RF generátoru, optiky nebo spektrometru, emisních detektorů, signálu zpracování a software.

Vzorky (kapaliny) jsou do přístroje nasávány peristaltickým čerpadlem. Vzorek protéká k čerpadlu teflonovými kapilárami, v čerpadle prochází pružnou polyvinylchloridovou trubicí, a do zmlžovače je dále veden teflonovou kapilárou. Úkolem zmlžovače je vytvořit ze vzorku homogenní a bohatý aerosol drobných kapének v proudu argonu. Ve vzorkách nesmí zůstat zbytky nerozpuštěných suspendovaných částic kvůli možnosti ucpání zmlžovače.

Vzniklý aerosol prochází do plazmového hořáku. Plazmový hořák navozuje podmínky, při kterých dochází k žádané emisi (generování stabilního plazmového výboje). Obsahuje ve společném nosiči několik soustředěných trubic z křemenného skla. Do hořáku přichází kromě aerosolu proud chladícího argonu, který brání přímému kontaktu plazmového výboje s materiálem hořáku. A pomocný proud argonu, který slouží k nastavení polohy emitujících oblastí argonového plazmatu k optické trase přístroje. Plazmový hořák se dává do vinutí budoucí cívky. Na cívku je přiváděna radiofrekvenční energie z generátoru.

V prostoru dlouhém několik cm v hořáku dochází ke plazmovému výboji s teplotami 6500 až 10000 K. Jiné teploty jsou na začátku a na konci výboje.

Po zavedení vzorku do výboje dochází k emisi záření. Záření je zachyceno, podrobena spektrálnímu rozkladu a analyzováno.

Optická část spektrometru má za úlohu zachytit co nejvyšší intenzitu záření a vedle jej s minimálními ztrátami dál. Optická trasa snímá emitované záření ve dvou pohledech. V axiálním pohledu (v ose hořáku) nebo radiálním pohledu (kolmo na osu hořáku). Odlišnost

obou pohledů je podmíněna teplotami a podmínky pro ionizaci atomů. V různých místech plazmového výboje se liší. Oba způsoby mají své výhody i nevýhody. Radiální snímání je konstrukčně méně náročné, jeho výhodou je stabilita pozadí daná stabilitou plazmového výboje, nevýhodou je menší citlivost. Záření se snímá z menší zářivé oblasti, je možné zachytit jenom část dostupné intenzity. Axiální snímání je konstrukčně náročnější.

K pozorování nejintenzivnější emise ve vnitřní oblasti výboje se do horního konce plazmového výboje zavádí pomocný proud Ar. Ten slouží k rozfouknutí horní části výboje. Záření se pak snímá z delší oblasti, desetinásobně se zvýší citlivost experimentu. Radiální snímání je vhodné pro vzorky s vyššími obsahy analyzované složky, makroprvky a hlavní složky minerálů. Axiální snímání je vhodné pro stanovení minoritních složek a analýzu zředěných roztoků. Moderní typy spektrometrů nabízejí oba typy pozorování výboje po jednotlivých spektrálních čarách.

Emisní spektra jsou složitá, protože jsou přítomny různě intenzivní linie přítomných prvků a iontů. Zpracování spektra spočívá v rozkladu na jednotlivé spektrální linie. K rozkladu slouží monochromátor – optický hranol a optická mřížka. Pro detekci velmi blízkých linií nejsou dostatečné, a proto dosahujeme zlepšení kombinací optického hranolu a optické mřížky v pokročilé konstrukci mřížky s vysokým počtem vrypů (např. Eschelle).

Důležitým parametrem jednotlivých přístrojů je spektrální rozlišení. Čím vyšší disperze, tím lze pozorovat bližší spektrální linie a tím kvalitnější analytická data. V současné době se dosahují rozlišení přibližně 0,005 nm a disperze nemusí být konstantní přes celou oblast vlnových délek.

Detektor snímá a deteguje jednotlivé spektrální linie po rozkladu spektra podle vlnových délek. Princip je podobný jako u digitálního fotoaparátu. Detektor je tvořen soustavou milionů polovodičových diod, jeho velikost se vyjadřuje v pixelech. Čím větší počet pixelů, tím může počítač izolovaně zaznamenat bližší spektrální čáry, a dosáhneme dokonalejšího záznamu. Pro dokonalý záznam je nutné detektor chladit – buď etylenglykolovou lázní -40 °C která protéká chladícím zařízením anebo tzv. Peltierův efekt. Vlastním výstupem z detektoru je digitální záznam spektra. Souřadnice jsou místa na detektoru, jsou dané vlnovou délkou dopadajícího záření a určují prvek, od něhož záření pochází, a intenzita dopadajícího záření je dána množstvím prvku v analyzovaném vzorku. Digitální záznam spektrálních linií má informace o všech spektrálních liniích od všech prvků obsažených ve vzorku. Je vhodná pro rychlou kvantifikaci předem zvoleného (a na kalibrovaného) vzorku (Jelínek, 2008).

4.5 Zpracování dat

Naměřená data byla z přístroje do počítače konvertována do excelové tabulky. Následné statistické vyhodnocení, grafy a tabulky byly zpracované v programech Jupyter projekt a Python pandas pro OS Linux.

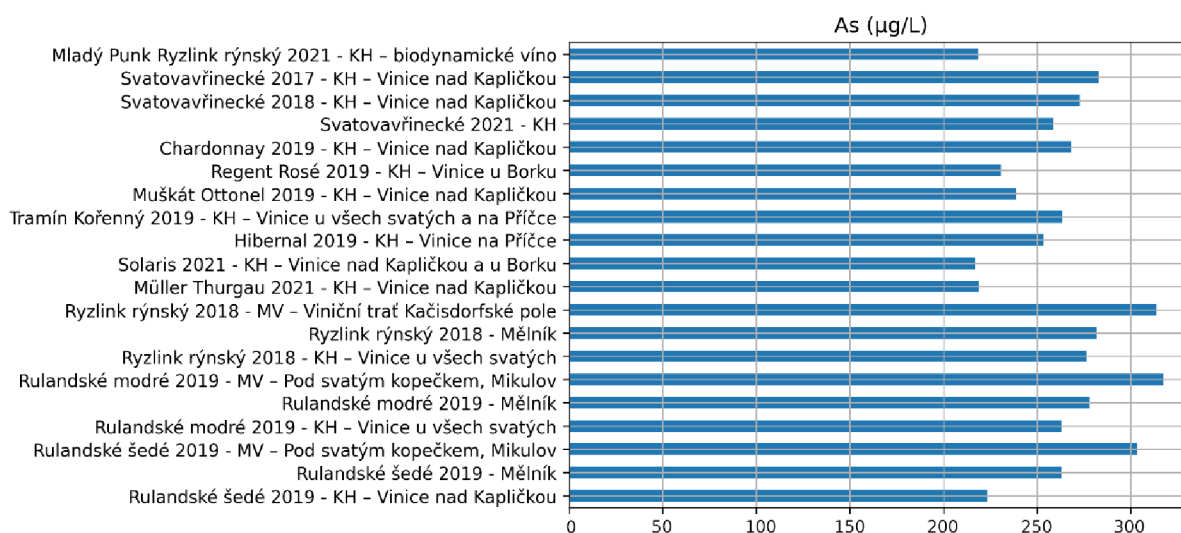
5 Výsledky

Pro každé víno se dělala analýza jeho prvkového složení (23 analyzovaných prvků – Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Si, V, Zn) celkem třikrát. Tyto hodnoty byly zaokrouhleny a následně byla vypočtena odchylka průměru. Všechny výsledky jsou uvedeny v tabulkách a grafech níže.

5.1 Naměřené hodnoty Arsenu

Tabulka 4: Naměřené množství arsenu ($\mu\text{g/L}$)

As							
11	217 ± 11.2	14	239 ± 11.7	13	264 ± 5.73	8	282 ± 13.6
20	218 ± 13.8	12	253 ± 12.1	16	268 ± 4.09	19	283 ± 19.7
10	219 ± 10.9	17	259 ± 16.4	18	273 ± 20.5	3	303 ± 6.22
1	223 ± 22.7	4	263 ± 8.18	7	276 ± 10.1	9	314 ± 22.3
15	231 ± 5.30	2	263 ± 13.6	5	278 ± 6.64	6	317 ± 24.5



Graf 1 Naměřené množství arsenu

Naměřené hodnoty arsenu se pohybovaly v rozmezí od 217 do 317 $\mu\text{g/L}$. Průměrná hodnota arsenu ve všech vínech je $262 \pm 12,9 \mu\text{g/L}$. Průměrná hodnota u bílého vína byla $257 \mu\text{g/L}$, u červeného vína $279 \mu\text{g/L}$ a u růžového vína $231 \mu\text{g/L}$. Žádná z hodnot nebyla pod detekčním limitem přístroje $6,7 \mu\text{g/L}$. Nejnižší množství arsenu bylo nalezeno ve víně číslo 11 – z vinařství vinné sklepy Kutná Hora, ročník 2021, Solaris. Největší množství arsenu

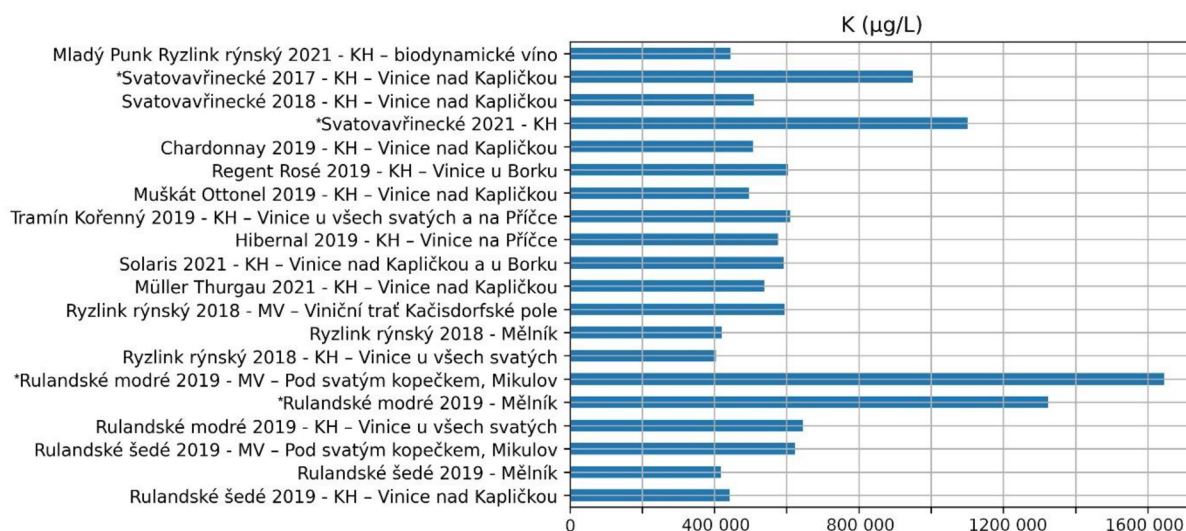
bylo nalezeno ve víně číslo 6 – vinařství Moravino Valtice, oblast Mikulov, ročník 2019, Rulandské modré.

5.2 Naměřené hodnoty další prvky

5.2.1 Draslík

Tabulka 5 Naměřené hodnoty draslíku ($\mu\text{g/L}$)

K							
1	442826 ± 4794	6*	1645037 ± 91626	11	591033 ± 6024	16	506112 ± 3587
2	418729 ± 3257	7	404705 ± 2180	12	575902 ± 2821	17*	1101068 ± 17496
3	622756 ± 6470	8	420335 ± 4045	13	610082 ± 4705	18	509300 ± 3748
4	644745 ± 2555	9	593420 ± 1222	14	495670 ± 6568	19*	948379 ± 52405
5*	1323574 ± 96854	10	537420 ± 5982	15	604661 ± 3277	20	445430 ± 11275



Graf 2 Naměřené množství draslíku

U vína číslo 5, 6, 17 a 19 (červená vína) nám vyšla hodnota u 10× zředěného vína přes detekční limit. Tyto vína byly proto zředěné 100×, hodnoty pro tabulky byly vynásobeny krát 100.

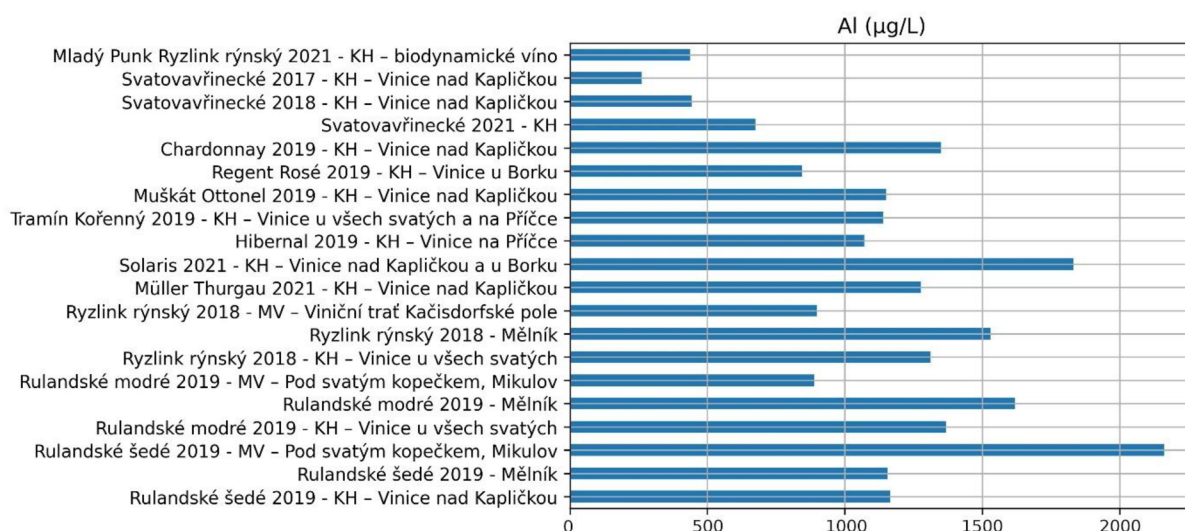
Naměřené hodnoty draslíku se pohybovaly v rozmezí od 404705 do 1645037 $\mu\text{g/l}$. Nejvyšší množství draslíku bylo nalezeno ve víně číslo 6 – Moravino Valtice, oblast Mikulov, Rulandské modré, ročník 2019. Nejnižší množství draslíku bylo nalezeno ve víně číslo 7 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice u všech svatých, Ryzlink rýnský, ročník 2018. Průměrná hodnota draslíku byla $672059 \pm 16545 \mu\text{g/l}$.

U červených vín vyšly hodnoty draslíku řádově vyšší než u vína bílého.

5.2.2 Hliník, bór, baryum, beryllium

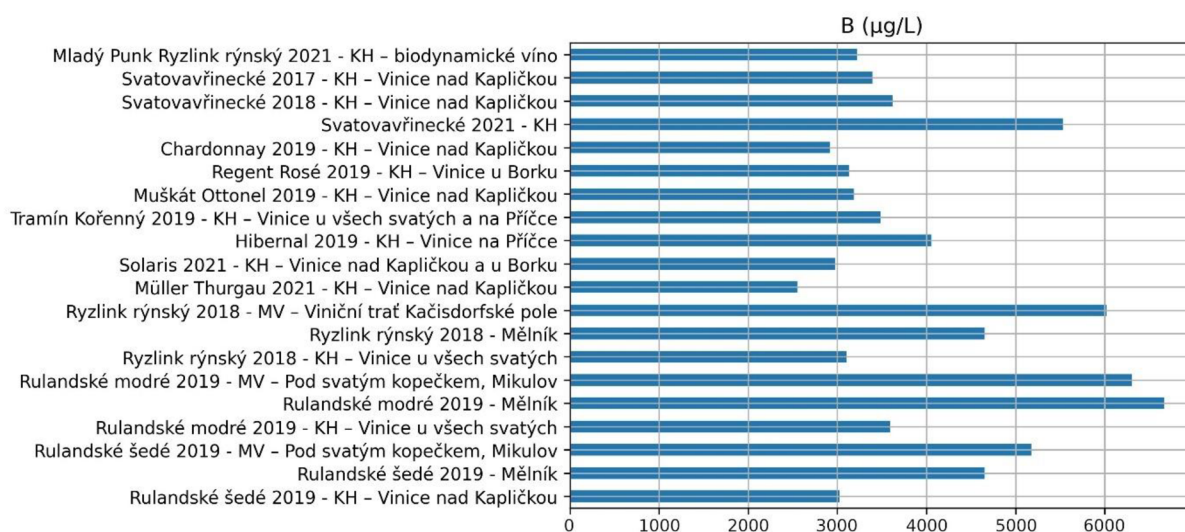
Tabulka 6 Naměřené hodnoty hliník, bór, baryum, beryllium ($\mu\text{g/L}$)

	Al	B	Ba	Be
1	1166 \pm 70.5	3026 \pm 64.4	75.3 \pm 5.58	34.0 \pm 0.00
2	1155 \pm 288	4653 \pm 73.8	34.0 \pm 0.00	34.0 \pm 0.00
3	2161 \pm 735	5174 \pm 111	105 \pm 9.85	34.0 \pm 0.00
4	1368 \pm 1022	3592 \pm 97.7	80.0 \pm 7.50	34.0 \pm 0.00
5	1619 \pm 1128	6665 \pm 367	267 \pm 174	34.0 \pm 0.00
6	889 \pm 283	6305 \pm 300	136 \pm 3.24	34.0 \pm 0.00
7	1311 \pm 226	3100 \pm 13.6	61.6 \pm 19.8	34.0 \pm 0.00
8	1530 \pm 117	4653 \pm 8.72	52.9 \pm 26.7	34.0 \pm 0.00
9	899 \pm 57.4	6024 \pm 65.1	135 \pm 10.00	34.0 \pm 0.00
10	1278 \pm 46.5	2550 \pm 7.60	83.0 \pm 6.22	34.0 \pm 0.00
11	1832 \pm 109	2976 \pm 40.8	106 \pm 11.0	34.0 \pm 0.00
12	1071 \pm 74.7	4056 \pm 10.3	86.6 \pm 14.8	34.0 \pm 0.00
13	1140 \pm 41.0	3485 \pm 29.3	79.5 \pm 3.40	34.0 \pm 0.00
14	1150 \pm 43.1	3184 \pm 87.4	46.5 \pm 17.6	34.0 \pm 0.00
15	844 \pm 63.3	3129 \pm 44.0	65.7 \pm 24.1	34.0 \pm 0.00
16	1350 \pm 104	2920 \pm 41.5	101 \pm 72.2	34.0 \pm 0.00
17	675 \pm 82.9	5531 \pm 86.7	89.1 \pm 9.67	34.0 \pm 0.00
18	443 \pm 144	3620 \pm 52.4	120 \pm 16.1	34.0 \pm 0.00
19	261 \pm 149	3391 \pm 113	152 \pm 41.5	34.0 \pm 0.00
20	437 \pm 110	3224 \pm 128	34.0 \pm 0.00	34.0 \pm 0.00



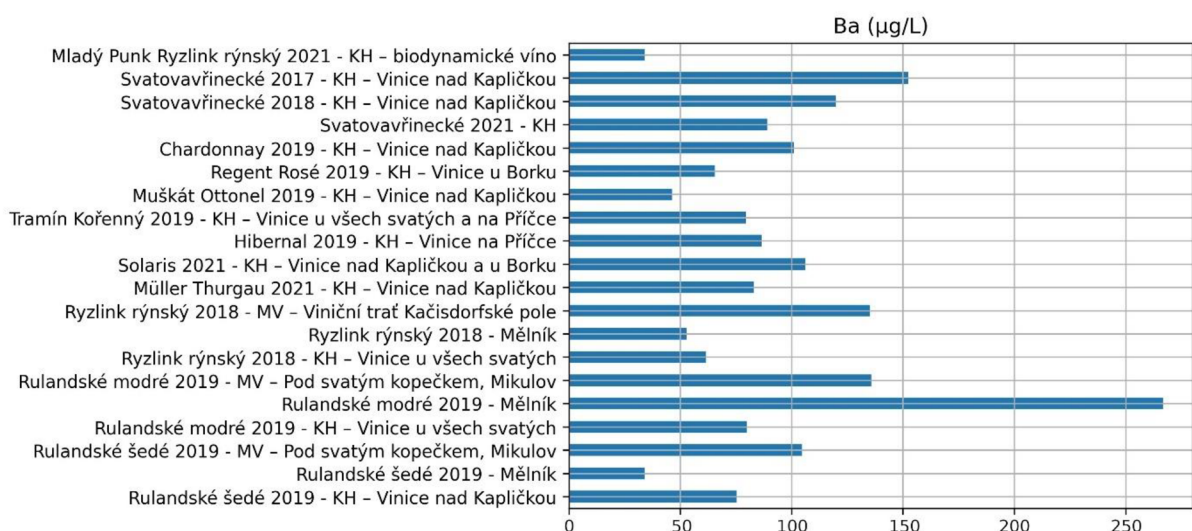
Graf 3 Naměřené množství hliníku

Naměřené hodnoty hliníku se pohybovaly v rozmezí od 261 do 2161 µg/l. Nejvyšší množství hliníku bylo nalezeno ve víně číslo 3 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, vinice pod svatým kopečkem, Rulandské šedé, ročník 2019. Nejnižší množství hliníku bylo nalezeno ve víně číslo 19 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice nad kapličkou, Svatovavřínecké, ročník 2017. Průměrná hodnota hliníku byla 1129±245 µg/l.



Graf 4 Naměřené množství bóru

Naměřené hodnoty bóru se pohybovaly v rozmezí od 2550 do 6665 µg/l. Nejvyšší množství bóru bylo nalezeno ve víně číslo 5 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, Rulandské modré, ročník 2019. Nejnižší množství bóru bylo nalezeno ve víně číslo 10 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice nad kapličkou, Müller Thurgau, ročník 2021. Průměrná hodnota bóru byla 4063±87 µg/l.



Graf 5 Naměřené množství barya

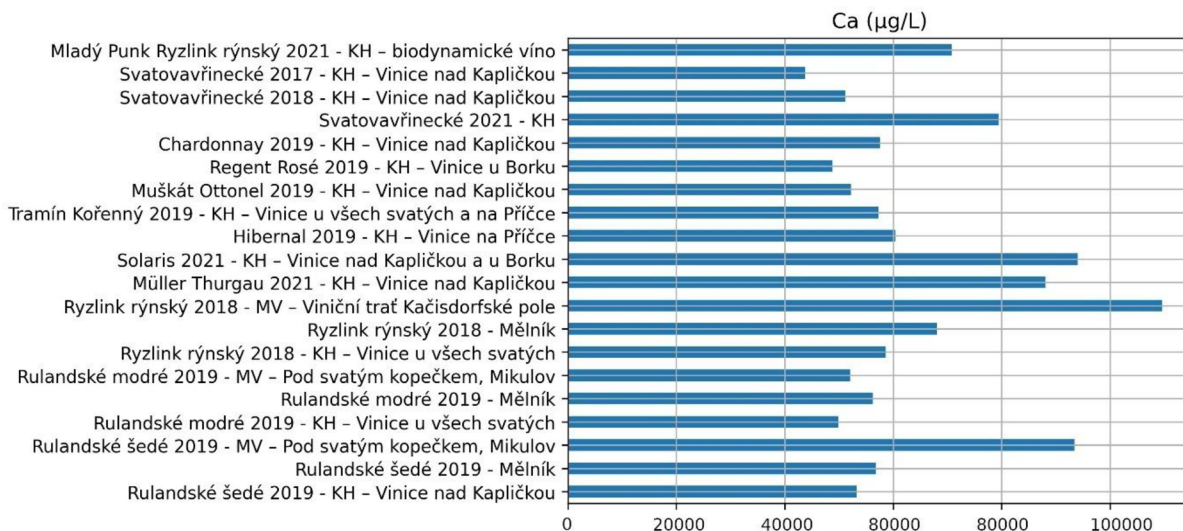
Naměřené hodnoty barya se pohybovaly v rozmezí od 34,0 do 152 µg/l. Nejnižší množství barya byly nalezeny ve vínech číslo 2 a 20 – vinařství Kraus Mělník, Rulandské šedé, ročník 2019 a Mladý Punk Ryzlink rýnský 2021 vinné sklepy Kutná Hora. Nejvyšší množství barya bylo nalezeno ve víně číslo 5 – vinařství Kraus Mělník, Rulandské modré, ročník 2019. Průměrná hodnota barya byla 95,5 µg/l.

Beryllium nám v měřeních nevyšlo. Všechny hodnoty byly pod úrovní detekčního limitu, a proto byly nahrazeny ½ detekčního limitu – 34,0 µg/l.

5.2.3 Vápník, kadmium, kobalt, chrom

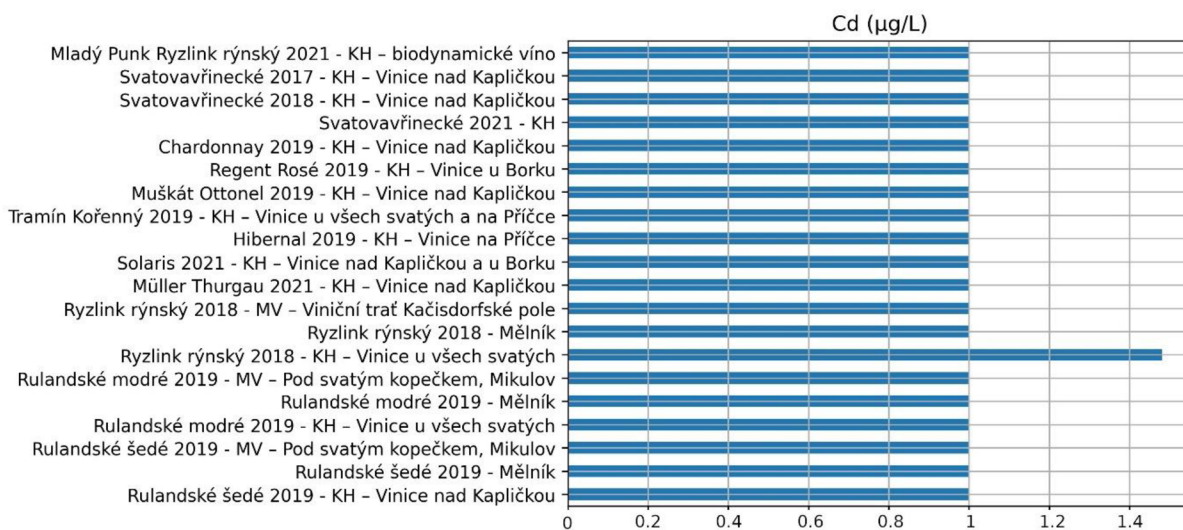
Tabulka 7 Naměřené hodnoty vápník, kadmium, kobalt, chrom ($\mu\text{g/L}$)

	Ca	Cd	Co	Cr
1	53218 \pm 714	1.00 \pm 0.00	18.7 \pm 13.7	17.6 \pm 2.36
2	56809 \pm 1807	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	30.4 \pm 5.25
3	93460 \pm 2804	1.00 \pm 0.00	19.4 \pm 7.62	25.5 \pm 4.81
4	49939 \pm 2794	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	46.5 \pm 3.17
5	56213 \pm 4790	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	20.8 \pm 2.38
6	52091 \pm 2918	1.00 \pm 0.00	18.6 \pm 13.6	24.4 \pm 1.69
7	58641 \pm 472	1.48 \pm 0.680	17.4 \pm 6.34	27.1 \pm 2.10
8	68099 \pm 279	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	37.7 \pm 6.88
9	109569 \pm 727	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	15.4 \pm 8.17
10	88069 \pm 402	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	38.1 \pm 1.75
11	94090 \pm 1092	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	21.8 \pm 1.41
12	60442 \pm 913	1.00 \pm 0.00	12.4 \pm 4.75	17.1 \pm 3.92
13	57323 \pm 242	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	23.8 \pm 4.30
14	52250 \pm 1085	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	15.8 \pm 3.42
15	48816 \pm 602	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	22.4 \pm 4.71
16	57555 \pm 4114	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	26.0 \pm 3.95
17	79469 \pm 1800	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	31.6 \pm 3.17
18	51246 \pm 738	1.00 \pm 0.00	17.7 \pm 12.4	19.7 \pm 2.61
19	43781 \pm 1717	1.00 \pm 0.00	18.1 \pm 7.13	17.0 \pm 1.35
20	70803 \pm 2855	1.00 \pm 0.00	9.00 \pm 0.00	32.8 \pm 1.48



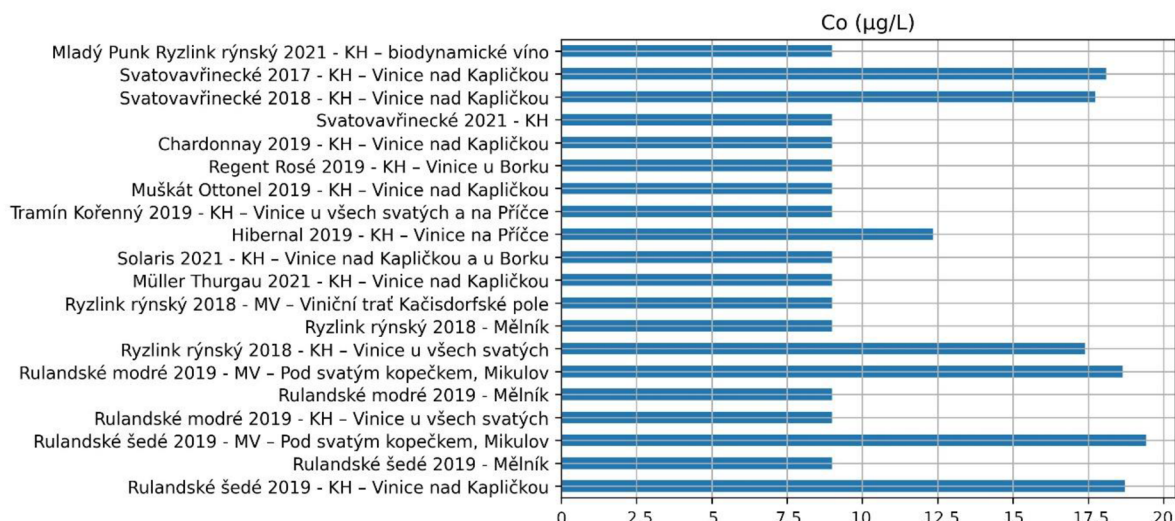
Graf 6 Naměřené množství vápníku

Naměřené hodnoty vápníku se pohybovaly v rozmezí od 43781 do 109569 µg/l. Nejvyšší množství vápníku bylo nalezeno ve víně číslo 9 – Moravíno Valtice, viniční trať Kačisdorfské pole, Ryzlink rýnský, ročník 2018. Nejnižší množství vápníku bylo nalezeno ve víně číslo 19 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice nad kapličkou, Svatovavřínecké, ročník 2017. Průměrná hodnota vápníku byla 65094±1643 µg/l.



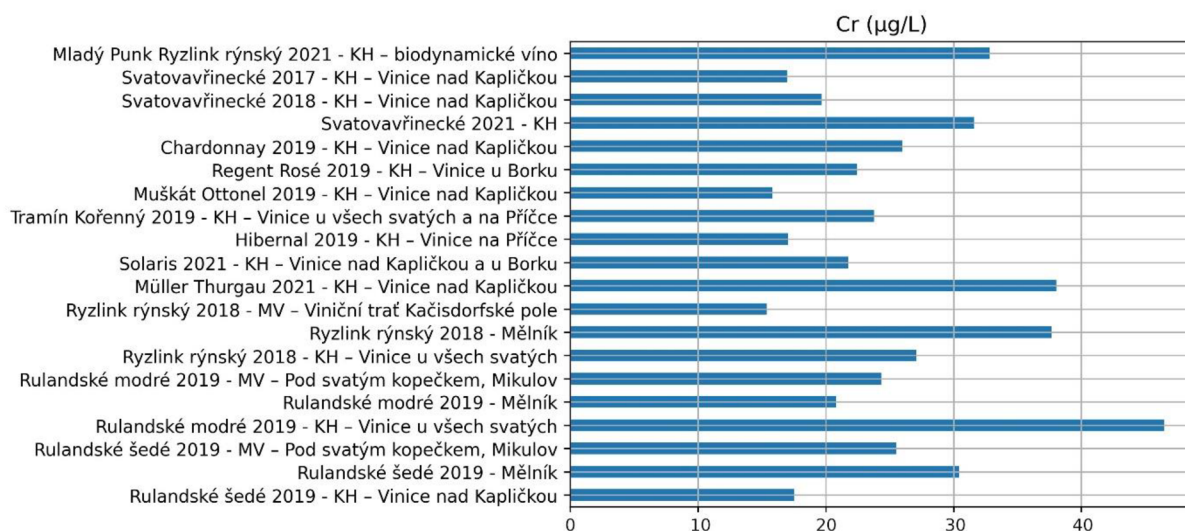
Graf 7 Naměřené množství kadmia

Přítomnost kadmia byla zjištěna pouze u vína číslo 7 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice u všech svatých, ryzlink rýnský, ročník 2018, s hodnotou 1,48 µg/L. Všechny ostatní naměřené hodnoty byly pod úrovní detekčního limitu, a proto byly nahrazeny ½ detekčního limitu – 0,1 µg/l.



Graf 8 Naměřené množství kobaltu

Kobalt byl přítomný pouze u 7 vin z 20. Ve vínech číslo 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17 a 20 byla naměřena hodnota nahrazená ½ detekčního limitu 0,9 µg/l. Nejvyšší hodnotu kobaltu mělo víno číslo 3 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, vinice pod svatým kopečkem, rulandské šedé, ročník 2019.



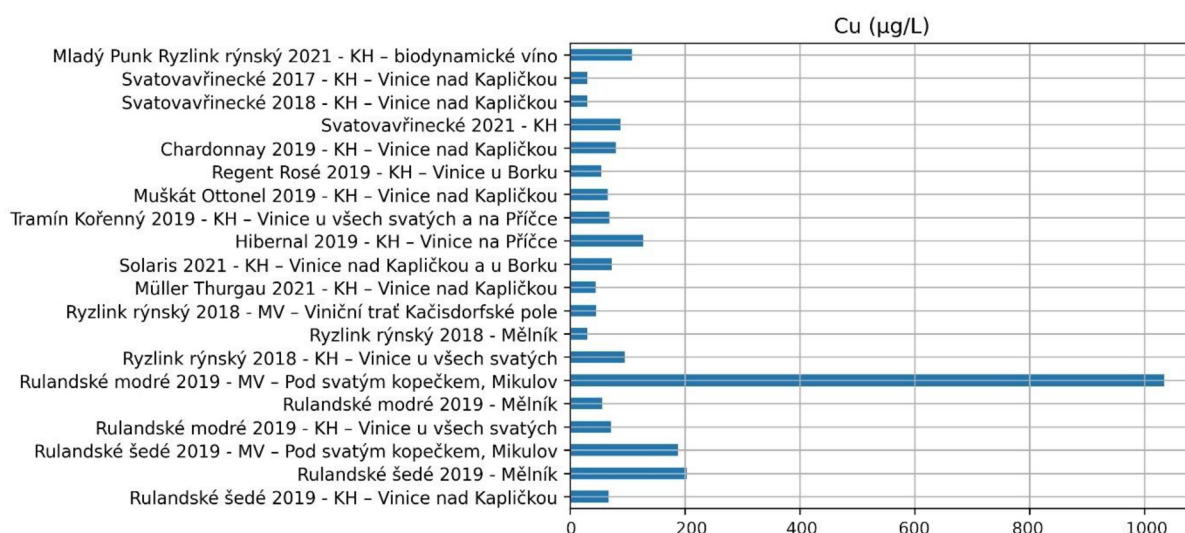
Graf 9 Naměřené množství chromu

Naměřené hodnoty chromu se pohybovaly v rozmezí od 15,4 do 46,5 µg/l. Nejvyšší množství chromu bylo nalezeno ve víně číslo 4 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice u všech svatých, Rulandské modré, ročník 2019. Nejnižší množství chromu bylo nalezeno ve víně číslo 9 – Moravíno Valtice, viniční trať Kačisdorfské pole, Ryzlink rýnský, ročník 2018. Průměrná hodnota chromu byla 25,6±3,44 µg/l.

5.2.4 Měď, železo, hořčík, mangan

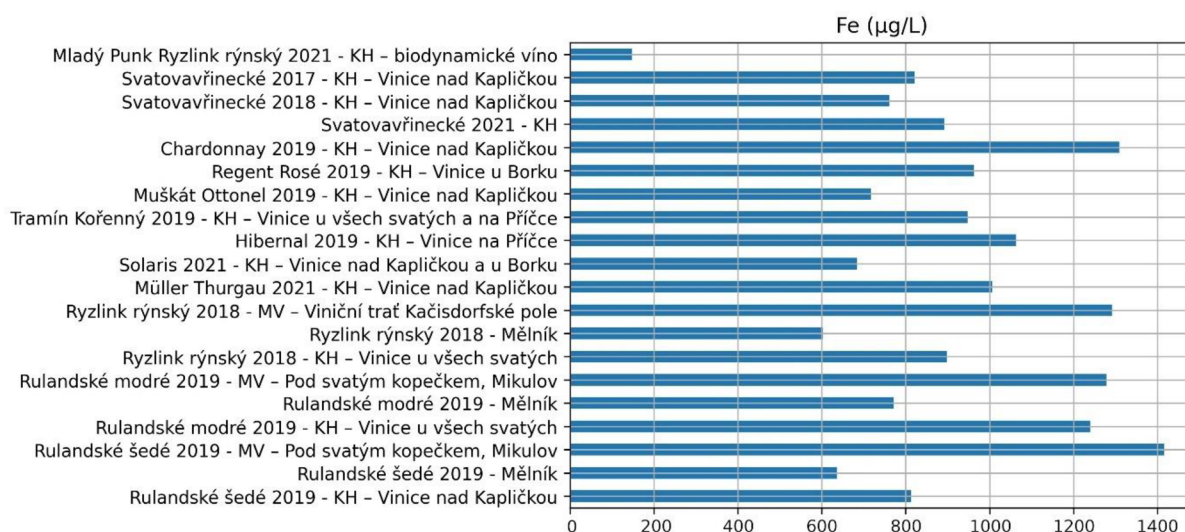
Tabulka 8 Naměřené hodnoty měď, železo, hořčík, mangan ($\mu\text{g/L}$)

	Cu	Fe	Mg	Mn
1	67.6 \pm 27.4	812 \pm 319	64158 \pm 841	325 \pm 6.11
2	203 \pm 206	637 \pm 276	58964 \pm 1457	328 \pm 2.40
3	188 \pm 11.7	1416 \pm 234	85598 \pm 1175	842 \pm 20.5
4	72.1 \pm 33.1	1240 \pm 47.8	93675 \pm 1468	539 \pm 8.13
5	56.0 \pm 18.5	772 \pm 75.5	71367 \pm 4164	483 \pm 3.88
6	1034 \pm 30.6	1279 \pm 678	93409 \pm 4205	772 \pm 30.9
7	95.4 \pm 70.2	898 \pm 256	89191 \pm 641	545 \pm 6.44
8	30.0 \pm 0.00	603 \pm 367	76404 \pm 410	620 \pm 8.27
9	45.7 \pm 22.3	1292 \pm 224	105600 \pm 1033	1138 \pm 7.08
10	44.9 \pm 21.0	1007 \pm 330	59434 \pm 493	392 \pm 4.25
11	72.9 \pm 39.9	683 \pm 232	63228 \pm 414	409 \pm 6.89
12	128 \pm 38.9	1063 \pm 238	65927 \pm 1073	345 \pm 2.61
13	69.1 \pm 28.0	947 \pm 253	60019 \pm 491	354 \pm 3.96
14	65.9 \pm 26.1	718 \pm 41.3	64428 \pm 1345	404 \pm 10.1
15	54.4 \pm 17.2	963 \pm 528	62925 \pm 537	416 \pm 2.02
16	80.2 \pm 49.5	1309 \pm 247	71644 \pm 347	488 \pm 16.3
17	87.7 \pm 22.8	892 \pm 304	93310 \pm 2203	726 \pm 14.4
18	30.0 \pm 0.00	762 \pm 275	117714 \pm 863	876 \pm 10.3
19	30.0 \pm 0.00	822 \pm 92.1	77272 \pm 2520	475 \pm 13.6
20	109 \pm 13.9	148 \pm 79.3	56712 \pm 2210	426 \pm 15.9



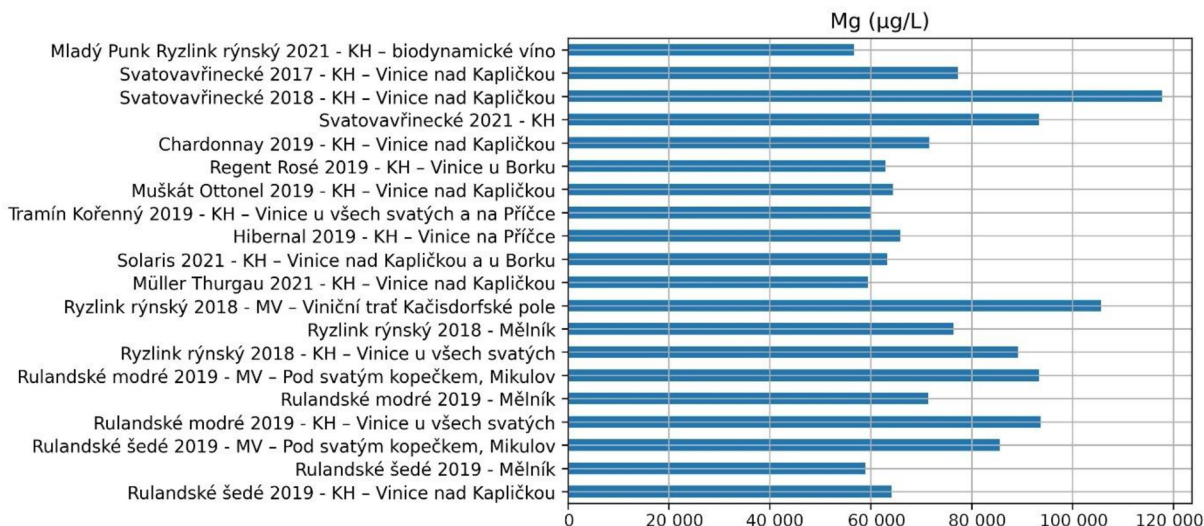
Graf 10 Naměřené množství mědi

U vín 8, 18 a 19 byla naměřena hodnota nahrazená $\frac{1}{2}$ detekčního limitu 3,0 µg/l. Nejvyšší hodnota mědi vyšla u vína číslo 6 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, vinice pod svatým kopečkem, Rulandské modré, ročník 2019.



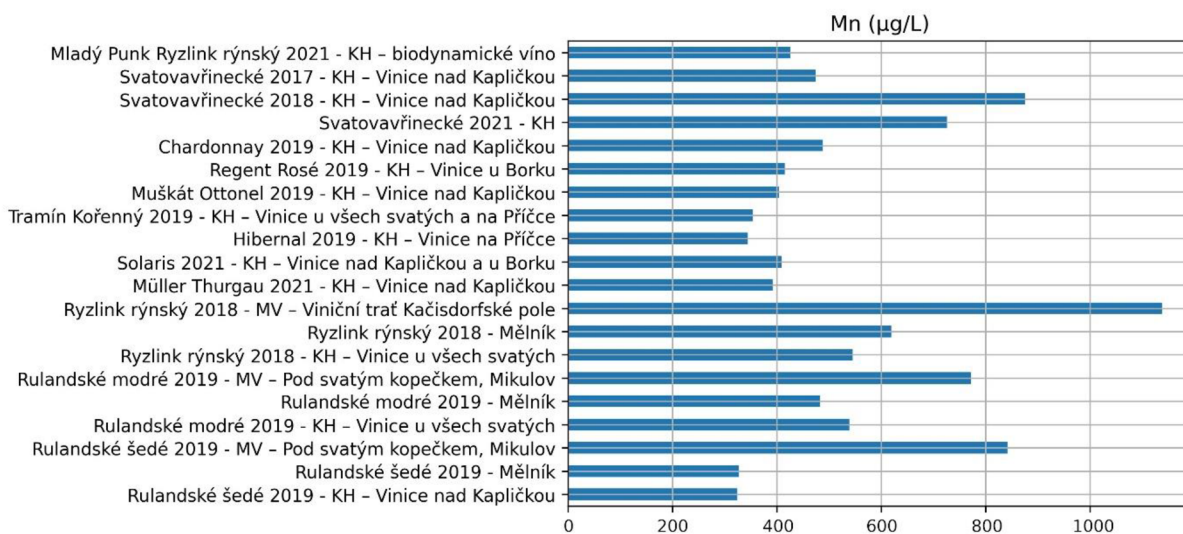
Graf 11 Naměřené množství železa

Naměřené hodnoty železa se pohybovaly v rozmezí od 148 do 1416 µg/l. Nejvyšší množství železa bylo nalezeno ve víně číslo 3 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, vinice pod svatým kopečkem, Rulandské šedé, ročník 2019. Nejnižší množství železa bylo nalezeno ve víně číslo 20 – vinné sklepy Kutná Hora, mladý punk Ryzlink rýnský, ročník 2021. Průměrná hodnota železa byla 913±255 µg/l.



Graf 12 Naměřené množství hořčíku

Naměřené hodnoty hořčíku se pohybovaly v rozmezí od 56712 do 117714 µg/l. Nejvyšší množství hořčíku bylo nalezeno ve víně číslo 18 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice nad kapličkou, Svatovavřínecké, ročník 2018. Nejnižší množství hořčíku bylo nalezeno ve víně číslo 20 – vinné sklepy Kutná Hora, mladý punk Ryzlink rýnský, ročník 2021. Průměrná hodnota hořčíku byla 76549±1395 µg/l.



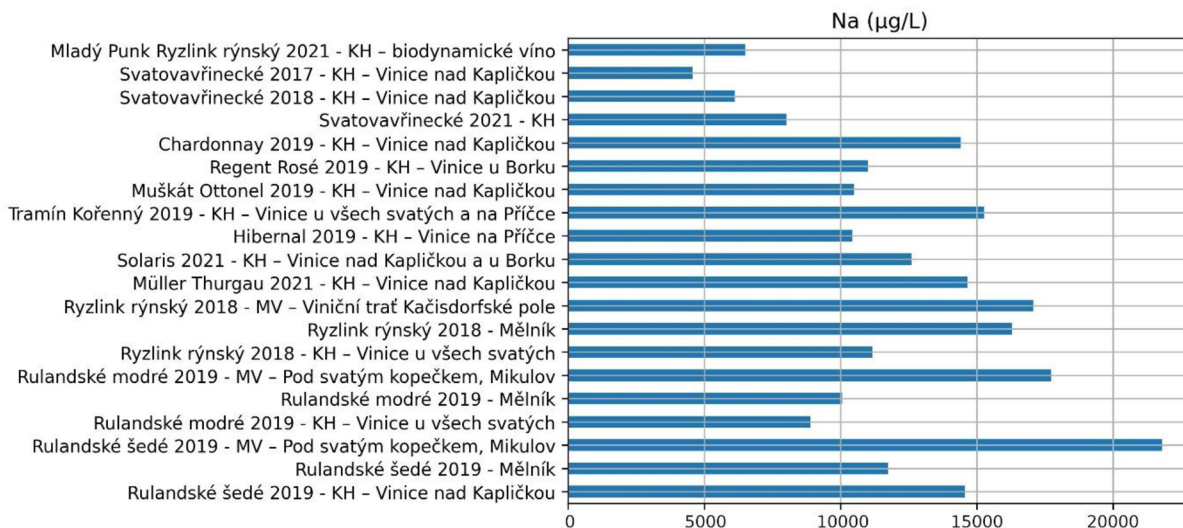
Graf 13 Naměřené množství manganu

Naměřené hodnoty manganu se pohybovaly v rozmezí od 325 do 1138 µg/l. Nejvyšší množství manganu bylo nalezeno ve víně číslo 9 – Moravino Valtice, viniční trať Kačisdorfské pole, Ryzlink rýnský, ročník 2018. Nejnižší množství manganu bylo nalezeno ve víně číslo 1 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice nad kapličkou, Rulandské šedé, ročník 2019. Průměrná hodnota manganu byla 545±9,70 µg/l.

5.2.5 Sodík, nikl, fosfor, olovo

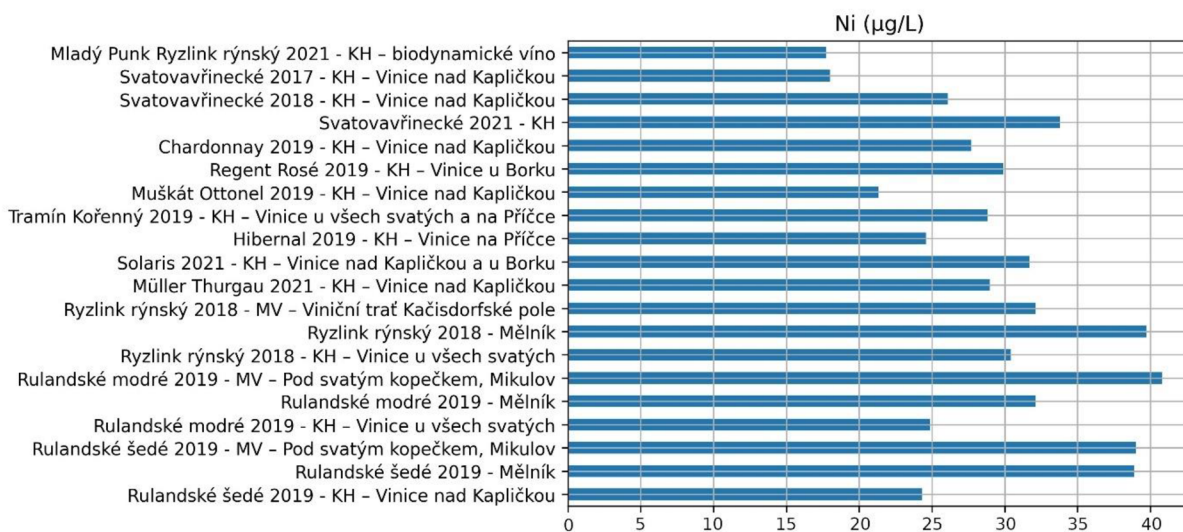
Tabulka 9 Naměřené hodnoty sodík, nikl, fosfor, olovo ($\mu\text{g/L}$)

	Na	Ni	P	Pb
1	14573 \pm 193	24.3 \pm 3.75	75801 \pm 2534	8.00 \pm 0.00
2	11744 \pm 928	38.9 \pm 0.387	75692 \pm 943	8.00 \pm 0.00
3	21788 \pm 1420	39.0 \pm 5.88	149737 \pm 3734	8.00 \pm 0.00
4	8887 \pm 2375	24.9 \pm 3.86	175806 \pm 5300	8.00 \pm 0.00
5	10056 \pm 2268	32.1 \pm 1.42	173238 \pm 9723	64.3 \pm 72.5
6	17712 \pm 1123	40.8 \pm 1.80	243329 \pm 12194	8.00 \pm 0.00
7	11167 \pm 217	30.4 \pm 2.17	92616 \pm 743	8.00 \pm 0.00
8	16289 \pm 585	39.7 \pm 3.72	114483 \pm 1282	8.00 \pm 0.00
9	17079 \pm 137	32.1 \pm 0.277	150064 \pm 2833	8.00 \pm 0.00
10	14664 \pm 23.3	29.0 \pm 1.27	91280 \pm 744	12.6 \pm 6.51
11	12594 \pm 84.3	31.7 \pm 1.04	97500 \pm 1602	8.00 \pm 0.00
12	10434 \pm 195	24.6 \pm 0.775	121559 \pm 546	8.00 \pm 0.00
13	15274 \pm 193	28.8 \pm 1.99	115479 \pm 1828	8.00 \pm 0.00
14	10496 \pm 473	21.3 \pm 1.47	86383 \pm 2818	8.00 \pm 0.00
15	11008 \pm 237	29.9 \pm 2.05	86067 \pm 1570	8.00 \pm 0.00
16	14407 \pm 604	27.7 \pm 3.23	86535 \pm 1447	8.00 \pm 0.00
17	8013 \pm 539	33.8 \pm 0.872	172863 \pm 2848	32.2 \pm 23.8
18	6119 \pm 463	26.1 \pm 1.46	150408 \pm 2161	8.00 \pm 0.00
19	4568 \pm 426	18.0 \pm 3.54	158026 \pm 5906	8.00 \pm 0.00
20	6516 \pm 769	17.7 \pm 0.682	82321 \pm 4142	37.5 \pm 23.9



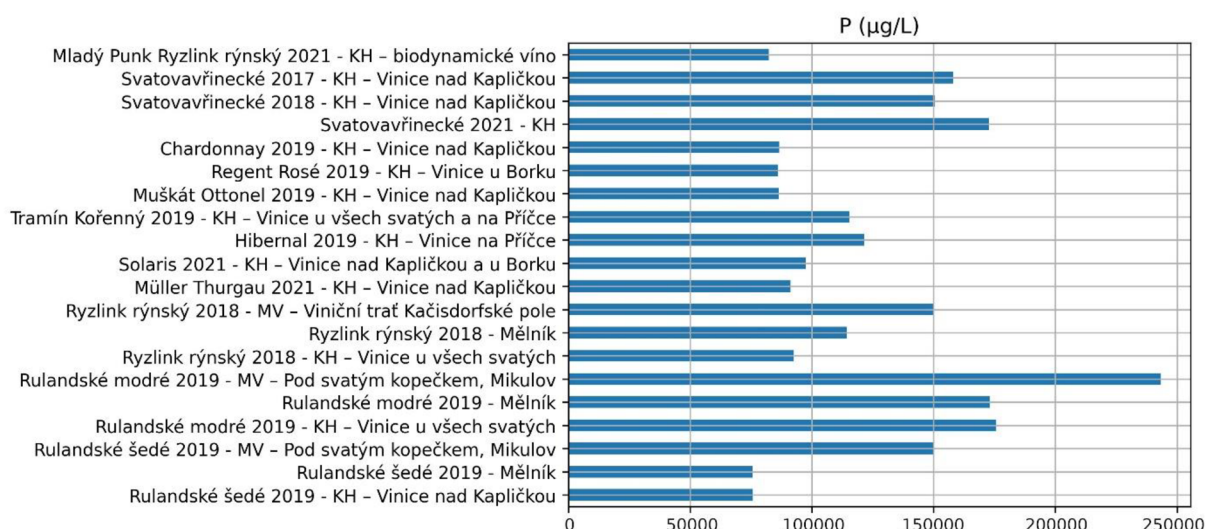
Graf 14 Naměřené množství sodíku

Naměřené hodnoty sodíku se pohybovaly v rozmezí od 4568 do 21788 µg/l. Nejvyšší množství sodíku bylo nalezeno ve víně číslo 3 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, pod svatým kopečkem, Rulandské šedé, ročník 2019. Nejnižší množství sodíku bylo nalezeno ve víně číslo 19 – vinné sklepy Kutná Hora, vinice nad kapličkou, Svatovavřínecké, ročník 2017. Průměrná hodnota sodíku byla 12169±663 µg/l.



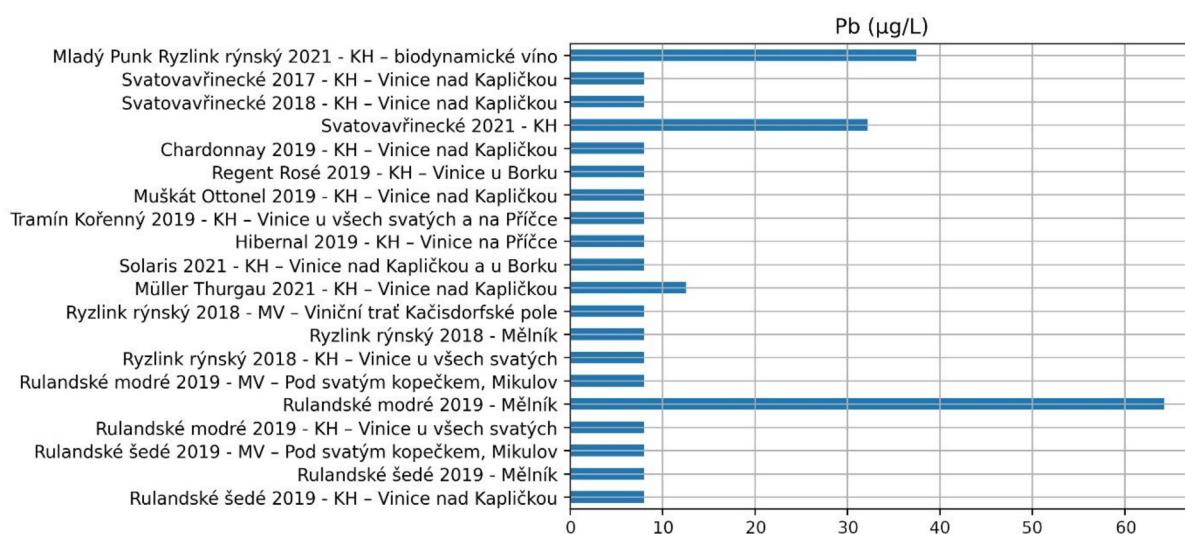
Graf 15 Naměřené množství niklu

Naměřené hodnoty niklu se pohybovaly v rozmezí od 17,7 do 40,8 µg/l. Nejvyšší množství niklu bylo nalezeno ve víně číslo 6 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, pod svatým kopečkem, Rulandské šedé, ročník 2019. Nejnižší množství niklu bylo nalezeno ve víně číslo 20 – vinné sklepy Kutná Hora, mladý punk Ryzlink rýnský, ročník 2021. Průměrná hodnota niklu byla 29,5±2,08 µg/l.



Graf 16 Naměřené množství fosforu

Naměřené hodnoty fosforu se pohybovaly v rozmezí od 75692 do 243329 µg/l. Nejvyšší množství fosforu bylo nalezeno ve víně číslo 6 – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, pod svatým kopečkem, Rulandské šedé, ročník 2019. Nejnižší množství fosforu bylo nalezeno ve víně číslo 2 – Moravíno Valtice, oblast Mělník, Rulandské šedé, ročník 2019. Průměrná hodnota fosforu byla 124959±3245 µg/l.



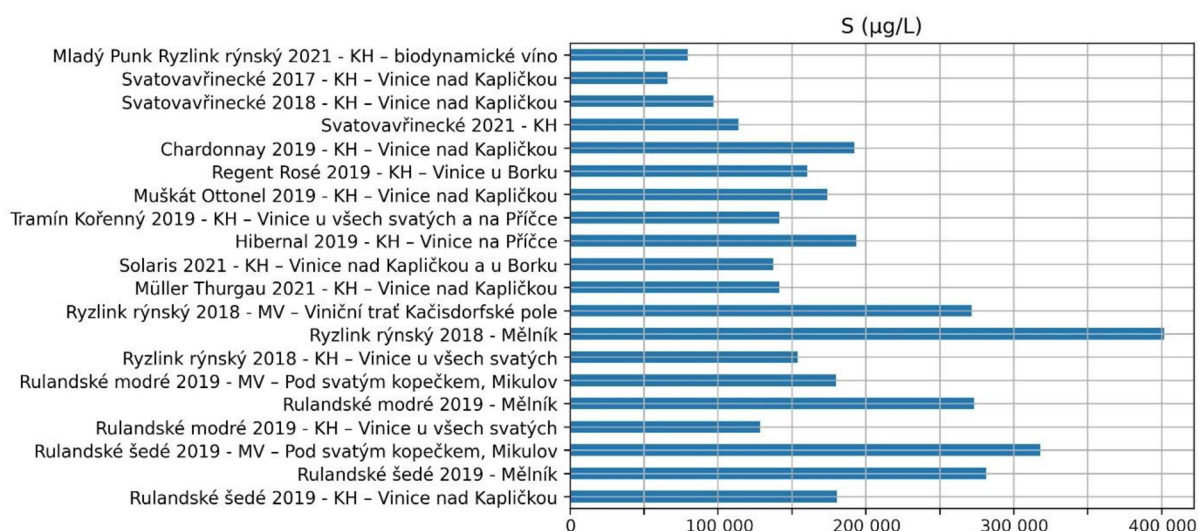
Graf 17 Naměřené množství olova

U olova byly hodnoceny pouze vína 5, 10, 17 a 20. U zbylých vín byly naměřené hodnoty nahrazeny ½ detekčního limitu – 0,8 µg/l. Nejvyšší hodnota olova byla u vína číslo 5 – Rulandské modré ročník 2019, Mělník.

5.2.6 Síra, antimon, křemík

Tabulka 10 Naměřené hodnoty síra, antimon, křemík ($\mu\text{g/L}$)

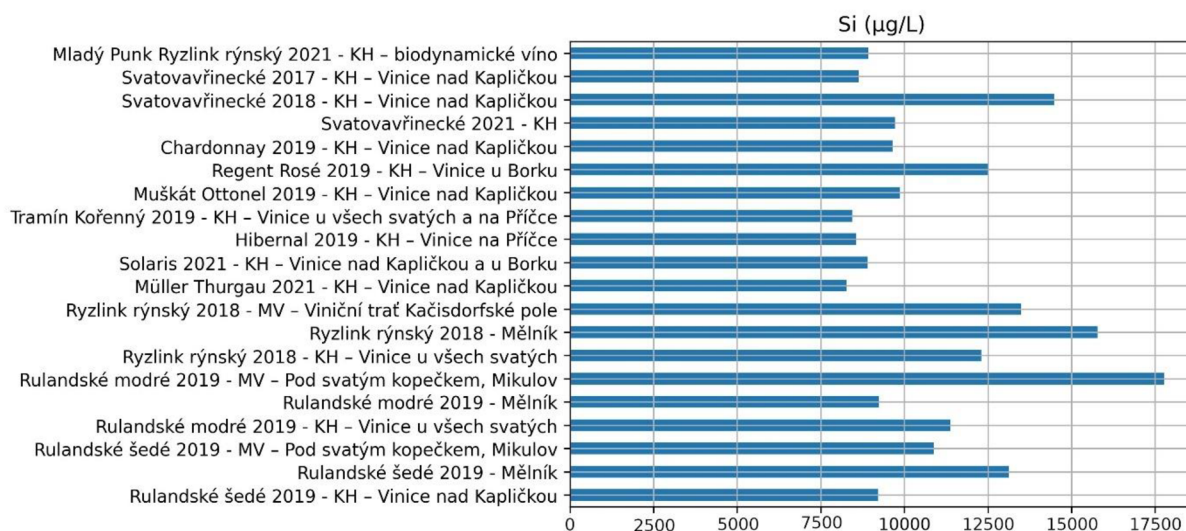
	S	Sb	Si
1	180334 \pm 4342	41.0 \pm 0.00	9226 \pm 1111
2	281609 \pm 2510	41.0 \pm 0.00	13129 \pm 1782
3	318023 \pm 8405	41.0 \pm 0.00	10874 \pm 549
4	128539 \pm 4905	41.0 \pm 0.00	11377 \pm 422
5	273436 \pm 135937	41.0 \pm 0.00	9245 \pm 799
6	179885 \pm 13520	41.0 \pm 0.00	17767 \pm 1217
7	154025 \pm 3457	41.0 \pm 0.00	12302 \pm 783
8	401639 \pm 11799	41.0 \pm 0.00	15783 \pm 448
9	271555 \pm 6389	41.0 \pm 0.00	13493 \pm 1389
10	141470 \pm 1706	41.0 \pm 0.00	8263 \pm 816
11	137558 \pm 1994	41.0 \pm 0.00	8911 \pm 664
12	193839 \pm 3868	41.0 \pm 0.00	8556 \pm 972
13	141416 \pm 2434	41.0 \pm 0.00	8437 \pm 294
14	173780 \pm 6665	41.0 \pm 0.00	9871 \pm 291
15	160624 \pm 3089	41.0 \pm 0.00	12505 \pm 277
16	192166 \pm 5843	41.0 \pm 0.00	9647 \pm 450
17	114050 \pm 1660	41.0 \pm 0.00	9716 \pm 799
18	97150 \pm 1598	41.0 \pm 0.00	14488 \pm 1133
19	65867 \pm 2432	41.0 \pm 0.00	8626 \pm 1202
20	79720 \pm 3342	41.0 \pm 0.00	8925 \pm 359



Graf 18 Naměřené množství síry

Nejvyšší množství síry 401639 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 8 – Ryzlink rýnský 2018, Mělník. Nejnižší množství síry 65867 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 19 – Svatovavřínecké 2017 Kutná Hora, vinice nad kapličkou. Průměrná hodnota byla 184334±11295 µg/L.

Všechny naměřené hodnoty antimonu byly pod úrovní detekčního limitu, a proto byly nahrazeny ½ detekčního limitu – 41,0 µg/l.



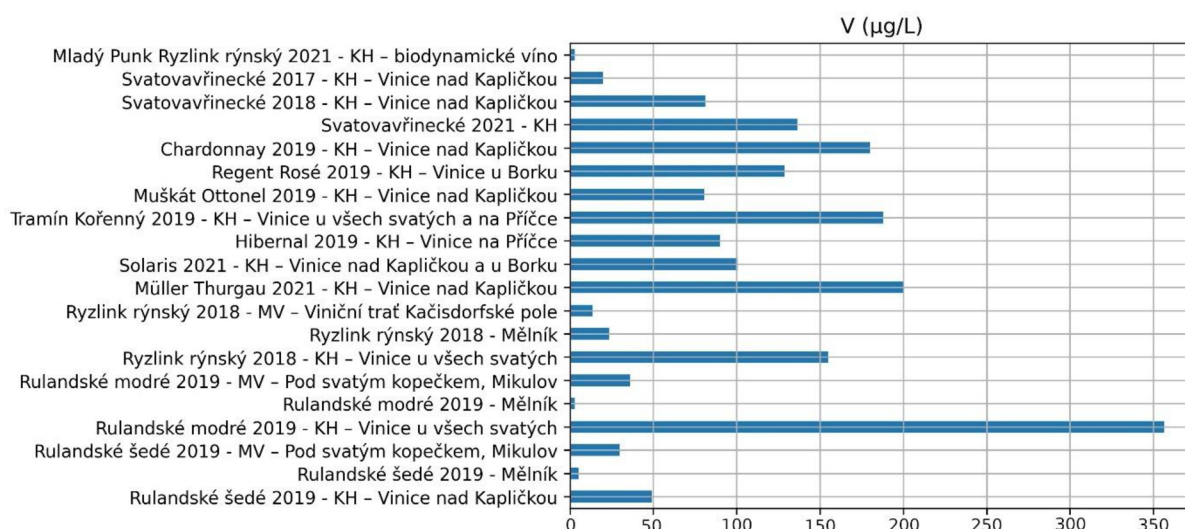
Graf 19 Naměřené množství křemíku

Nejvyšší množství křemíku 17767 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 6 – Rulandské modré 2019 Moravíno Valtice, vinice pod svatým kopečkem, Mikulov. Nejnižší množství křemíku 8263 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 10 – Müller Thurgau 2021 Kutná Hora, vinice nad kapličkou. Průměrná hodnota křemíku byla 11057±788 µg/L.

5.2.7 Vanad, zinek

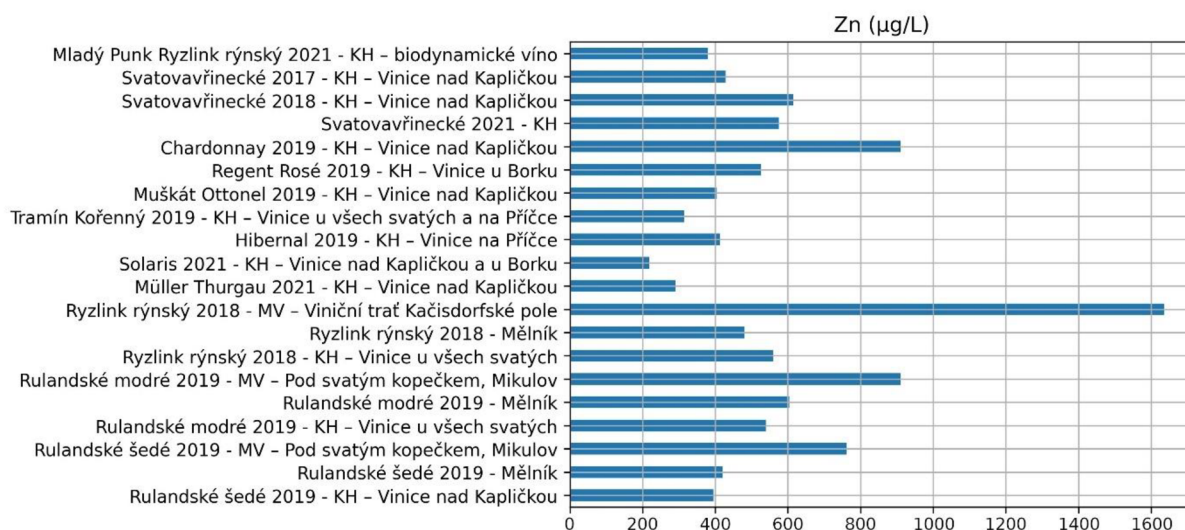
Tabulka 11 Naměřené hodnoty vanad, zinek ($\mu\text{g/L}$)

	V	Zn
1	49.1 \pm 1.84	395 \pm 16.5
2	5.08 \pm 2.94	420 \pm 37.1
3	29.8 \pm 6.47	762 \pm 18.9
4	356 \pm 9.12	539 \pm 8.88
5	3.00 \pm 0.00	604 \pm 36.1
6	36.1 \pm 2.26	910 \pm 23.8
7	155 \pm 1.82	560 \pm 8.10
8	23.4 \pm 1.71	481 \pm 14.0
9	13.6 \pm 3.99	1635 \pm 13.2
10	200 \pm 2.67	290 \pm 27.5
11	101 \pm 3.35	219 \pm 42.5
12	90.1 \pm 1.29	413 \pm 76.5
13	188 \pm 8.98	314 \pm 3.92
14	80.7 \pm 2.94	405 \pm 39.5
15	129 \pm 3.22	525 \pm 1.90
16	180 \pm 2.65	910 \pm 481
17	136 \pm 3.97	575 \pm 11.3
18	81.4 \pm 6.31	615 \pm 32.3
19	19.7 \pm 1.68	428 \pm 19.4
20	3.00 \pm 0.00	380 \pm 22.0



Graf 20 Naměřené množství vanadu

Nejvyšší množství vanadu 356 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 4, Rulandské modré 2019 Kutná Hora, vinice u všech svatých. Nejnižší množství vanadu 3,00 µg/l bylo nalezeno ve vinách číslo 5 – Rulandské modré 2015 Mělník a 20 – Mladý Punk ryzlink rýnský 2021 Kutná Hora. Průměrná hodnota vanadu byla 94,0±3,36 µg/L



Graf 21 Naměřené množství zinku

Nejvyšší množství zinku 1635 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 9 – Ryzlink rýnský 2018 Moravino Valtice, viniční trať Kačisdorfské pole. Nejnižší množství zinku 219 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 11 – Solaris 2021 Kutná Hora, vinice nad kapličkou a u borku. Průměrná hodnota zinku byla 569±46,7 µg/L

6 Diskuze

Mnoho převážně zahraničních studií se věnovalo výzkumu směřujícímu ke stanovení obsahu arsenu v různých potravinách a nápojích, samozřejmě nezapomněly ani na víno. Zajímaly je různé souvislosti. Fiket et al. v roce 2011 zjišťoval obsah arsenu ve víně v oblastech s podzemní vodou se zvýšeným obsahem arsenu. Ta sloužila k zavlažování rostlin. Jiné studie hledaly souvislosti v historii vína. V minulosti byly používány insekticidy obsahující arsen. Např. Vacchina V. et al. v roce 2018 publikovala studii, ve které porovnávala 50 let staré vína. Zajímavé byly i výzkumy týkající se doby sklizně hroznových bobulí (Huang et al. 2015) nebo vliv fermentace na snížení obsahu arsenu (Aguillar et al., 1987). A samozřejmě byly nalezeny i takové, jejichž cílem bylo potvrdit nebo vyvrátit hypotézu: „Ve víně z rizikové oblasti se může vyskytovat arsen?“ (Román Villegas T. et al., 2012). A tato otázka byla i úkolem této práce. Bylo třeba potvrdit nebo vyvrátit tuto hypotézu.

6.1 Analýza vín

Byla vybraná vhodná lokalita, která byla z hlediska této diplomové práce riziková. Byla to Kutná Hora, která není daleko od Prahy a v minulosti se tam těžilo stříbro a celá oblast je známá zvýšeným výskytem rizikových prvků, zvláště pak arsenu (Vejvodová et al., 2022) Je to významná vinařská oblast známá produkcí kvalitních vín. Pro srovnání výsledků analýzy byly vybrány další dvě oblasti, Mělník a Valtice a byly zakoupena vína za účelem výzkumu. Byly to tři stejné značky se stejným rokem z každé oblasti: Ryzlink rýnský 2018, Rulandské modré 2019 a Rulandské šedé 2019. Jelikož bylo třeba se soustředit na rizikovou oblast Kutná Hora, bylo zakoupeno ještě 11 druhů vín z této oblasti: Mladý Punk Ryzlink rýnský 2021 biodynamické víno, Svätovavřinecké 2017 Vinice nad Kapličkou, Svätovavřinecké 2018 Vinice nad Kapličkou, Svätovavřinecké 2021, Chardonnay 2019 Vinice nad Kapličkou, Regent Rosé 2019 Vinice u Borku, Muškát Ottonel 2019 Vinice nad Kapličkou, Tramín Kořenný 2019 Vinice na Příčce, Híbeľmal 2019 Vinice na Příčce, Solaris 2021 Vinice nad Kapličkou a u Borku a Müller Thurgau 2021 Vinice nad Kapličkou. Následně bylo víno analyzováno.

6.1.1 Naměřené hodnoty arsenu ve víně

Naměřené hodnoty arsenu se pohybovaly v rozmezí od 217 do 317 $\mu\text{g/l}$. Průměrná hodnota arsenu ve všech vínech byla 262 $\mu\text{g/l}$

Největší obsah arsenu mělo víno číslo 6 z oblasti Valtice, Rulandské Modré, 2019, s hodnotou arsenu $317 \pm 24,5 \mu\text{g/l}$. Druhý nejvyšší obsah arsenu mělo znovu víno z oblasti Valtice, Ryzlink rýnský 2018, viniční trať Kačirsdorfské pole s hodnotou $314 \pm 22,3 \mu\text{g/l}$. Na třetím místě s nejvyšší hodnotou arsenu skončila znovu oblast Valtice s vínem číslo 3 Rulandské šedé 2019 Moravíno Valtice, pod svatým kopečkem, s hodnotou $303 \pm 6,22 \mu\text{g/l}$.

Naopak nejnižší obsah arsenu měla vína: z oblasti Kutná Hora. Víno číslo 11 Solaris 2021 s hodnotou arsenu $217 \pm 11,2 \mu\text{g/l}$, víno číslo 20 Mladý Punk Ryzlink rýnský 2021 s hodnotou $218 \pm 13,8 \mu\text{g/l}$ a víno číslo 10 značky Müller Thurgau 2021 s hodnotou arsenu $219 \pm 10,9 \mu\text{g/l}$.

Porovnáním naměřených hodnot arsenu ve vybraných vinách se nepotvrdila hypotéza, že v rizikové oblasti Kutná Hora jsou naměřené hodnoty arsenu vyšší, než v lokalitách Valtice a Mělník. To může být způsobeno například rozdílnostmi ve výrobním procesu. Nicméně jak bude ukázáno dále, jedná se i tak o hodnoty spíše vysoké a více či méně překračující limit 200 µg/l.

Román Villegas T. et al. v roce 2012 zveřejnil výzkum s názvem Arsen v půdě, listech, hroznech a vínech. Bylo vybráno 28 různých vinic v Trentinu (severovýchodní Itálie). Byly porovnávány vinice v blízkosti staré těžební oblasti s jinými nekontaminovanými oblastmi. Analýzy byly provedeny pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem. Jak se očekávalo, významně vyšší koncentrace Arsenu vykazovaly vzorky odebrané v blízkosti těžební oblasti. Obsah ve vínech byl vždy <1,4 mg/l. Střední koncentrace arsenu ve víně (n=70) byla 0,60 ug/l (0,09-1,39 ug/l). Závěr výzkumu prokázal, že koncentrace arsenu v bobulích a vínech je velmi nízká a nepředstavuje riziko pro lidské zdraví podle tolerovatelného týdenního příjmu PTWI 15 µg/kg tělesné hmotnost, podle stanovení FAO/WHO a limit 200 µg/l navrhovaný OIV (Román Villegas et al., 2012).

I když se tato studie zabývala komplexním rozbořem půdy, listů, bobulí a vína, je nutné zdůraznit, že byly analyzovány pouze vína bílá. Bylo potvrzeno, že v rizikové oblasti Trentino byly naměřeny vyšší hodnoty arsenu. Nicméně, poměr výsledků měření v blízkosti oblastí, kde se těží, a kde se netěží, byl nižší než 5 %.

Huang H.J. et al. publikoval v roce 2012 studii zabývající se výskytem a stabilitou anorganických a organických sloučenin arsenu ve vínech, zkoumal celkem 80 vzorků vína z Německa, Švýcarska a Rakouska. Zjistil, že celková koncentrace arsenu byla ve většině zkoumaných vzorků nižší, než je limit 10 µg/l pro pitnou vodu stanovený WHO, v rozmezí od 0,46 do 21,0 µg/l v červených a bílých vínech (Huang et al., 2012b).

Zde je dobré připomenout, že koncentrace arsenu našich vzorků z České republiky byla podstatně vyšší, a to v rozmezí od 217 do 317 µg/l.

Wilson D. et al. v roce 2015 zkoumal obsah arsenu v americkém víně. Bylo zkoumáno celkem 65 reprezentativních vín ze čtyř nejlepších vinařských států. Všechny vzorky obsahovaly arsen, který přesahoval U.S. EPA limit pro pitnou vodu 10 µg/l. Všechny vzorky obsahovaly anorganický arsen. Průměrný arsen zjištěný ve všech zkoumaných vzorcích byl 23,3 µg/l. Olovo, běžná spolu kontaminující látka arsenu, bylo zjištěno v 58 % testovaných vzorků, ale pouze 5 % překročilo U.S. EPA limit 15 µg/l. Obsah arsenu v amerických vínech převyšoval hodnoty zjištěné v jiných studiích zahrnujících vodu, balenou vodu, jablečný džus, směs jablečného džusu, mléko, rýžový sirup a další nápoje. Vezmeme-li to v souvislosti se spotřebními zvyklostmi ve Spojených státech, může všudypřítomná přítomnost arsenu ve víně představovat potenciální zdravotní riziko pro běžné dospělé konzumenty vína (Wilson, 2015).

Vacchina V. et al. publikovala v roce 2018 studii zabývající se celkovým množstvím As a jednotlivých druhů As v červeném víně. Použitých bylo 147 druhů z celého světa, od vín se střední cenou po prestižní vína, od mladších ročníků po vína téměř 50 let staré. Z evropských vín bylo použito celkem 76 vzorek z Francie (z toho 38 vzorek z oblasti Bordeaux), 5 vzorek ze Španělska, 4 vzorky z Itálie, 5 vzorek z Řecka a 7 vzorek ze Slovinska. Pomocí HPLC-ICP-MS (vysoce účinná kapalinová chromatografie s detekcí pomocí hmotnostní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem) byly zjištěné hodnoty

celkového As, As (III), As (V), DMA a MMA. Nejnižší celková koncentrace celkového As byla nižší než 0,1 µg/L, přičemž nejvyšší hodnota byla 56 µg/L—u starého vína z roku 1969 (pravděpodobně ošetřeného na bázi As, jak to tehdejší doba umožňovala). 75% vzorků vína mělo koncentraci celkového As nižší než 4,3 µg/L a 93% vzorků nižší než 10 µg/L. Při analyzování výsledků se vplyvem rozptylu nedá jasně diskriminovat konkrétní geografický původ vín se zvýšeným obsahem celkového As. As (III) a As (V) byly detekovány v téměř všech vzorkách vína, přičemž As (III) je převládající formou. DMA bylo detekováno v méně než polovině všech vzorků a MMA pouze ve velmi malém počtu vzorků. (Vacchina et al., 2018).

Koncentrace celkového As byla u všech našich vzorek vyšší, než je limit 200 µg/L stanovený OIV. Běžná spotřeba vína může být nebezpečným, přispívá k příjmu toxické formy As. Studie Vacchina et al, 2018 sice zahrnovala vína z celého světa, no nebyly analyzovány každé jedno samostatně. Hodnoty všech vín z jednoho státu, např. z Itálie, byly zprůměrovány. Není jasné, které konkrétní vína a oblasti, měly vína s nejvyšším množstvím arsenu, na které by se mělo víc zaměřit. Výhodou zase bylo, že byly naměřené konkrétní druhy arsenu, nejen celkové množství. Analyzovány byly pouze vína červená, chybí vína bílá. V našem pokusu nebylo víno starší, než z roku 2017. Bylo by vhodné analyzovat i vína starší, archivní ročníky, cenově dražší. Dále by bylo možné nezjišťovat pouze celkové množství As, ale i množství jednotlivých forem As – As (III), As (V), DMA a MMA. Naměřené hodnoty arsenu v naší studii se pohybovaly v rozmezí od 217 do 317 µg/L, průměrná hodnota arsenu ve všech vínech je 262 µg/L. Tato hodnota je 60× vyšší v porovnání se 75 % vzorek vín s koncentrací As nižší než 4,3 µg/L.

Herce-Pagliai C. et al. publikoval v roce 2002 studii o stanovení množství arsenu a jeho druhů ve víně v jižním Španělsku. Bylo získáno 45 vzorků vína s různým obsahem alkoholu – 15 hroznových šťáv/moštů zakoupených od výrobců vína v Andalusii a 30 komerčních stolních bílých vín z jihu Španělska, plus 15 sherry vín s obsahem alkoholu 15 %, které dozrály v dubových sudech. Pomocí HG-ASS (generování hydridů s následnou detekcí atomovou absorpční spektroskopií) bylo stanoveno celkové množství As v rozmezí od 2,1 do 14,6 µg/L s průměrnou hodnotou 8,3 µg/L, As (III) se pohybovalo v rozmezí 0,6 až 3,8 µg/L, As (V) v rozmezí 0,7 – 6,7 µg/L, MMA 1,5 – 9,6 µg/L a DMA 0,7 – 15,10 µg/L. Mezi vínem, moštem a sherry vínem nebyly více jako 5 % signifikantní rozdíly (Herce-Pagliai et al., 2002).

Tato studie byla v roce 2002 porovnávaná s tehdy platnými údaji. V roce 2000 byla spotřeba vína ve Španělsku 34,3 litrů/osoba za rok. Celkový příjem arsenu činil 0,78 µg/osoba za den, a z toho celkové množství anorganického arsenu činilo 0,15 µg/osoba za den. Tehdejší výsledky byly mnohem nižší než TDI tolerovatelný denní příjem stanovený FAO/WHO v roce 1983–50 µg/kg pro celkový arsen a 2,1 µg/kg za den pro anorganický arsen. Průměrná spotřeba pijačka vína významně nevystavovala nebezpečným dávkám As.

Analytické údaje z vín s různými podmínkami sklizně jasně ukázaly, že čím delší čas hroznové bobule zůstaly na půdě, tím větší byla koncentrace arsenu ve víně. Tento trend naznačoval úroveň koncentrace arsenu nalezen v pořadí: ledové víno > víno z pozdního sběru > červené a bílé víno. Zmrazovací procesy také zvyšují koncentrace arsenu, protože se vyloučí jak cukr, tak rozpuštěné látky z ledu (Huang et al., 2015).

Vliv postupů při výrobě vína na koncentrace a speciace arsenu ve víně zkoumal Aguilar et al. (1987) v moštu, růžovém a červeném víně, ve vzorcích ze Španělska. Průměrné celkové koncentrace arsenu klesly z 6,6 µg/l ve vzorcích moštu na 3,5 µg/l ve vzorcích růžového vína a 4,6 µg/l v červených vínech, což naznačuje, že jsou možné různé postupy výroby vína ke snížení koncentrace arsenu (Aguilar et al., 1987).

Fiket Ž. et al. v roce 2011 vydal studii, ve které byly zkoumány hladiny arsenu a dalších stopových prvků: Al, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V a Zn ve vínech ze Slavonie (východní Chorvatsko), Istrie (západní Chorvatsko) a Vojvodina (severní Srbsko). Východní Slavonie je oblastí, kde je zvýšená koncentrace arsenu v pitné vodě a představuje vážné ohrožení pro lidské zdraví. Podzemní voda slouží v této oblasti pro veřejné zásobování vodou, i pro zavlažování zemědělské půdy, ačkoli na některých místech byly naměřené koncentrace až 600 µg/l As. Koncentrace arsenu v analyzovaných vínech odpovídaly hladinám uváděným pro vína ze sousedních zemí a ve všech zkoumaných vzorcích byly hladiny koncentrace arsenu nižší než maximální úroveň kontaminace stanovená chorvatskými a OIV. předpisy. Našli však značné rozdíly mezi získanými hodnotami pro As ve vínech ze Slavonie (1,7–9,7 lg/l) a Vojvodina (4,1–19,1 lg/l), ve srovnání s víny z Istrie (0,7–3,3 lg/l). Studia naznačila, že je zapotřebí další výzkum, který potvrdí nebo vyvrátí, zda problém kontaminovaných podzemních vod arsenem ovlivňuje úroveň arsenu ve víně. U všech analyzovaných prvků byli úrovně koncentrace pod maximální úrovní kontaminace. V analyzovaných vzorcích vína byla zjištěna vzájemná korelace prvků Al, As, Be, Bi, Li, Pb a Ti. Přítomnost prvků Al, Be, Li a Ti souvisely s regionální geochemií půdy. Sdružení prvků Pb, Bi a As implikoval převládající přírodní zdroj (Fiket et al., 2011).

6.1.2 Naměřené hodnoty ostatních vybraných prvků ve víně

Naměřené hodnoty barya se pohybovaly v rozmezí od 34 do 267 µg/l. Nejnížší množství barya byly nalezeny ve vínech číslo: 2 – vinařství Kraus Mělník, Rulandské šedé, ročník 2019 a víno číslo 20 Mladý Punk Ryzlink rýnský 2021 Kutná Hora. Nejvyšší množství barya bylo nalezeno ve víně číslo 5 – vinařství Kraus Mělník, Rulandské modré, ročník 2019.

Stálo by za další měření zjistit, proč Rulandské víno stejného ročníku 2019, jen jedno šedé a jedno modré, má rozdílné hodnoty barya.

Clark A. C. et al v roce 2015 publikoval studii o chemii mědi v bílém víně. Zvýšená koncentrace mědi v konečném produktu – víně, je následkem přidání mědi buď jako síranu nebo citrátu k odstranění sulfidických zápachů. Maximální přijatelný limit stanovený OIV pro měď ve víně je 1 mg/l. Limit pro vinaře při ošetření vína Cu(II) ať už sulfátu nebo citrátu je povoleno přidat 1g/hL (Clark et al., 2015).

Nejvyšší hodnota mědi vyšla u vína číslo 6 až 1034 µg/l – Moravíno Valtice, oblast Mikulov, vinice pod svatým kopečkem, Rulandské modré, ročník 2019. Tato hodnota byla mnohonásobně vyšší oproti ostatním naměřeným hodnotám. U vín 8, 18 a 19 byla naměřena hodnota nahrazená ½ detekčního limitu 3,0 µg/l. Nami naměřená nejvyšší hodnota mědi 1,034 mg/l je pouze o 0,034 vyšší, než je maximální limit OIV.

Almeida C. M. R. et al. publikoval v roce 2003 studii zabývající se kontaminací olovem v portugalských červených vínech. Zkoumal během jednoho ročního cyklu celý proces výroby vína, od vinice až po finální produkt, u dvou druhů vín – červené stolní víno vyráběno

v moderním vinařství a červené fortifikované víno (obdoba portského) vyráběno tradičně. Bylo pozorováno, že hlavní zdroje kontaminace olovem byly vyšší u tradičního způsobu výroby. U fortifikovaného vína se koncentrace olova zvýšila z 4,7 µg/L v hroznové šťávě na 17,2 µg/L u finálního produktu, zatímco u stolního vína byl nárůst z 4,1 na 13,1 µg/L. Obě studovaná vína obsahovala relativně nízké hladiny Pb. Tato studie ukazuje na snížení hladiny olova ve víně, pokud by byly odstraněny zdroje kontaminace ve vinifikačním systému, zejména použitím svařovacích slitin a tvarovek bez obsahu olova (Almeida&Vasconcelos, 2003).

V době publikace této studie platily prahové mezní hodnoty stanoveny OIV pro olovo ve víně 200 µg/L. OIV v roce 2019 publikovala nové maximální přijatelné limity pro olovo ve víně:

- 0,10 mg/L pro víno vyrobené od roku sklizně 2019, a
- 0,15 mg/L pro likérová vína, vyrobená od roku sklizně 2019.

Původní stanovená hodnota byla snižena o polovinu (Roca, 2019).

V našem pokusu byly pouze 4 vína, které měly vyšší hodnotu olova, než je detekční limit. Byly to konkrétně: víno číslo 5. Rulandské modré 2019 z Mělníka s hodnotou 64,3 µg/L, víno číslo 20. Mladý Punk Ryzlink rýnský 2021 Kutná Hora (biodynamické víno) s hodnotou 37,5 µg/L, víno číslo 17. Svatovavřínecké 2021 Kutná Hora s hodnotou 32,2 µg/L a víno číslo 10. Müller Thurgau 2021 Kutná Hora, vinice nad kapličkou s hodnotou 12,6 µg/L. Ani jedno víno nepřevyšovalo limit stanovený OIV.

V porovnání s portugalským stolním vínem a studií z roku 2003 bylo u našeho vína číslo 5 množství olova o více jako pětinašobek vyšší. Víno číslo 10 mělo nejbližší hodnotu olova v porovnání s portugalským stolním vínem.

Durguti V. et al. v roce 2020 publikoval studii o stanovení železa, mědi a zinku ve víně pomocí FAAS (Plamenová atomová absorpční spektroskopie). V této studii mělo nejvyšší obsah zinku víno Ryzlink rýnský 2017 Kosovo ve výši 1,609 mg/l. Z třináctých vzorků obsahovaly zinek pouze čtyři. Podle OIV by měla být hodnota zinku menší než 5 mg/l (Durguti et al., 2020).

Nejvyšší množství zinku 1635 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 9, Ryzlink rýnský 2018 Mikulov. Táto je na podobné úrovni jako v předcházející studii. Nejnižší množství zinku 219 µg/l bylo nalezeno ve víně číslo 11, Solaris 2021, Kutná Hora.

Sumarizací výsledků se zjistilo následující:

Víno č. 6 obsahuje nejvíce arsenu, draslíku, mědi, niklu, fosforu a křemíku.

Víno č. 3 obsahuje nejvíce hliníku, kobaltu, železa a sodíku.

Víno č. 5 obsahuje nejvíce bóru, barya a olova, naopak nejméně vanadu.

Víno č. 9 obsahuje nejvíce vápníku, zinku a manganu, naopak nejméně chromu.

Víno č. 19 obsahuje nejméně hliníku, vápníku, mědi, sodíku a síry.

Víno č. 7 obsahuje kadmium, a obsahuje nejméně draslíku.

Víno č. 10 obsahuje nejméně bóru a křemíku.

Víno č. 20 obsahuje nejméně železa, hořčíku, niklu, barya a vanadu.

Víno č. 4 obsahuje nejvíce chromu a vanadu.

Vína č. 3, 6 a 9 pocházejí z oblasti Mikulov, která nebyla určena jako riziková oblast.

Ostatní vína byla v našem výzkumu mezi nejvíce a nejméně uvedenými hodnotami jednou nebo vůbec.

Nejvyšší hodnoty jednotlivých prvků byly z vinařství Moravíno Valtice, i když byl předpoklad, že nejvyšší hodnoty budou u vín z Kutné Hory.

6.2 Závěrem

Hypotéza této práce: „Ve víně z rizikové oblasti se může vyskytovat arsen“ se potvrdila. Nicméně, arsen se nenacházel pouze ve víně z rizikové oblasti, ale také ve zvýšené míře ve všech námi zkoumaných oblastech.

Vzhledem k tomu, že z výsledků našeho výzkumu vyšly všechny vína nadlimitní v arsenu, by bylo vhodné provést ještě další šetření. Bylo by vhodné porovnat vína z více než tří vinohradnických oblastí, a určitě by bylo lepší porovnávat ne jenom české, ale i zahraniční vína.

7 Závěr

V diplomové práci jsme se věnovali výzkumu směřujícímu ke zjištění obsahu arsenu ve víně z rizikové oblasti.

Bylo třeba potvrdit nebo vyvrátit hypotézu: „Ve víně z rizikové oblasti se může vyskytovat arsen.“ Takovouto oblast představuje historicky antropogenně kontaminovaná lokalita, kde se v současné době nacházejí vinice, v našem výzkumu je touto oblastí Kutná Hora.

Cílem teoretické části diplomové práce bylo vytvořit ucelený literární přehled o arsenu, základní informace, fyzikální a chemické vlastnosti, toxicita, zdroje kontaminace životního prostředí. Dále byly popsány analytické metody, kterými stanovujeme množství arsenu v půdě, hroznech a víně.

Cílem praktické části diplomové práce bylo najít oblast, kde se pěstuje vinná réva a kde je zvýšený obsah arsenu v půdě. Pomocí vhodné analytické metody byl stanoven obsah arsenu (a dalších rizikových prvků) v komerčně dostupném víně z dané oblasti a v kontrolních vzorcích. Výsledky byly statisticky vyhodnocené.

Pro stanovení výzkumu byly vybrány tři oblasti v ČR. Jako první riziková oblast Kutná Hora 14 vzorků vína a pro srovnání další dvě oblasti Mělník 3 vzorky vína a Valtice 3 vzorky vína. Dohromady 20 vzorků.

Kromě jednotlivých oblastí byly vybrány k porovnání i jednotlivé značky se stejným rokem výroby a to: Ryzlink rýnský 2018, Rulandské modré 2019 a Rulandské šedé 2019 z těchto tří oblastí.

Hypotéza o arsenu ve víně z rizikové oblasti se potvrdila. Taktéž bylo zjištěno, že zvýšené množství arsenu se vyskytuje ve všech zkoumaných oblastech. Vzhledem k tomu, že požití nadměrného množství arsenu ohrožuje zdraví člověka, je nutná pravidelná kontrola složení všech prodávaných vín.

Rozšířením analýzy bylo i srovnání obsahu jiných prvků ve vzorcích vín.

Doporučuji pokračování analýz nejenom arsenu, ale i dalších rizikových prvků, ve vínech ze všech oblastí Čech a Moravy, a z vybraných zahraničních druhů vín.

Jako další doporučuji analyzovat ne jenom finální produkt – víno, ale též půdu ve vinicích, hrozny a listy vinné révy.

Výsledky práce jsou, vzhledem k malému počtu vín, pouze orientační.

8 Literatura

Arsenic [online]. Geneva, Switzerland: WHO WorldHealthOrganisation, 2022.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

Arsenic compounds [online]. Helsinki, Finland: ECHA - EuropeanChemicalAgency, 2021.
<https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.239.166>

IUPAC – the International Union ofPure and AppliedChemistry. (2018). Periodic table ofelements. <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>

IARC – InternationalAgencyforResearch on Cancer. (2012). Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-6.pdf>

ČSN EN 15841:2009. Kvalita venkovního ovzduší – Normovaná metoda pro stanovení arsenu, kadmia, olova a niklu v atmosférické depozici. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak: 835630

ČSN ISO 17378-2:2015. Kvalita vod – Stanovení arsenu a antimonu – Část 2: Metoda atomové absorpční spektrometrie s generováním hydridů (HG-AAS). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. Třídící znak: 757403

NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2023/465 kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006: maximální limity arsenu v určitých potravinách [online]. Brusel, Belgie: zákony on-line, 2023
<https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32023R0465>

Vyhláška č. 153/2016 Sb.: o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy [online]. Česko: zákony pro lidi, 2016, <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153>

PubChem – NationalLibraryofMedicine (US), National Center for Biotechnology Information; 2004-. PubChemCompoundSummaryfor CID 5359596, Arsenic.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Arsenic>

PubChem - NationalLibraryofMedicine (US), National Center for Biotechnology Information; 2004-. PubChemAnnotationRecordfor ARSENIC, ELEMENTAL, Source: HazardousSubstances Data Bank (HSDB). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/509>

PubChem - NationalLibraryofMedicine (US), National Center for Biotechnology Information; 2004-. PubChem Element SummaryforAtomicNumber 33, Arsenic.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Arsenic#section=History>

PubChem - NationalLibraryofMedicine (US), National Center for Biotechnology Information; 2004-. PubChem Element SummaryforAtomicNumber 33, Arsenic.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Arsenic#section=Isotopes>

- Khan, S.R., Sharma, B., Chawla, P.A. *et al.* Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES): a Powerful Analytical Technique for Elemental Analysis. *Food Anal. Methods* **15**, 666–688 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02148-4>
- Abernathy, C. O, Liu, Y.-P., Longfellow, D., Vasken Aposhian, H., Beck, B., Fowler, B., Goyer, R., Menzerl, R., Rossman, T., Thompson, C., & Waalkes, M. (n.d.). *Workshop Summary Arsenic: Health Effects, Mechanisms of Actions, and Research Issues*.
- Aguilar, M. V., Martinez, M. C., & Masoud, T. A. (1987). *Arsenic content in some Spanish wines Influence of the wine-making technique on arsenic content in musts and wines*. <https://doi.org/10.1007/BF01042044>
- Almeida, C. M. R., & Vasconcelos, M. T. S. D. (2003). Lead contamination in Portuguese red wines from the Douro region: From the vineyard to the final product. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(10), 3012–3023. <https://doi.org/10.1021/jf0259664>
- Barth, J. A., Puñel, M., Ban, Z., & Grdenić, D. (1977). On the Allotropy of Arsenic. In *Z. anorg. allg. Chem* (Vol. 437).
- Bentley, R., & Chasteen, T. G. (2002). Arsenic Curiosa and Humanity. *The Chemical Educator*, *7*(2), 51–60. <https://doi.org/10.1007/s00897020539a>
- Bertoldi, D., Villegas, T. R., Larcher, R., Santato, A., & Nicolini, G. (2013). Arsenic present in the soil-vine-wine chain in vineyards situated in an old mining area in Trentino, Italy. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *32*(4), 773–779. <https://doi.org/10.1002/etc.2119>
- Clark, A. C., Wilkes, E. N., & Scollary, G. R. (2015). Chemistry of copper in white wine: A review. In *Australian Journal of Grape and Wine Research* (Vol. 21, Issue 3, pp. 339–350). <https://doi.org/10.1111/ajgw.12159>
- Doyle, D. (2009a). Notoriety to respectability: A short history of arsenic prior to its present day use in haematology. In *British Journal of Haematology* (Vol. 145, Issue 3, pp. 309–317). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2141.2009.07623.x>
- Doyle, D. (2009b). Notoriety to respectability: A short history of arsenic prior to its present day use in haematology. In *British Journal of Haematology* (Vol. 145, Issue 3, pp. 309–317). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2141.2009.07623.x>
- Durguti, V., Aliu, S., Laha, F., & Feka, F. (2020). Determination of iron, copper and zinc in the wine by FAAS. *Emerging Science Journal*, *4*(5), 411–417. <https://doi.org/10.28991/esj-2020-01240>
- Encyclopedia of Metalloproteins. (2013). In *Encyclopedia of Metalloproteins*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1533-6>
- Fiket, Ž., Mikac, N., & Kniewald, G. (2011). Arsenic and other trace elements in wines of eastern Croatia. *Food Chemistry*, *126*(3), 941–947. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.091>
- Flamini, R., & Panighel, A. (2006). Mass spectrometry in grape and wine chemistry. Part II: The consumer protection. *Mass Spectrometry Reviews*, *25*(5), 741–774. <https://doi.org/10.1002/mas.20087>
- Flora, S. J. S. (2015a). Arsenic: Chemistry, Occurrence, and Exposure. In *Handbook of Arsenic Toxicology* (pp. 1–49). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418688-0.00001-0>

- Flora, S. J. S. (2015b). Arsenic: Chemistry, Occurrence, and Exposure. In *Handbook of Arsenic Toxicology* (pp. 1–49). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418688-0.00001-0>
- Fowler, B. A., Chou, C. H. S. J., Jones, R. L., Sullivan, D. W., & Chen, C. J. (2015). Arsenic. In *Handbook on the Toxicology of Metals: Fourth Edition* (Vol. 1, pp. 581–624). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00028-7>
- Hempel, S. (2013). The art of medicine. In *The Lancet* (Vol. 381, Issue 9885, pp. 2247–2248). Elsevier B.V. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61472-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61472-5)
- Herce-Pagliai, C., Moreno, I., González, G., Repetto, M., & Cameán, A. M. (2002). Determination of total arsenic, inorganic and organic arsenic species in wine. *Food Additives and Contaminants*, 19(6), 542–546. <https://doi.org/10.1080/02652030110113762>
- Huang, J. H., Hu, K. N., Ilgen, J., & Ilgen, G. (2012a). Occurrence and stability of inorganic and organic arsenic species in wines, rice wines and beers from central european market. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 29(1), 85–93. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.615029>
- Huang, J. H., Hu, K. N., Ilgen, J., & Ilgen, G. (2012b). Occurrence and stability of inorganic and organic arsenic species in wines, rice wines and beers from central european market. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 29(1), 85–93. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.615029>
- Huang, J. H., Hu, K. N., Ilgen, J., Ilgen, G., & Alewell, C. (2015). Arsenic in Wines and Beers from European Markets: Alert of Arsenic Species in Response to Processing. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 509–515). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00061-5>
- Jelínek Emil. (2008). *MODERNÍ ANALYTICKÉ METODY V GEOLOGII*. https://old.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/Moderni_analyticke_metody_v_geologii.pdf
- Jones, F. T. (2007). *INVITED REVIEW A Broad View of Arsenic*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ps/86.1.2>
- Kabata-Pendias, Alina., & Pendias, Henryk. (2001). *Trace elements in soils and plants*. CRC Press.
- Kapp, R. W. (2018). Arsenic Toxicology. In *Reference Module in Biomedical Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801238-3.62151-7>
- Paul, N. P., Galván, A. E., Yoshinaga-Sakurai, K., Rosen, B. P., & Yoshinaga, M. (2022). Arsenic in medicine: past, present and future. In *BioMetals*. Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00371-y>
- Pretorius, I. S., & Høj, P. B. (2005). Grape and wine biotechnology: Challenges, opportunities and potential benefits. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(2), 83–108. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00281.x>
- Raitnake T.N. (2003). Acute and chronic arsenic toxicity. In *Postgrad Med J* (Vol. 79). <https://doi.org/10.1136/pmj.79.933.391>
- Roca, P. (2019). *OIV-OENO 638-2019 Certified in conformity Geneva*.
- Román Villegas, T., Bertoldi, D., Larcher, R., Santato, A., Bottura, M., & Nicolini, G. (2012). *IXe Congrès International des Terroirs vitivinicoles 2012 / IXe International Terroirs Congress*.
- Stockley, C., Paschke - Kratzin, A., Teissedre, P.-L., Restani, P., Tejedor, N. G., & Quini, C. (2021). *ARSENIC AND WINE: A REVIEW*. <https://www.oiv.int/public/medias/7868/oiv-expertise-document-arsenic-and-wine-a-review.pdf>

- Vacchina, V., Epova, E. N., Bérail, S., Médina, B., Donard, O. F. X., & Séby, F. (2018). Total As and As speciation from worldwide collected red wine samples. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 11(4), 286–292. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1504823>
- Vejvodová, K., Ash, C., Dajčl, J., Tejnecký, V., Johanis, H., Spasić, M., Polák, F., Praus, L., Borůvka, L., & Drábek, O. (2021). Assessment of potential exposure to As, Cd, Pb and Zn in vegetable garden soils and vegetables in a mining region. *Scientific Reports*, 11, 13495. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17461-z>
- Watanabe, T., & Hirano, S. (2013). Metabolism of arsenic and its toxicological relevance. *Archives of Toxicology*, 87(6), 969–979. <https://doi.org/10.1007/s00204-012-0904-5>
- Wilson, D. (2015). Arsenic Content in American Wine. *Journal of Environmental Health*, no.3, 16–23. <https://doi.org/10.2307/26330332>
- Zaib, M., Athar, M. M., Saeed, A., & Farooq, U. (2015). Electrochemical determination of inorganic mercury and arsenic-A review. In *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 74, pp. 895–908). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.07.058>
- Zia, M., Kamal, U., & Yunus Miah, M. (2021). *Arsenic Speciation Techniques in Soil Water and Plant: An Overview*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99273>

9 Seznam použitých obrázků, grafů a tabulek

Obrázek 1 Klinické indikace k předepsání Fowlerova roztoku (Doyle D., 2019).....	12
Obrázek 2 Oxidativní methylační dráha (a) a glutathionová konjugační (redukční) dráha (b) pro metabolismus arsenu u savců (Watanabe T. & Hirano S., 2013)	20
Obrázek 3: Cyklus arsenu v přírodě (upraveno (Jones F.T., 2007)).....	23
Obrázek 4 Zrající víno	27
Obrázek 5 Vyfocená očíslovaná vína číslo 1-9.....	31
Obrázek 6 Vyfocená očíslovaná vína číslo 10–20.	31
Obrázek 7: Připravené vzorky	32
Obrázek 8 Instrumentace ICP-OES (upraveno (Khan S. R., et al., 2022))	34
Graf 1 Naměřené množství arsenu	36
Graf 2 Naměřené množství draslíku.....	37
Graf 3 Naměřené množství hliníku	39
Graf 4 Naměřené množství bóru	39
Graf 5 Naměřené množství barya	40
Graf 6 Naměřené množství vápníku.....	42
Graf 7 Naměřené množství kadmia.....	42
Graf 8 Naměřené množství kobaltu	43
Graf 9 Naměřené množství chromu	43
Graf 10 Naměřené množství mědi	45
Graf 11 Naměřené množství železa	45
Graf 12 Naměřené množství hořčíku	46
Graf 13 Naměřené množství manganu	46
Graf 14 Naměřené množství sodíku.....	48
Graf 15 Naměřené množství niklu	48
Graf 16 Naměřené množství fosforu	49
Graf 17 Naměřené množství olova.....	49
Graf 18 Naměřené množství síry	51
Graf 19 Naměřené množství křemíku	51
Graf 20 Naměřené množství vanadu	53
Graf 21 Naměřené množství zinku.....	53
Tabulka 1 Anorganické sloučeniny arsenu	15
Tabulka 2 Organické sloučeniny arsenu.....	17
Tabulka 3 Přehled názvů odrůd, ročníků a vinic (když bylo uvedeno na láhvi) všech 20 vin použitých pro analýzu, dále uvedeny pod čísly 1–20.....	30
Tabulka 4: Naměřené množství arsenu ($\mu\text{g/L}$)	36
Tabulka 5 Naměřené hodnoty draslíku ($\mu\text{g/L}$)	37
Tabulka 6 Naměřené hodnoty hliník, bór, baryum, beryllium ($\mu\text{g/L}$)	38
Tabulka 7 Naměřené hodnoty vápník, kadmium, kobalt, chrom ($\mu\text{g/L}$).....	41
Tabulka 8 Naměřené hodnoty měď, železo, hořčík, mangan ($\mu\text{g/L}$)	44
Tabulka 9 Naměřené hodnoty sodík, nikl, fosfor, olovo ($\mu\text{g/L}$).....	47
Tabulka 10 Naměřené hodnoty síra, antimon, křemík ($\mu\text{g/L}$)	50
Tabulka 11 Naměřené hodnoty vanad, zinek ($\mu\text{g/L}$)	52

10 Seznam použitých zkratek

Ar – argon

As – arsen

ATP – adenosíntrifosfát

CONTAM – vědecká komise pro kontaminující látky v potravinovém řetězci

ČR – Česká republika

ČSN EN – česká technická norma

DMA – kyselina dimethylarsinová

DNA – deoxyribonukleová kyselina

EHP – evropský hospodářský prostor

ET-ASS electrothermal atomic absorption spectrometry – elektrotermální atomová absorpční spektrometrie

ES – nařízení komise

EU – Evropská unie

FAO – organizace pro výživu a zemědělství Spojených národů

GF-ASS – grafitová atomová absorpční spektrometrie

GIT – gastrointestinální trakt

HG-ASS – rtuťnatá atomová absorpční spektrometrie

HPLC-ICP-MS – vysoce účinná kapalinová chromatografie s detekcí pomocí hmotnostní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem

ICP – OES inductively coupled plasma optical emission spectroscopy – optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

JECFA – společný výbor expertů FAO/WHO pro potravinářská aditiva

KH – Kutná Hora

MMA – kyselina monomethylarsonová

MV – Moravíno Valtice

OIV – international organisation of vine and wine – mezinárodní organizace pro víno a révu

OS – operační systém

P – fosfor

pH – kyselost či zásaditost

PP – polypropylen

RF – rádiofrekvenční

USA – spojené státy americké

WHO – světová zdravotnická organizace