

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor č. 7: Zemědělství, potravinářství, lesní a vodní hospodářství**

## **Problematika výskytu arsenu na Velharticku**

**Barbora Volfová**  
**Plzeňský kraj**

**Velhartice 2021**

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 7: Zemědělství, potravinářství, lesní a vodní hospodářství

**Problematika výskytu arsenu na Velharticku**

**The issue of arsenic in Velhartice**

**Autoři:** Barbora Volfová

**Škola:** Gymnázium Jaroslava Vrchlického  
Národních mučedníků 347, 339 01 Klatovy

**Kraj:** Plzeňský

**Konzultant:** Ing. Markéta Kovandová

Velhartice 2021

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracovala samostatně a použila jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Ve Velharticích dne 27.2.2021

Barbora Volfová

## **Poděkování**

Prostřednictvím těchto řádek bych chtěla nejvíce poděkovat paní učitelce Ing. Markétě Kovandové, která mě provázela svým výzkumem po celé dva roky. Věnovala mi spoustu svého volného času a poskytla mi nespočet cenných rad. Byla mým konzultantem a zajistila mi analyzování odběrů v laboratořích LABTECH s.r.o. Rovněž mě seznámila s RNDr. Svatoplukem Krýslem, CSc., který mi poskytl mnoho nepostradatelných rad, poučil mě, jak odebírat veškeré vzorky a seznámil mě s metodou, díky které byly prvky ve vzorcích analyzovány. Dále bych chtěla poděkovat Obci Velhartice za poskytnutí materiálů, informací a dat ke zpracování práce. Rovněž jsem velmi vděčná paní Marii Zajícové, bývalé pracovníci na geologickém ústavu, za konzultace ohledně podloží v okolí prováděných odběrů a za zapůjčení všech geologických map, které zde byly použity. Také bych chtěla poděkovat všem osloveným osobám, díky kterým jsem mohla odebrat vodu z jejich soukromých pozemků a panu Ing. Petru Mejstříkovi, kastelánovi hradu Velhartice. V neposlední řadě nesmím opomenout mé rodiče, kteří mi byli nejen velkou oporou při psaní celé práce, ale také mi umožnili pěstovat plodiny na naší zahradě po celou jednu sezónu.

## **Anotace**

Ve své práci jsem se zabývala arsenem a jeho výskytem v hlubinných vrtech, kopaných studnách či v přirozených vývěrech vody. Rovněž jsem analyzovala další dva těžké kovy, kadmium a měď. Cílem bylo zjistit míru výskytu sledovaných těžkých kovů ve vodě na Velharticku. Ve druhém roce byla práce rozšířena o stanovení arsenu v půdě a rostlinách zalévaných kontaminovanou vodou.

## **Klíčová slova**

arsen; kontaminace; těžba; podloží; rostliny; půda

## **Annotation**

In my work I dealt with arsenic and its occurrence in deep wells, dug wells or natural water springs. I also analyzed two other heavy metals, cadmium and copper. The aim was to determine the rate of occurrence and monitored heavy metals in water in the Velhartice region. In the second year, I expanded the work to include the determination of arsenic in soil and plants watered with contaminated water.

## **Keywords**

arsenic; contamination; extraction; subsoil; plants; soil

# Obsah

1	Úvod	7
2	Teoretická část .....	8
2.1	Těžba na Velharticku	8
2.2	Arsen	8
2.2.1	Historie	8
2.2.2	Charakteristika	9
2.2.3	Toxicita arsenu	9
2.3	Arsen ve vodě	10
2.4	Arsen v půdě	11
2.5	Arsen v plodinách	11
2.6	Kadmium	12
2.7	Měď	12
3	Experimentální část.....	13
3.1	Zkoumání arsenu ve vodě	13
3.2	Zdroje pitné vody	16
3.2.1	Velhartice – studánka (č.2)	16
3.2.2	Horní Staňkov-zdroj pitné vody (č.4)	17
3.2.3	Velhartice, hrad–vrt (č.5)	19
3.2.4	Šlajf–zdroj pitné vody (č.6)	20
3.2.5	Velhartice-zdroj pitné vody (č.9)	21
3.2.6	Nemilkov-zdroj pitné vody (č.11)	22
3.3	Zdroje užitkové vody	24
3.3.1	Velhartice, č.p. 203 - vrt (č.1)	24
3.3.2	Horní Staňkov, č.p.4–studánka (č.3)	25
3.3.3	Hory Matky Boží–studánka (č.7)	26
3.3.4	Velhartice, č.p.20 -bývalá kašna (č.8)	27
3.3.5	Velhartice-průzkumný vrt (č.10a)	29
3.3.6	Kolinec, č.p.240–studna (č.10b)	30
3.3.7	Velhartice, č.p.19–vrt (č.12)	31
3.4	Zkoumání arsenu v půdě	32
3.5	Zkoumání arsenu v plodinách	33
4	Závěr	36

4.1	Voda	36
4.2	Zemina	38
4.3	Rostliny	39
5	Zdroje.....	40
6	Přídavné grafy.....	42
7	Seznam tabulek.....	43
8	Seznam obrázků.....	44
9	Seznam grafů.....	45
10	Vysvětlivky.....	46

# 1 ÚVOD

Velhartice na Klatovsku jsou mým domovem od narození. Vždy mě zajímala jejich historie, která je spjata i s těžbou stříbra. Poté, co jsem více porozuměla chemii a začala více sledovat souvislosti, zaznamenala jsem větší výskyt arsenu ve vrtaných studnách v našem okolí. Chtěla jsem zjistit, jestli se arsen do vody dostává pouze po provrtání určité vrstvy v hornině nebo je zde již kontaminovaná i povrchová voda. Z výsledků měření jsem chtěla dále vyvodit, jak získat pitnou nekontaminovanou vodu. V průběhu výzkumu mě rovněž začalo zajímat, zda se může arsen dostat z užitkové kontaminované vody do zeleniny či ovoce, které vodou zaléváme a jak moc se kontaminuje půda. Do této práce, která pro získání většího souboru dat trvala dva roky, jsem zařadila i výsledky rozborů vlastní vypěstované zeleniny a zeminy, ve které byla vypěstována. Vzhledem k tomu, že je arsen doprovázen i dalšími kovy, rozborů byly rozšířeny i o stanovení kadmia a mědi.



## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Těžba na Velharticku

Ve své práci jsem se zaměřila na oblast, kde by mohl být výskyt arsenu možný jako důsledek těžby v minulosti. Na Velharticku se těžilo stříbro a s tím je spojená mineralizace arsenu, olova, zinku, mědi atd. Na základě uvedeného lze předpokládat vyšší obsah zejména arsenu v horninách, který se do vod dobře uvolňuje a migruje. Celkové pozadí hornin v této lokalitě má zvýšené hodnoty obsahu arsenu.

Rudní ložiska v oblasti Hor Matky Boží jsou součástí série hydrotermálních ložisek uložených na severozápadním okraji středočeského plutonu. Jedná se o žilné formace rud polymetalického charakteru s obsahem arsenu, olova, zinku a v minulosti i zlata.

Na Velharticku byl hlavním užitkovým rudním materiálem stříbronosný galenit, na některých žilách dokonce i zlato. Vyskytovaly se zde dva typy žil, křemenné, slabě zlatonosné s arsenopyritem a pyritem a baryto-křemenné se stříbronosným galenitem. Rudní žíly zde byly uloženy v rule při kontaktu se středočeským masivem. Ložisko u Velhartic bylo mesotermického typu s křemennou žilovinou a mělo také polymetalický charakter. Vzhledem k tomu, že se v této oblasti rýžovalo zlato v říčce Ostružná, očekávala bych zvýšený obsah arsenu i v povrchových vodách.

Ostružná protéká kolem Borku a blízkého okolí, kde probíhala i hlubinná těžba. V minulosti zde byla vybudována stříbrná huť, kde se týdně vytavilo 7,5 – 12,5 kg stříbra. Do dnešní doby jsou zachovány pozůstatky po hlubinné těžbě v blízkém okolí Hor Matky Boží a Velhartic v podobě zasypaných ústí štol a trychtýřovitých prohlubní po zasypaných šachtách – pinky, haldy hlušiny (odvaly), např. na vrchu Křížovka a Kalvárie. Zde je také zřízena krátká naučná stezka mající vztah ke zdejší těžbě.

### 2.2 Arsen

#### 2.2.1 Historie

Už ve starověké Číně a Indii byl znám auripigment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) a realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ), a to zejména pro své léčivé účinky. I Hippokrates zaznamenal používání auripigmentu a realgaru k léčbě vředů, Plinius Starší popsal dokonce léčbu astmatu, kašle nebo bolestí v krku pomocí realgaru. Proti cizopasným vším doporučoval auripigment Pedanius Dioscorides či perský alchymista Zakariyya al-Razi, který shledával arsen léčivým, a to zejména při respiračních potížích, astmatu, vředech nebo úplavici. I dnes bychom na některých místech Číny našli arsen v mnoha tradičních léčivých přípravcích.

Arsen se ale nepoužíval jen pro své léčebné účinky, ale také právě naopak k hubení různých škůdců či nežádoucích rostlin. Kolem roku 1600 čínská encyklopedie medicíny zaznamenala, že některé sloučeniny arsenu hubí hmyz, který napadá rýži. Dlouhá léta se také používal arseničnan vápenatý ( $\text{Ca}(\text{AsO}_3)_2$ ) jako pesticid pro ochranu bavlněných plodin, ovšem jen

do vývoje DDT. V Evropě byl arsen využíván k balzamování zemřelých, a to až do začátku 12. století. I tomu můžeme připisovat znečištění podzemních a povrchových vod v okolí některých hřbitovů.

Ve středověku byly však sloučeniny arsenu hojně používány jako jed při vraždách nebo sebevraždách, například oxid arsenitý ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ), zvaný též arsenik nebo otrušík. Roku 1304 otrávil arsenem Kutnohorští horníci římské vojáky v obležení, když přidali mour a pěnovou strusku ze stříbra, arsenu a olova do tamějšího potoka tekoucího k nepřátelskému vojsku. Teprve nedávno se zjistilo, že za otravu vojska nemohlo ani stříbro ani olovo, nýbrž arsen, který způsobil příznaky podobné nemocím vyvolaných bakteriemi, jako je cholera nebo těžká úplavice. Během několika hodin měli vojáci žaludeční křeče, pocit sucha v ústech, kovovou chuť na jazyku či neovladatelný třes v končetinách. V další fázi přicházelo neuctivající zvracení, krvavé průjmy, neschopnost vnímat okolí, srdeční arytmie a v konečné fázi zástava srdce. Organické sloučeniny arsenu se též hojně využívaly jako bojové plyny (Lewisit, Clarck atd.)

V roce 1836 James Marsh vyvinul analytické metody pro odhalení nízkých koncentrací arsenu v různých materiálech, takže i v lidském těle. Alchymista a lékař Paracelsus řekl: „Všechny látky jsou jedy, ale vhodná dávka odlišuje jed od léku.“

### **2.2.2 Charakteristika**

Arsen se nalézá v V.A skupině periodické tabulky za nekovy, dusíkem a fosforem a před kovy, antimonem a bismutem. Z toho vyplývá, že se nejedná ani o kov či nekov, ale o polokov neboli metaloid. Ve vlhkém prostředí v důsledku oxidace dostává arsen na povrchu bronzově matný odstín, po delším čase je barva až černá. Arsen se vyskytuje ve třech alotropických modifikacích, a to jako nejrozšířenější polokovový šedý  $\alpha$ -As, amorfni černý nebo hnědý  $\beta$ -As a krystalický měkký žlutý  $\gamma$ -As.

### **2.2.3 Toxicita arsenu**

Zajímavé je, že arsen s oxidačním číslem nula je netoxický. Dá se tedy říci, že kdybychom se intoxikovali tímto nulamocným arsenem, tedy přímo polokovem a nic se s ním v těle nestalo, nijak nám neuškodí. On se ale velice snadno oxiduje na troj či pětimocný arsen. Anorganické sloučeniny obsahující trojmocný arsen jsou mimořádně akutně toxické. U anorganických sloučenin s pětimocným arsenem byla prokázána jejich karcinogenita.

Arsen je typickou a zcela přirozenou složkou mnoha významných rud, které se dobývají po staletí pro získávání běžných kovů, jako je olovo, železo, cín, měď, stříbro, platina, nikl, zinek a antimon. Minerály s přítomností arsenu se v přírodě vyskytují především ve formě sulfidů. Ty se v oxidačním prostředí a účinkem tepla velice snadno rozkládají za vzniku vysoce toxického oxidu arsenitého ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ), který v minulosti představoval 99 % všech úmyslných otrav jako travičská substance.

Jakékoliv sloučeniny obsahující trojmocný arsen jsou pro lidský organismus škodlivé. Souvisí to s jejich vysokou afinitou k thiolové skupině. Jedná se o skupinu –SH, která je součástí přibližně 200 různých enzymů, biokatalyzátorů v lidském těle. Trojmocný arsen se selektivně váže na síru v thiolech. Jestliže se tedy arsen v těle naváže na síru z thiolové skupiny v určitém enzymu, jeho struktura se zásadně mění a enzym už není schopen dál plnit svou funkci. To je podstatou ohromné toxicity arsenu, neboť máme v těle velké množství enzymů připravených arsen vázat a znemožnit tak další biochemické pochody, které jsou navazující na funkci enzymu.

V dnešní době je arsen velmi probíraným tématem, především proto, že může způsobovat závažná chronická onemocnění i v relativně nízkých dávkách. Do těla se dostává různými způsoby, například vdechováním z ovzduší při spalování fosilních paliv, zejména hnědého uhlí, kdy se arsen ukládá v plicích. V největší míře se dostává do organismu požíváním kontaminované vody nebo příjmem arsenu z potravin, přičemž anorganické a organické sloučeniny arsenu se v zažívacím traktu snadno vstřebávají. Hlavní cestou vylučování organicky vázaného arsenu z organismu je prostřednictvím moči.

### 2.3 Arsen ve vodě

Arsen se do vody dostává nejen přírodní cestou z litosférických desek, ale tento proces je urychlen i antropogenní činností. Do povrchových či podzemních vod se dostává kvůli rozvoji zemědělství, průmyslu atd. V současnosti monitoruje kvalitu povrchových a podzemních vod Český hydrometeorologický ústav. Synáčková<sup>1</sup> definuje vody, kde je koncentrace arsenu vyšší než 50 µg/l, jako silně až velmi silně znečištěné.

Vzhledem k tomu, že je arsen karcinogenní, nemůžeme jednoznačně určit bezpečnou prahovou koncentraci tohoto prvku, neboť se v organismu ukládá a hromadí. Musíme se proto snažit snižovat vstup arsenu do těla člověka potravou a pitím kontaminované vody na minimum.

Současná norma, daná vyhláškou č. 252/2004 Sb.<sup>2</sup>, pro obsah arsenu v pitné vodě je 10 µg/l. Akutní otrava končící smrtí nastává při příjmu pitné vody s koncentrací arsenu nad 60 mg/l (tj. 60 000 µg/l). Příjem vody s obsahem již 0,5 mg/l (tj. 500 µg/l) způsobuje podráždění žaludku, nevolnost, zvracení a střevní potíže. Obtíže se s rostoucí dávkou stupňují. Vysoké akutní koncentrace vyvolávají kromě zažívacích potíží také těžkou arytmii, mohou vést až k srdeční zástavě.

Arsen, který se dostane do těla konzumací jídla, pochází většinou z mořských produktů a masa. Zde se ale jedná o organicky vázaný arsen, který není pro lidský organismus nijak zvláště nebezpečný, jelikož je rychle a téměř beze změn vyloučen močí. Rozpuštěný arsen v anorganické formě, který se nalézá ve vodě, je mnohem nebezpečnější. V anorganické formě se po požití rychle vstřebává, v játrech dochází k detoxikaci s polčasem rozpadu asi čtyř dnů, kde jako první krok nastává metylace a vznikají kyseliny mono a dimetylarсениčná, které jsou ještě nebezpečnější než sám anorganický arsen. Jen nepatrné množství arsenu se do těla dostává z ovzduší.

## 2.4 Arsen v půdě

Arsen se v půdě vyskytuje zcela běžně spolu s ostatními prvky, ale jeho obsah může být zvýšen. Vysoký obsah arsenu v půdě může mít nežádoucí účinky jak pro růst, tak pro výslednou kvalitu konzumovaných rostlin.

Hlína, ve které by se dal předpokládat vyšší obsah arsenu, by mohla být ta, na které byly používány již zakázané pesticidy s vysokým obsahem arsenu, půda v blízkosti těžebních děl a zpracoven rud, nebo půda dlouhodobě zalévána vodou s vysokým obsahem arsenu. Je potřeba dobře prozkoumat historii lokality, zda se například na místě znečištění nepohřbívali balzamovaní zemřelí atd. Ke kontaminaci půd dochází 1 až 2 km od zdroje znečištění. Znečištění půdy arsenem v okolí dolů či hutí se může pohybovat kolem 80 mg/kg. Nejvyšší obsah arsenu je zejména ve svrchní vrstvě, tj. do 20 cm. Kromě antropogenního znečištění zeminy může být půda kontaminovaná i vzhledem ke geologickému podloží. Při pěstování rostlin na vysoce kontaminované půdě lze předpokládat, že by v takovém případě rostliny uhynuly dříve v důsledku toxického působení arsenu, než by koncentrace arsenu v jedlých částech dosáhla nebezpečných hodnot pro člověka.

Arsen se v půdě přirozeně vyskytuje v koncentraci od 0,009 až 1,5 mg/kg. Do roku 2016 byla platná vyhláška ustanovující nejvyšší přípustné koncentrace arsenu v půdě 30 mg/kg. Současná legislativní norma – vyhláška č.153/2016 Sb.<sup>3</sup> uvádí dva limity pro obsah arsenu v zemědělských půdách.

1. Preventivní hodnota 20 mg/kg – do této koncentrace se předpokládá normální funkce půdních organismů a růst rostlin. Při překročení této hodnoty hrozí poškození funkce půdy a zvýšený vstup arsenu do rostlin.
2. Indikační hodnota 40 mg/kg – při překročení této hodnoty může být ohroženo zdraví lidí a zvířat. Míra přestupu arsenu z půdy do plodin je však ve srovnání s jinými toxickými prvky nižší.

## 2.5 Arsen v plodinách

Arsen se do těla dostává z potravy, obsažen je převážně v rybách a mořských plodech, rýži, pivu nebo v houbách. V zelenině je arsen obsažen poměrně v malém množství. Arsen se v rostlinách ukládá většinou v kořenovém systému, ze kterého je transportován do jiných částí rostliny. V plodech a semenech je obsah arsenu minimální. Arsen poškozují membrány kořenového systému, a tím se snižuje translokace arsenu do nadzemních částí rostlin. Proto bych předpokládala, že největší obsah arsenu bude v hlízách brambor či v kořenové zelenině (mrkev).

V přirozených podmínkách se obsah arsenu v plodinách pohybuje mezi hodnotami 0,01 - 0,5 mg/kg sušiny. Podle zjištěných dat je seznam doporučených hodnot pro obsah arsenu ve vybrané zelenině uveden v následující tabulce.

	<b>Arsen</b>
	<b>mg/kg</b>
Brambory	0,003-0,014
Kořenová zelenina	0,004-0,015
Ostatní zelenina	0,01-0,019
Listová zelenina	0,056-0,058

Tabulka č. 1: Doporučené hodnoty pro obsah arsenu ve vybraných plodinách

## 2.6 Kadmium

Kadmium se nachází ve II.B skupině periodické tabulky chemických prvků. Jedná se o toxický kov bílo stříbřité barvy. Kadmium se ve vodě nachází většinou jen ve stopovém množství. Obvykle je hlavním zdrojem znečištění vody kadmii těžba nebo zpracování rud. Do vody a půdy se stejně jako arsen dostává například používáním již zakázaných pesticidů, případně z jejich metabolitů. Dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.<sup>2</sup> je NMH (tj. nejvyšší mezní hodnota, jejíž překročení vylučuje užití vody jako pitné) v pitné vodě pro kadmium 5 µg/l. Koncentrace kadmia v půdě se obvykle pohybuje okolo 0,01 - 0,15 mg/kg, ale samozřejmě záleží na podloží a dalších okolnostech. Dle vyhlášky č.153/2016 Sb.<sup>3</sup> jsou stanoveny dva limity pro obsah kadmia v běžné půdě. Preventivní hodnota je 0,5 mg/kg a indikační hodnota se pro běžné půdy s pH vyšším než 6,5 pohybuje mezi 1,5 – 2 mg/kg sušiny.

## 2.7 Měď

Měď se nachází v I.B skupině periodické tabulky. Tento kov má načervenalou barvu a na vzduchu je málo stálý. Působením vzdušné vlhkosti se pokrývá vrstvou  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , měděnkou. Jedná se o esenciální prvek pro člověka, ale dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.<sup>2</sup> je stanovena NMH (nejvyšší mezní hodnota) v pitné vodě pro měď 1000 µg/l.

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části práce bych chtěla popsat místa odběrů vody, dále pak jednotlivé analýzy a shrnout výsledky všech provedených rozborů (voda, zemina a plodiny). Z jednotlivých zdrojů vody jsem vždy po půl roce odebírala vzorky pro provedení analýz těžkých kovů (As, Cd, Cu), celkem jsem odebrala 4 sady vzorků. Po prvním roce provádění rozborů vody mě rovněž začal zajímat přenos arsenu z vody do rostlin. Proto jsem se rozhodla rozšířit práci o analyzování výskytu arsenu v plodinách zalévaných kontaminovanou vodou. Po vypěstování plodin jsem si uvědomila, že by bylo vhodné analyzovat použitou zeminu a zjistit případnou kontaminaci půdy, ve které jsem rostliny pěstovala. Všechny vzorky jsem odebrala sama po odborném proškolení v laboratoři. Vzhledem k vysokým nárokům na přístrojové vybavení pro jednotlivé analýzy byly všechny rozborů provedeny odbornými pracovníky laboratoře LABTECH s.r.o.

#### 3.1 Zkoumání arsenu ve vodě

Pro svůj prvotní záměr, zjištění koncentrace arsenu ve vodě na Velharticku, jsem vytipovala dvanáct různých vodních zdrojů tak, abych porovnáním odhalila možný předpoklad výskytu arsenu ve vodě. Všechny odběry jsem prováděla v okolí kvarcitového masivu, vrchu Borek. Tato dominanta krajiny se nachází jižně od Velhartic. Jedná se o 859 m vysoký kopec, o velikosti 2 x 1,3 km, kolem kterého na západním úbočí teče hlubokým kaňonem řeka Ostružná.

Všechny mapy, které jsem používala (tj. mapa ložisek nerostných surovin ČR<sup>4</sup>, hydrogeologická mapa ČR<sup>5</sup>, geologická mapa ČR<sup>6</sup>, mapa geochemie povrchových vod ČSR<sup>7</sup>) zobrazují oblast Sušicka v měřítku 1:50 000.

Z mapy geochemie povrchových vod ČSR<sup>7</sup> jsem zjistila, že vrty se nacházejí v povodí povrchových vod s pH 6,5-7,5 s výjimkou vrtu číslo 10b, tedy zahradního vrtu na začátku obce Kolinec. Zde je pH povrchových vod poněkud zásaditější, v rozmezí 7,5-8,5.

Všechny vrty se nacházejí v území s výskytem vod druhé kategorie, jinými slovy je zde transmisivita (tj. schopnost horniny propouštět podzemní vodu) poměrně nízká a odběry mohou sloužit pouze pro místní zásobování podle hydrogeologické mapy ČR<sup>5</sup>.

Vzorky byly po odběru transportovány do laboratoře LABTECH s.r.o., kde byly stanoveny koncentrace arsenu, mědi a kadmia. Měď a kadmium jako doprovodné prvky arsenu jsem pouze zaznamenala do tabulek, ale nijak jsem s nimi dále nepracovala.

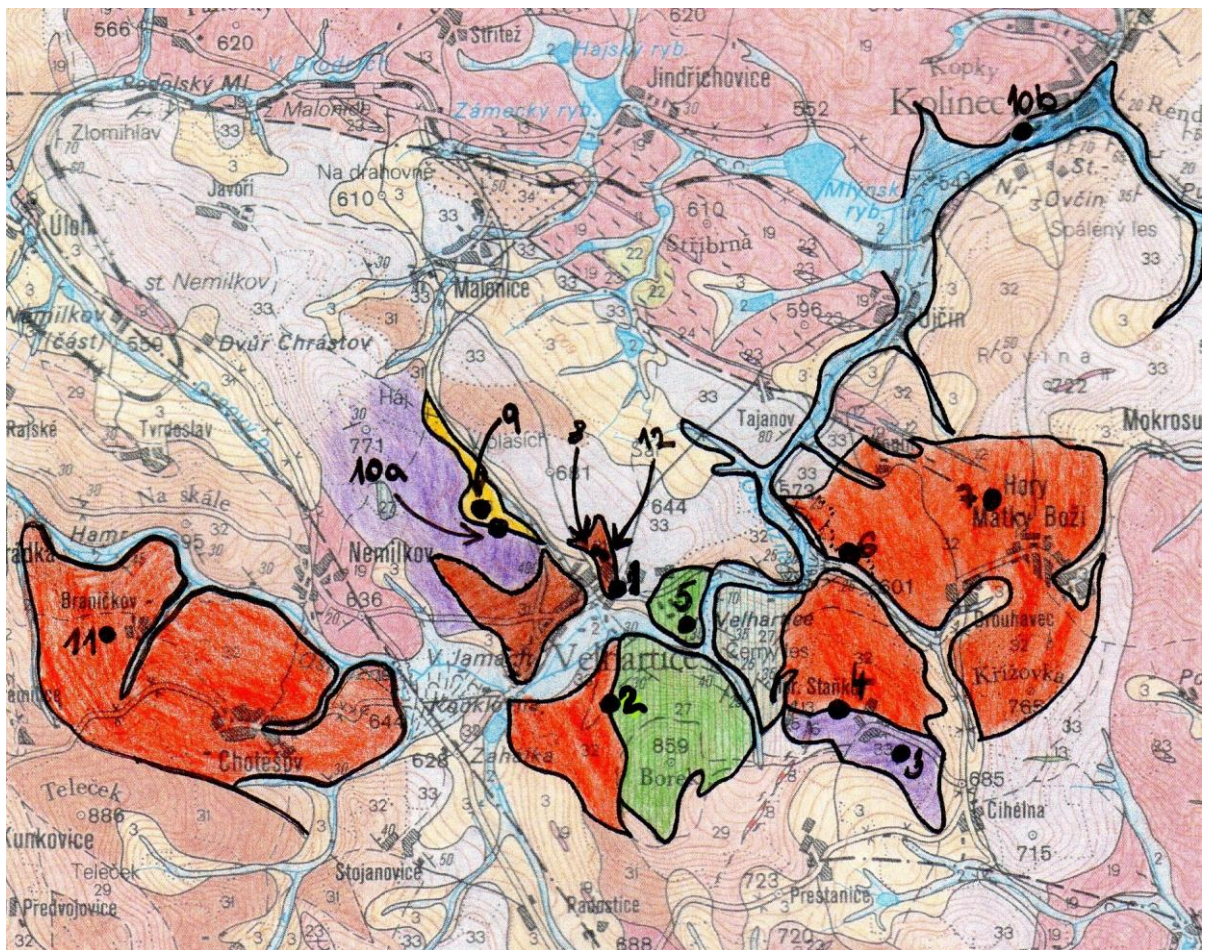
Stanovení prvků (As, Cd, Cu) ve vzorcích pitné vody se provádí metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Po zavedení měřeného roztoku do vysokofrekvenčního plazmatu pochody přenosu energie vyvolají odpaření, atomizaci a ionizaci prvků (podobně jako ICP/OES). Ionty jsou ale z plazmatu extrahovány průchodem diferenciálně čerpaným vakuovým rozhraním s integrovanou iontovou optikou a separovány hmotnostním spektrometrem na základě jejich poměru hmotnosti k jejich náboji. Detekce

iontů je prováděna pomocí kontinuálního dynodového elektronového násobiče a systému pro zpracování dat. Tímto způsobem je umožněna jak jejich identifikace, tak i kvantifikace. Pro stanovení se používá metoda přímé kalibrace vhodnými kalibračními roztoky. Kalibrační křivky se sestavují pomocí kalibračních roztoků o známých koncentracích stanovovaných prvků s ohledem na koncentrace očekávané v analyzovaných vzorcích podle jejich charakteru. Proces kalibrace a výpočet koncentrací, včetně korekcí na rušivé vlivy, se provádí během analýzy pomocí softwarové výbavy a metody sestavené pro konkrétní analytickou úlohu. Metoda ICP/MS umožňuje zvýšení citlivosti stanovení minimálně o dva řády.

Odběrová místa	Číslo zdroje
Velhartice, č.p.203 - vrt	č.1
Velhartice-studánka	č.2
Horní Staňkov, č.p.4 -studánka	č.3
Horní Staňkov-zdroj pitné vody	č.4
Velhartice, hrad-vrt	č.5
Šlajf-zdroj pitné vody	č.6
Hory Matky Boží-studánka	č.7
Velhartice, č.p.20 -bývalá kašna	č.8
Velhartice-zdroj pitné vody	č.9
Velhartice-průzkumný vrt	č.10a
Kolinec, č.p.240 -studna	č.10b
Nemilkov-zdroj pitné vody	č.11
Velhartice, č.p.19 -vrt	č.12

Tabulka č. 2: Souhrnná tabulka odběrových míst



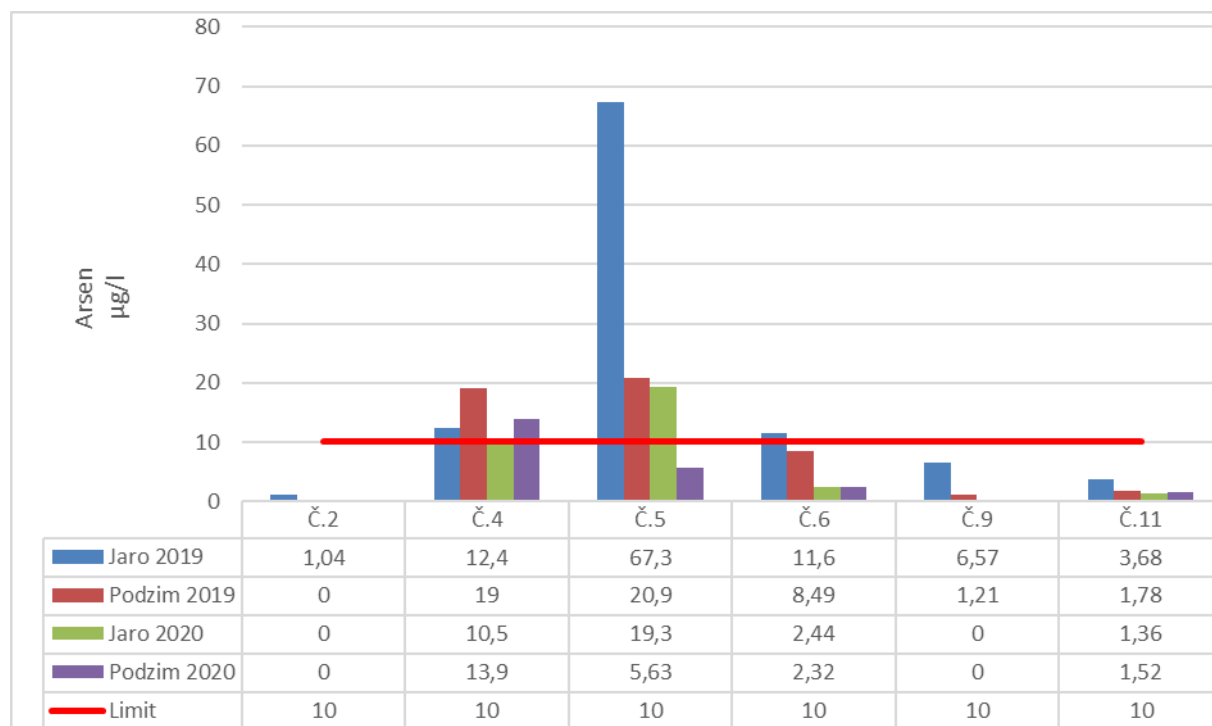


- migmatitizovaná sillimanit – biotitická pararula, místy s muskovitem a granátem
- kvarcit a kvarcitová rula, místy s polohami lepnitu a erlánu
- páskovaná sillimanit-biotitická migmatitizovaná pararula, místy s cordieritem a muskovitem
- cordierit – sillimanit – biotitická migmatitizovaná pararula, místy až cordierit – biotitický migmatit (nebulit), místy s muskovitem
- defluviální hlinitopísčité a hlinitokamenitý sediment
- fluvialní a defluviální hlinitopísčité a hlinitokamenitý sediment

Obrázek č. 1 Zobrazení podloží v místech provádění odběrů



## 3.2 Zdroje pitné vody

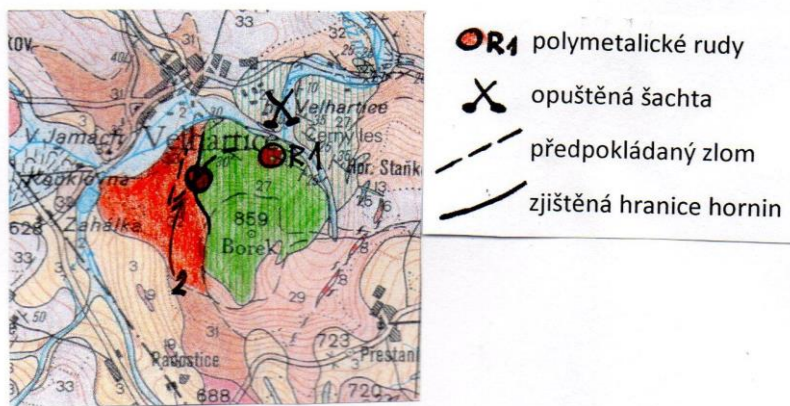


Graf č. 1: Srovnání čtyř odběrů obsahu arsenu v jednotlivých zdrojích pitné vody v průběhu dvou let

### 3.2.1 Velhartice – studánka (č.2)

Jedná se o přírodní vývěr vody, u kterého se lze domnívat, že je z velké hloubky. Nalézá se na západním úbočí 50 m od úpatí Borku nad řekou Ostružnou na p.p.č. 128 v k.ú. Velhartice (624 m n.m.). Voda se objevuje asi o 100 m dále v prameništi, výše od úpatí kopce Borek. Jedná se o stabilní zdroj. Pramen vytéká v zimě, a i v suchých obdobích roku poměrně stejnou intenzitou. Zdejší lidé sem rádi chodí pro vodu, jelikož je považována za velmi dobrou, majitelem pozemku pravidelně laboratorně kontrolovanou.

Podle geologických map jde o pramen vyvěrající přímo na předpokládaném zlomu a rozhraní dvou geologických podloží. Tedy na rozhraní podloží kvarcitu a kvarcitové ruly místy s polohami lepnitu a erlánu, které se nachází i u vrtu na hradě Velhartice (č.5) a podloží, kterým je páskovaná sillimanit-biotitická migmatitizovaná pararula, místy s cordieritem a muskovitem, jako je u zdroje pitné vody na Horním Staňkově (č.4), vrtu na Šlajfu (č.6), u studánky na Horách Matky Boží (č.7) a u zdroje pitné vody v Nemilkově (č.11). Domnívám se, že jde o přirozený vývěr z veliké hloubky, který vznikl díky zlomu hornin a nedošlo zde k jakékoli kontaminaci vody těžkým kovem či polokovem. Na kopci, kde se tento pramen nachází, se nalézá opuštěná šachta, kde byly těženy polymetalické rudy. Tato dvě místa jsou od sebe vzdálena vzdušnou čarou asi 385 m a leží v přibližně stejné nadmořské výšce. Štola je ale v podloží kvarcitu a kvarcitové ruly místy s polohami lepnitu a erlánu. Zřejmě to tedy nemá na tento pramen negativní vliv.



Obrázek č. 2: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.2



Obrázek č. 3: Velhartice–studánka (č.2)

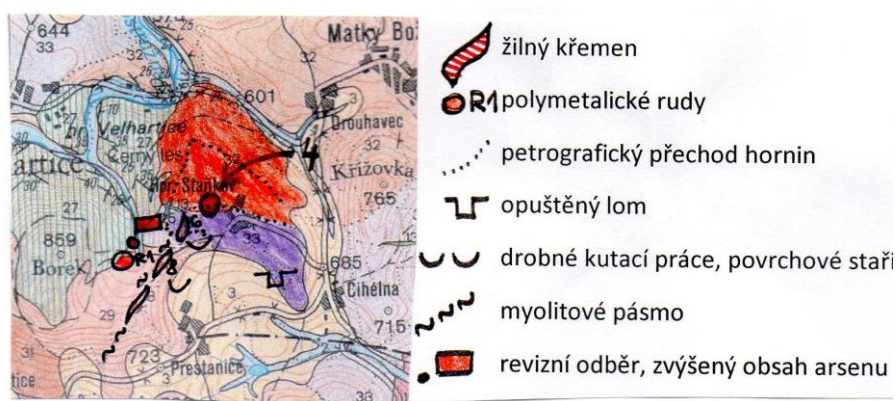
Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	1,04	<0,1	<5
18.11.2019	<1	<0,1	<5
28.05.2020	<1	<0,1	<5
24.11.2020	<1	<0,1	<5

Tabulka č. 3: Koncentrace As, Cd, Cu-studánka Velhartice (č.2)

### 3.2.2 Horní Staňkov-zdroj pitné vody (č.4)

Zdroj pitné vody pro Horní Staňkov se nachází 750 m n.m. na východním úbočí Borku nad vesnicí Horní Staňkov na p.p.č. 59/34 v k.ú. Horní Staňkov. Jedná se o zdroj pitné vody pro výše uvedenou obec. Je to kopaná studna s hloubkou 6 m. Dle mých zjištění se jedná o stabilní zdroj vody i v nejsušších obdobích roku. Zdroj pitné vody leží asi 150 m a 10 m výškových od studánky v domě na Horním Staňkově (č.3). Přímo na místě, kde je studna vyhloubena, je v geologické mapě znázorněn petrografický přechod a je zde rozhraní mezi

dvěma podložími. První tvoří cordierit – sillimanit – biotitická migmatitizovaná pararula místy až cordierit – biotitický migmatit (nebulit) místy s muskovitem. Toto podloží je stejné jako ve Velharticích u průzkumného vrtu (č.10a) a u zmíněné studánky na Horním Staňkově (č.3). Druhé podloží, kterým je sillimanit – biotitická migmatitizovaná pararula, místy s muskovitem a granátem, se rovněž nachází pod studánkou ve Velharticích (č.2), na Šlajfu (č.6), pod studánkou na Horách Matky Boží (č.7) a u zdroje pitné vody v Nemilkově (č.11). Asi 450 m západně od zdroje pitné vody Horního Staňkova je stará štola na polymetalické rudy, o několik metrů dál stejným směrem jsou patrné stopy po drobných kutacích pracích a po povrchových stařinách. V roce 1985 zde byl podle mapy<sup>7</sup> proveden revizní odběr arsenu s pozitivním výsledkem. Připisují to výskytu křemenných žil a miolitovému pásu v oblasti staré štoly. Nachází se tu také hlubinné vyvřeliny středočeského Plutonu.



Obrázek č. 4: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.4



Obrázek č. 5 Horní Staňkov-zdroj pitné vody (č.4)

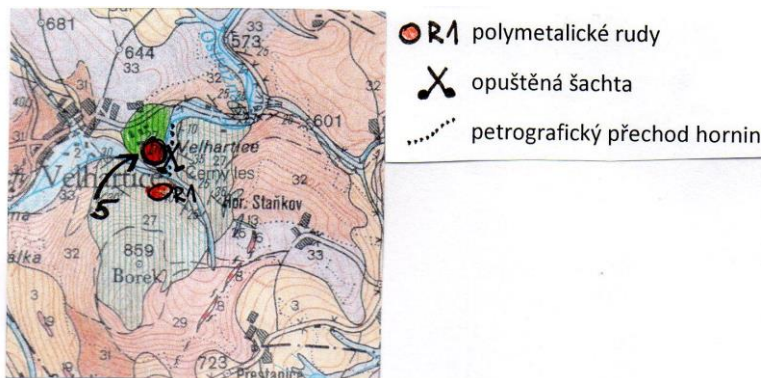
Datum odběru	Arsen µg/l	Kadmium µg/l	Měď µg/l
20.06.2019	12,4	0,138	38
18.11.2019	19,0	0,197	15
28.05.2020	10,5	0,145	31
24.11.2020	13,9	0,135	28

Tabulka č. 4: Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody Horní Staňkov (č.4)



### 3.2.3 Velhartice, hrad–vrt (č.5)

Hlubinný vrt v areálu hradu Velhartice se nachází 645 m n.m. na skalním ostrohu nad kaňonem řeky Ostružné naproti masivu Borek na p.č.st. 140/2 v k.ú. Velhartice. Vrt byl vybudován za účelem dodávky pitné a užitkové vody pro provozní účely hradu. Z důvodu nestability dodávek vody z místního vodovodu. Bohužel pro vysoký obsah arsenu ve vodě musela být pro jeho odstranění instalována technologie na úpravu vody. Všechny vzorky odebírané v rámci mé práce z tohoto zdroje byly odebrány ze surové vody ještě před úpravou. Vrt je vyhlouben v geologickém podloží, které je stejné jako masiv Borku, tedy kvarcit a kvarcitová rula místy s polohami lepnitu a erlánu a rovněž je stejné jako jedno z podloží studánky ve Velharticích (č.2). Přibližně 200 m vzdušnou čarou přes kaňon řeky je opuštěná šachta, kde byly těženy polymetalické rudy. Na protějším břehu řeky od bývalé štoly je na mapě znázorněn prognózní zdroj nerostných surovin.



Obrázek č. 6: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.5



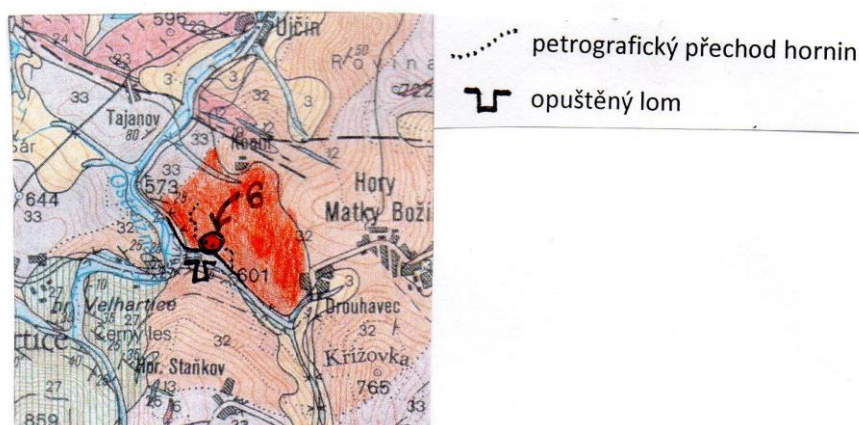
Obrázek č. 7: Velhartice, hrad–vrt (č.5)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	67,3	0,829	112
18.11.2019	20,9	3,000	57
28.05.2020	19,3	0,890	17
24.11.2020	5,63	0,261	13

Tabulka č. 5: Koncentrace As, Cd, Cu-vrt hrad Velhartice (č.5)

### 3.2.4 Šlajf–zdroj pitné vody (č.6)

Zdroj vody na Šlajfu se nachází 587 m n.m. na p.p.č. 350/3 v k.ú. Drouhaveč. Jedná se o vrt hluboký 84 m s velkou vydatností, vybudovaný před sedmi lety jako zdroj pitné vody pro obec Hory Matky Boží. Voda je tlačena do reservoáru na Hory Matky Boží. Vrt leží v údolí 300 m východně od řeky Ostružné v mírném svahu nad údolní nivou směrem k Horám Matky Boží na severním úpatí masivu Borek. Dle správce vodovodu ve Velharticích jde o stabilní zdroj, který obec používá v období sucha při zásobování pitnou vodou i v jiných obcích. Nedaleko, několik desítek metrů, je opuštěný lom. U řeky Ostružné je historická huť na zpracování polymetalických rud. I v dnešní době je možné v řece v těchto místech najít strusku po zpracování rudy. V místech tohoto vrtu je v geologické mapě zakreslen petrografický přechod. Podloží je zde páskovaná sillimanit – biotitická migmatitizovaná pararula místy s cordieritem a muskovitem. Toto podloží se nachází i u studánky ve Velharticích (č.2), u zdroje pitné vody na Horním Staňkově (č.4), na Horách Matky Boží (č.7) a v Nemilkově (č.11).



Obrázek č. 8: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.6



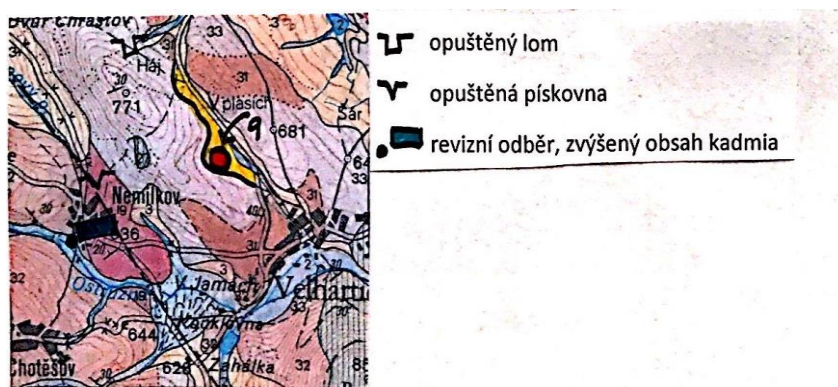
Obrázek č. 9: Šlajf-zdroj pitné vody (č.6)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	<b>11,6</b>	<0,1	<5
18.11.2019	8,49	<0,1	33
28.05.2020	2,44	<0,1	10
24.11.2020	2,32	0,156	65

Tabulka č. 6 Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody na Šlajfu (č.6)

### 3.2.5 Velhartice-zdroj pitné vody (č.9)

Hlavní zdroj pitné vody pro obec Velhartice se nachází 673 m n.m. na východním úbočí vrchu zvaném Němkynín západně od Velhartic na p.p.č. 690/5 v k.ú. Velhartice. Jde o několik melioračních zářezů v přilehlém prameništi o velikosti několika stovek metrů čtverečních. Meliorační zářezy jsou v hloubce asi jeden metr. Vydátnost zdroje je relativně stabilní, avšak v suchých obdobích je jako zdroj vody pro Velhartice nedostatečný. Zářezy jsou provedeny do defluviálních hlinitopísčitých a hlinitokamenitých sedimentů stejně jako průzkumný vrt (č.10a) nacházející se nedaleko.



Obrázek č. 10: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.9





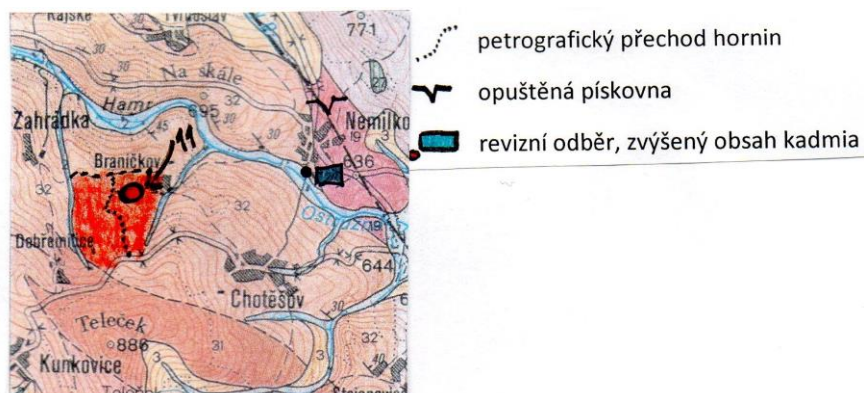
Obrázek č. 11: Velhartice-zdroj pitné vody (č.9)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	6,57	<0,1	<5
18.11.2019	1,21	<0,1	45
28.05.2020	<1	<0,1	420
24.11.2020	<1	<0,1	37

Tabulka č. 7: Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody Velhartice (č.9)

### 3.2.6 Nemilkov-zdroj pitné vody (č.11)

Zdroj pitné vody pro obec Nemilkov je 676 m n.m. na p.p.č. 1045 v k.ú. Nemilkov. Jedná se o meliorační zářezy v prameništi nad obcí Braničkov. Lokalita je umístěna na severním svahu masivu vrchu Teleček asi 500 m na pravém břehu od řeky Ostružné. Tato lokalita je vzdálena proti proudu Ostružné od Velhartic jihozápadním směrem vzdušnou čarou 3 km. Podloží je zde jako u studánky ve Velharticích (č.2), u zdroje pitné vody na Horním Staňkově (č.4), u vrtu na Šlajfu (č.6) a u studánky na Horách Matky Boží (č.7). Jedná se o páskovanou sillimanit – biotitickou migmatitizovanou pararulu.



Obrázek č. 12: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.11



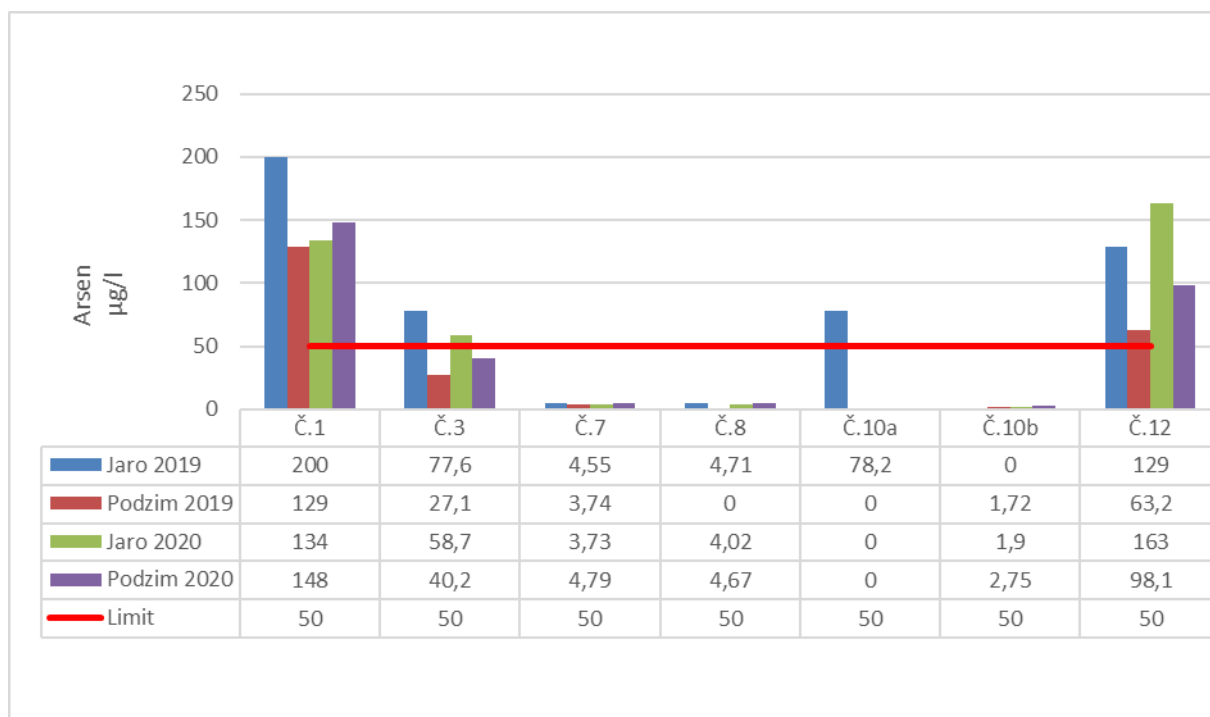
Obrázek č. 13: Nemilkov-zdroj pitné vody (č.11)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	3,68	<0,1	9
18.11.2019	1,78	<0,1	<5
28.05.2020	1,36	0,109	16
24.11.2020	1,52	<0,1	<5

Tabulka č. 8: Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody Nemilkov (č.11)



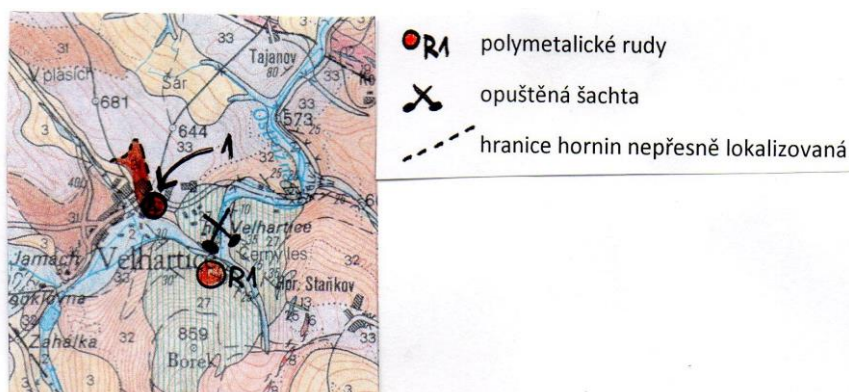
### 3.3 Zdroje užitkové vody



Graf č. 2: Srovnání čtyř odběrů obsahu arsenu v jednotlivých zdrojích užitkové vody v průběhu dvou let

#### 3.3.1 Velhartice, č.p. 203 - vrt (č.1)

Zahradní vrt se nachází asi 603 m n.m. a je vzdušnou čarou zhruba 300 metrů od masivu Borek na p.č.st. 268 v k.ú. Velhartice. Byl zhotoven pro zalévání zahrady a vyvrtán v roce 2000. Je hluboký cca 25 m. Podle geologické mapy byl vrt vyhlouben do migmatitizované sillimanit – biotitické pararuly místy s muskovitem a granátem. Tento vrt se nachází ve stejném geologickém podloží jako bývalá kašna ve Velharticích (č.8) a vrt ve Velharticích (č.12).



Obrázek č. 12: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.1



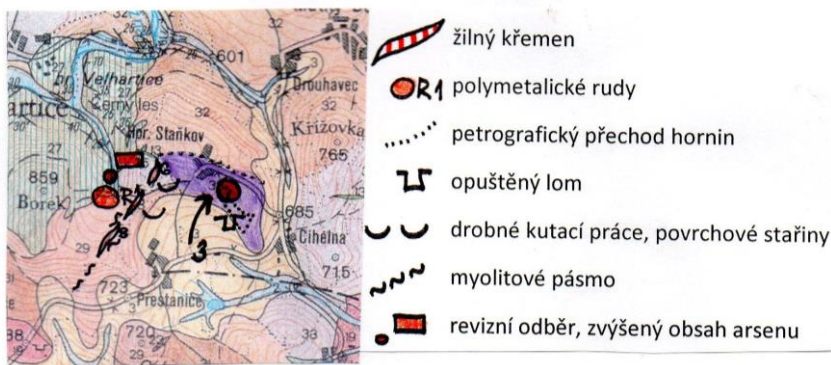
Obrázek č. 14: Velhartice, č.p. 203 -vrt (č.1)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	200	<0,1	32
18.11.2019	129	<0,1	13
28.05.2020	134	<0,1	77
24.11.2020	148	0,564	157

Tabulka č. 9: Koncentrace As, Cd, Cu-vrt Velhartice, č.p.203 (č.1)

### 3.3.2 Horní Staňkov, č.p.4–studánka (č.3)

Studánka se nachází 745 m n.m. na východním úbočí Borku jako zdroj vody pro obytnou část bývalé zemědělské usedlosti na Horním Staňkově na p.č.st. 10/1 v k.ú. Horní Staňkov. Malá studánka vyvěrá ve sklepě pod domem ze skály. Dříve se jednalo o poměrně vydatný zdroj, nyní dle sdělení současných majitelů domu zdroj vody slábne. Vysvětlením by mohlo být přibývání nových hlubinných vrtů vzdálených jen stovky metrů. Podle map jsou zde prognózní zdroje nerostných surovin a nedaleko by se mohl nacházet petrografický přechod. Studánka se nalézá v geologickém podloží cordierit – sillimanit – biotitické migmatitizované pararule, místy až cordierit – biotitický migmatit (nebulit) místy s muskovitem. Toto podloží je totožné s podložím průzkumného vrtu ve Velharticích (č.10a). Asi 600 m západně se nachází stará štola na polymetalické rudy, o několik metrů dál stejným směrem byly drobné kutací práce, povrchové stařiny. Roku 1985 byl podle mapy<sup>7</sup> proveden revizní odběr a byl zde zjištěný obsah arsenu. Připisují to výskytu křemenných žil a miolitovému pásu v oblasti staré štoly. Nachází se zde také hlubinné vyvěřeliny středočeského Plutonu. Pod Horním Staňkovem je směrem na východ opuštěný lom.



Obrázek č. 13: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.3



Obrázek č. 15 Horní Staňkov, č.p.4–studánka (č.3)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	77,6	0,177	6
18.11.2019	27,1	0,547	<5
28.05.2020	58,7	1,17	9
24.11.2020	40,2	0,365	14

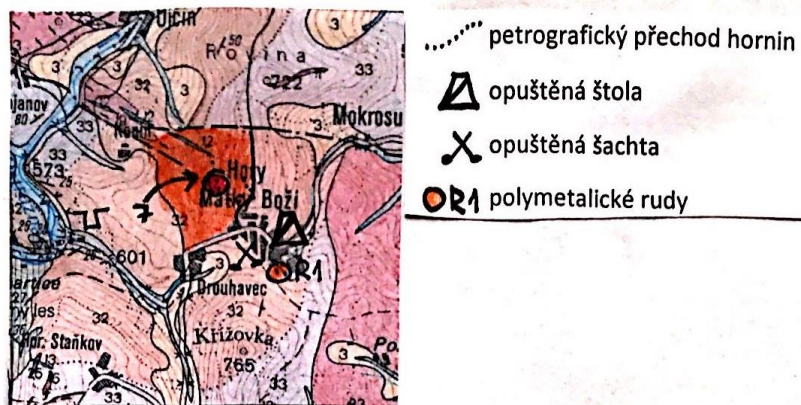
Tabulka č. 10: Koncentrace As, Cd, Cu-studánka Horní Staňkov, č.p.4 (č.3)

### 3.3.3 Hory Matky Boží–studánka (č.7)

Studánka se nachází nad obcí Hory Matky Boží 710 m n.m. těsně u kaple Proměnění Páně na jižním úbočí zvaném Kalvárie na p.p.č. 84/3 v k.ú. Hory Matky Boží. V těsném sousedství jsou patrné zbytky významné důlní činnosti zmíněné v kapitole 2.1. Studánka je mělká, vytesaná ve skále. Dle pamětníků je součástí odvodňovacího systému z okolních důlních děl. Podloží je páskovaná sillimanit – biotitická migmatitizovaná pararula, místy s cordieritem a muskovitem jako studánka ve Velharticích (č.2), zdroj pitné vody na Horním Staňkově (č.4), na Šlajfu (č.6) a u zdroje pitné vody v Nemilkově (č.11). V místech studánky jsou



na geologické mapě zakresleny prognózní zdroje nerostných surovin. Opuštěný důl, kde se těžily polymetalické rudy, je od studánky vzdálen 200 m východně s převýšením asi 20 m. Severním směrem 300 m od studánky se nachází trychtýřovité prohlubně po zasypané šachtě. Severovýchodním směrem ve vzdálenosti 250 m je opuštěný důl.



Obrázek č. 16: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.7



Obrázek č. 17: Hory Matky Boží–studánka (č.7)

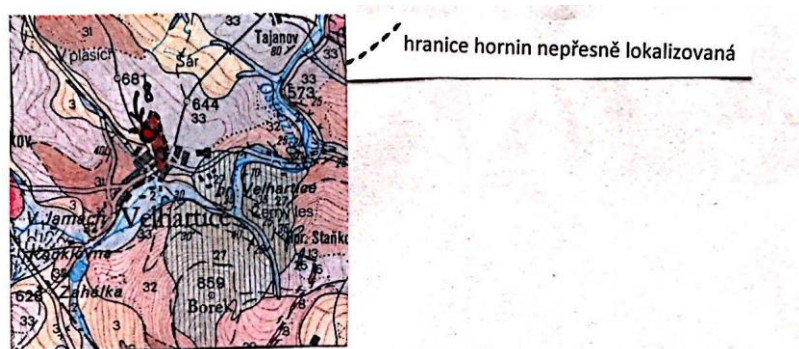
Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	4,55	<0,1	6
18.11.2019	3,74	<0,1	26
28.05.2020	3,73	<0,1	<5
24.11.2020	4,79	<0,1	13

Tabulka č. 11: Koncentrace As, Cd, Cu-studánka Hory Matky Boží (č.7)

### 3.3.4 Velhartice, č.p.20 -bývalá kašna (č.8)

Bývalá kašna, ležící 617 m n.m. na jižním svahu v severní části obce Velhartice na p.č.st. 80 v k.ú. Velhartice, zřejmě sloužila po mnoho stovek let jako zdroj vody pro část

Velhartic. Jde o přepad ze studně hluboké 2 m z přilehlého soukromého pozemku. Dle pamětníků se jednalo o stabilní zdroj, který postupně slábne. Při mém výzkumu v suchém období bohužel při jednom měření netekl. Po domluvě s majitelem pozemku a odkrytí studny byla také téměř vyschlá, bez přepadu. Tento stav trval po dobu šesti měsíců. Pramen vyvěrá ze zdi domu, pod kterým je migmatitizovaná sillimanit – biotitická pararula místy s muskovitem a granátem stejně jako nedaleko se nacházející vrt (č.12) a vrt (č.1). Já se však domnívám, že je tento pramen z podloží, které se nachází kousek za domem, tedy že jde o pramen pocházející z podloží cordierit – sillimanit – biotitická migmatitizovaná pararula, místy až cordierit – biotitický migmatit (nebulit) místy s muskovitem, které je stejné jako u studánky na Horním Staňkově (č.3) a u vrtu ve Velharticích (č.10a).



Obrázek č. 18: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.8



Obrázek č. 19: Velhartice, č.p.20 -bývalá kašna (č.8)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	4,71	<0,1	<5
18.11.2019	-	-	-
28.05.2020	4,02	<0,1	<5
24.11.2020	4,67	<0,1	12

Tabulka č. 12: Koncentrace As, Cd, Cu-bývalá kašna Velhartice, č.p.20 (č.8)

### 3.3.5 Velhartice-průzkumný vrt (č.10a)

Průzkumný vrt obce Velhartice se nachází 673 m n.m. na východním úbočí vrchu zvaném Němkyňín západně od Velhartic na p.p.č. 687/1 v k.ú. Velhartice, vzdálen pouze několik metrů od zdroje pitné vody pro Velhartice (č.9). V roce 2013 byl vytipován jako posila zdroje pitné vody a je hluboký 82 m. Kvůli zvýšené hodnotě arsenu, zjištěné ještě před mým měřením, provozovatel vodovodu upustil od užívání tohoto vrtu. Po započetí mé práce a odebrání jednoho vzorku bylo bohužel vyjmuto čerpadlo z vrtu, a tím tak bylo znemožněno odebrat další vzorky. Tento vrt je vyhlouben na rozhraní defluviálních hlinitopísčitých a hlinitokamenitých sedimentů stejně jako předchozí zdroj vody (č.9) a do podloží cordierit-sillimanit – biotitické migmatitizované pararuly, místy až cordierit – biotitický migmatit (nebulit) místy s muskovitem, které je shodné s podložím, jako má studánka na Horním Staňkově (č.3) a pravděpodobně i studánka ve Velharticích (č.8). Nedaleko se nachází prognózní zdroje nerostných surovin.



Obrázek č. 20: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.10a



Obrázek č. 21 Velhartice-průzkumný vrt (č.10a)

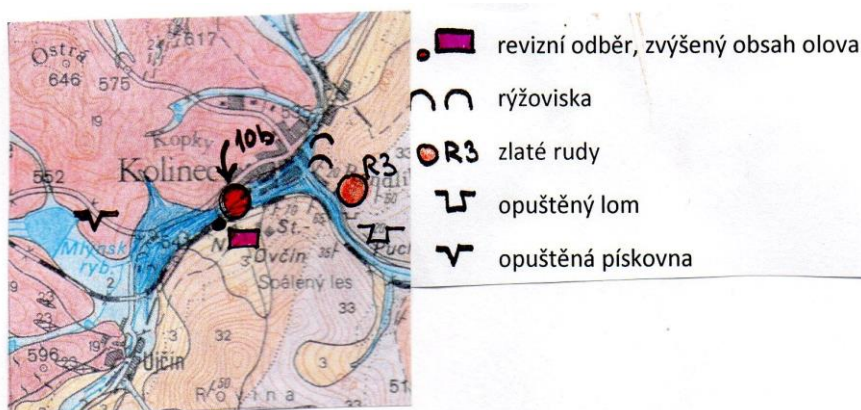
Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	<b>78,2</b>	<0,1	7

Tabulka č. 13: Koncentrace As, Cd, Cu-průzkumný vrt Velhartice (č.10a)



### 3.3.6 Kolinec, č.p.240–studna (č.10b)

Tento zdroj jsem vybrala jako náhradu za předchozí průzkumný vrt (č.10a), ze kterého už nebylo možné vzorky dále odebírat. Zvolila jsem ho proto, že leží v údolní nivě po proudu řeky Ostružné. Mohl by tak obsahovat arsen z důvodu antropogenního znečištění (tj. huť na zpracování rudy u Velhartic) a výskytu zlatonosných sedimentů v řece Ostružné. Jedná se o zdroj užitkové vody v údolní nivě řeky Ostružné 532 m n.m. na p.p.č.129/4 v k.ú. Kolinec. Studna je hluboká 3 m, vzdálená 40 m od řeky. Umístění studny je 5 km po toku řeky Ostružné od obce Velhartice. Hladina vody ve studni je stabilní, jelikož se nachází blízko řeky, podloží je zde fluviální a defluviální hlinitopísčité a hlinitokamenitý sediment. Asi 600 m dále po proudu řeky Ostružná se nacházela rýžoviska a opuštěná pískovna.



Obrázek č. 22: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.10b



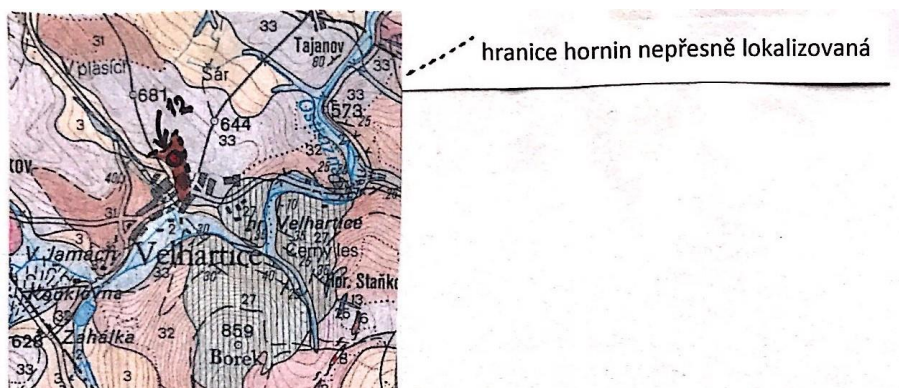
Obrázek č. 23: Kolinec, č.p.240 studna (č.10b)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
18.11.2019	1,72	<0,1	<5
28.05.2020	1,9	0,114	16
24.11.2020	2,75	<0,1	16

Tabulka č. 14: Koncentrace As, Cd, Cu-studna Kolinec, č.p.240 (č.10b)

### 3.3.7 Velhartice, č.p.19–vrt (č.12)

Zahradní vrt leží na soukromém pozemku na jižním svahu v severní části obce Velhartice 623 m n.m. na p.p.č. v 53/6 k.ú. Velhartice. Je vzdálen od již zmíněné studánky (č.8) asi 60 m a byl vyhlouben do 25 m před dvěma lety jako zdroj užitkové vody. Dle sdělení majitele je s dobrou vydatností bez velkých výkyvů. Podloží se shoduje s tím, které je u zahradního vrtu (č.1) a pod studánkou (č.8), tedy s migmatizovanou sillimanit – biotitickou pararulou místy s muskovitem a granátem.



Obrázek č. 24: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.12



Obrázek č. 25: Velhartice, č.p.19–vrt (č.12)

Datum odběru	Arsen	Kadmium	Měď
	µg/l	µg/l	µg/l
20.06.2019	129	<0,1	9
18.11.2019	63,2	<0,1	11
28.05.2020	163	0,118	31
24.11.2020	98,1	<0,1	30

Tabulka č. 15: Koncentrace As, Cd, Cu-vrt Velhartice, č.p.19, (č.12)



### 3.4 Zkoumání arsenu v půdě

Pro pěstování rostlin a zalévání kontaminovanou vodou jsem použila dvě půdy z jedné lokality. Rozdíl byl v tom, že první vzorek půdy byl dlouhodobě (cca 20 let) zaléván kontaminovanou vodou z vrtu (č.1). Druhý vzorek půdy byl zaléván vodou ze zdroje ve Velharticích (č.9), a kromě toho byl i přirozeně zavlažován deštěm, kde lze předpokládat výrazně nižší obsah arsenu.

Po odborném proškolení jsem provedla odběr vzorků zeminy pro následné stanovení arsenu a kadmia, které byly rovněž realizovány v laboratořích LABTECH s.r.o. Metoda hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem se jako u vody, jak bylo popsáno v kapitole 3.1, využívá také pro stanovení stopových prvků v půdách. Postup převedení vzorku zeminy do roztoku je v podstatě shodný s analýzou potravin. Jen s tím rozdílem, že se provádí výluh lučavkou královskou varem pod zpětným chladičem (vyvaření oxidů dusíku). Po doplnění na objem 100 ml demineralizovanou vodou se provede analýza metodou ICP/OES.

Z výsledků vyplynulo, že v obou použitých vzorcích půdy byla koncentrace arsenu zjištěna přes 120 mg/kg. Na základě uvedeného lze definovat oba vzorky jako silně kontaminované arsenem. V možném rozšíření a pokračování této práce, by bylo vhodnější nejdříve provést rozbor půd, než se na nich začnou pěstovat sledované rostliny.

	<b>Půda zalévaná kontaminovanou H<sub>2</sub>O</b>	<b>Půda zalévaná nekontaminovanou H<sub>2</sub>O</b>
Arsen (mg/kg)	<b>126</b>	<b>122</b>
Kadmium (mg/kg)	0,41	0,47

Tabulka č. 16: Zjištěné hodnoty obsahu As a Cd ve sledované zemině

### 3.5 Zkoumání arsenu v plodinách

Na jaře 2020 jsem začala s pěstováním vytipovaných rostlin. Použila jsem pro výzkum dva stejně velké květináče. Do jednoho jsem umístila zeminu dlouhodobě zalévanou vodou kontaminovanou arsenem z vrtu ve Velharticích (č.1), u které jsem zjistila obsah arsenu 126 mg/kg. Do druhého jsem použila zeminu, u které se daly předpokládat nižší hodnoty arsenu, jelikož nebyla dlouhodobě zalévána kontaminovanou vodou, avšak hodnota arsenu v druhém vzorku půdy byla též vysoká, tj. 122 mg/kg. Květináče jsem umístila pod venkovní přístřešek, aby nedocházelo k ovlivnění koncentrace arsenu v zemině deštěm a tím zkreslení výsledků výzkumu. Nádoby jsem si označila a zalévala je vždy jednou vodou z vrtu (č.1) (zjištěná koncentrace arsenu v rozmezí 129–200  $\mu\text{g/l}$ ) a druhý vodou ze zdroje pitné vody ve Velharticích (č.9) (nízké koncentrace arsenu 0-6  $\mu\text{g/l}$ ). Rostliny jsem zalévala vždy stejným množstvím vody a ve stejných intervalech.



Obrázek č. 26: Nádoby připravené k pěstování vybraných rostlin

Na začátku podzimu jsem plodiny sklídila a dopravila do laboratoře LABTECH s.r.o. v Klatovech k dalšímu zpracování. Všechny plodiny byly očištěny tak, aby byl zkoumán jen tzv. jedlý podíl. To znamená, že byly analyzovány jen ty vzorky, které bychom konzumovali (bez slupek, bez natě atd.). Dále byly vzorky rozkrájeny na malé kousky a zbavovány vody, tj. sušením v termostatu pod teplotou 60 °C cca 48 h. Rychlost sušení závisela na podílu vody ve zkoumaném vzorku.



Obrázek č. 27 Vypěstované plodiny po sklizni



Obrázek č. 28: Sušiny zkoumaných plodin

Dokonale usušené vzorky bylo po zvážení a výpočtu sušiny nutné rozmělnit v žulovém mlýnku, takže jsme se nemuseli bát jakékoli další nežádoucí kontaminace arsenem. Sušina musela být rozdrčena na velmi jemný prach (podsítné 0,1 mm). Bylo třeba vytvořit homogenní směs z co největšího množství plodiny, aby bylo měření co nejpřesnější. Takto upravené vzorky byly solubilizovány v kyselině dusičné a peroxidu vodíku v mikrovlnném mineralizátoru. Vzniklý roztok pak byl podroben spektrometrické analýze (tj. metoda s indukčně vázanou plazmou). Pro každý prvek byla vždy provedena pěti bodová kalibrace v očekávaném rozsahu koncentrací. Metoda emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP-OES): Aerosol upraveného vzorku generovaný zmlžovačem byl proudem nosného argonu vnesen do argon-argonového indukčně vázaného plazmatu nízkého výkonu (~1000 W), kde po odpaření aerosolu, disociaci a částečné ionizaci v něm přítomných složek docházelo k excitaci atomových a iontových čar přítomných prvků nebo jejich iontů. Intenzita záření zvolených analytických čar stanovovaných prvků separovaných v disperzní části spektrometru se měří fotoelektrickým systémem a po korekci na vliv proměnného pozadí se odečte koncentrace z kalibrační křivky. Tento metodický postup je uveden v ČSN EN ISO 11885<sup>8</sup> a ČSN 560065<sup>9</sup>.

Zelenina	Arsen (mg/kg)		Kadmium (mg/kg)	
	Kontam. H <sub>2</sub> O	Nekontam. H <sub>2</sub> O	Kontam. H <sub>2</sub> O	Nekontam. H <sub>2</sub> O
brambor bílý	<0,014	<0,014	0,003	0,001
brambor červený	<b>&lt;0,03</b>	<b>&lt;0,03</b>	0,008	0,007
mrkev	<b>0,053</b>	<b>0,039</b>	0,065	0,045
rajče	<0,007	<0,007	0,002	0,001
růžičková kapusta	<b>0,08</b>	x	0,006	x

Tabulka č. 17: Zjištěné hodnoty obsahu As a Cd ve vypěstované zelenině

	Arsen
	mg/kg
Brambory	0,003-0,014
Kořenová zelenina	0,004-0,015
Ostatní zelenina	0,01-0,019
Listová zelenina	0,056-0,058

Tabulka č.1: Doporučené hodnoty pro obsah arsenu ve vybraných plodinách

Rozdíly v množství arsenu mezi plodinami zalévanými kontaminovanou a nekontaminovanou vodou jsou minimální, zaznamenala jsem jej pouze u mrkve, kde došlo ke zvýšení obsahu arsenu o 26,5 %. Listovou zeleninu, konkrétně růžičkovou kapustu, pro nedostatek hmotnosti vzorku zalévaného nekontaminovanou vodou, laboratoř nemohla vyhodnotit.

Všechny hodnoty v mém výzkumu byly zvýšené s výjimkou bílého bramboru a rajčete, které jsou v normě ve srovnání s výše uvedenou tabulkou. Růžičková kapusta má zvýšený obsah arsenu o 27,5 %, červený brambor o 53,3 % a mrkev o 71,7 % v porovnání s horní hranicí v tabulce č. 1.

Domnívám se, že kdyby bylo měření obsahu arsenu provedeno v celé plodině, byla by jistě naměřená hodnota daleko vyšší, vzhledem k tomu, že se arsen ukládá především ve vnějších vrstvách. Očistíme-li tedy dobře mrkev, či oloupeme brambor, významně snížíme obsah arsenu v konzumované zelenině. Vyšší koncentraci by tedy mohla mít např. ředkvička, která je konzumovaná pouze po oplachu. Pozitivním faktem je, že z celkového obsahu arsenu v půdě se dostává do rostliny asi jen 1 %. Avšak i to může být při dlouhodobé konzumaci pro člověka nebezpečné.

## 4 ZÁVĚR

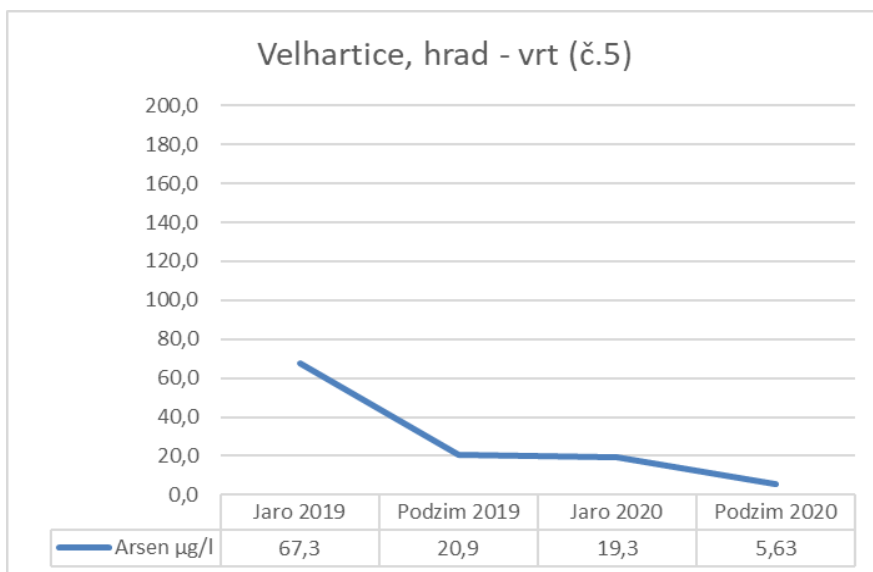
Souhrnné zhodnocení všech prováděných analýz a celé práce je v následujících kapitolách. Největší počet rozborů byl proveden u vody, kde se jedná o výsledky dvouletého sledování, aby bylo objektivněji možno lokalitu posoudit. Plodiny a zemina byly sledovány pouze ve druhém roce v rámci rozšíření práce.

### 4.1 Voda

Podle mého výzkumu je ve vrtaných studnách hlubokých desítky metrů větší množství arsenu, až na vrt Šlajf (č.6). Záleží tedy i na geologickém podloží, do kterého je vrt vyhlouben. Zejména se to projevilo u podloží migmatitizované sillimanit – biotitické pararuly, místy s muskovitem a granátem na Velharticku. Studny kopané v jednotkách metrů vykazují nízkou kontaminaci, ale nejlépe jsou na tom přirozené vývěry vody, které nevykazují téměř žádnou kontaminaci arsenem. I přes skutečnost, že se zdroje (č.2 a č.7) nacházejí v těsné blízkosti důlních děl, nemělo to na tyto přirozené vývěry vliv. Nezaznamenala jsem přímou souvislost vysokého obsahu arsenu ve vodě v lokalitách v blízkosti těžby rud (č.2, č.7) a zpracování rud (č.6, č.10b).

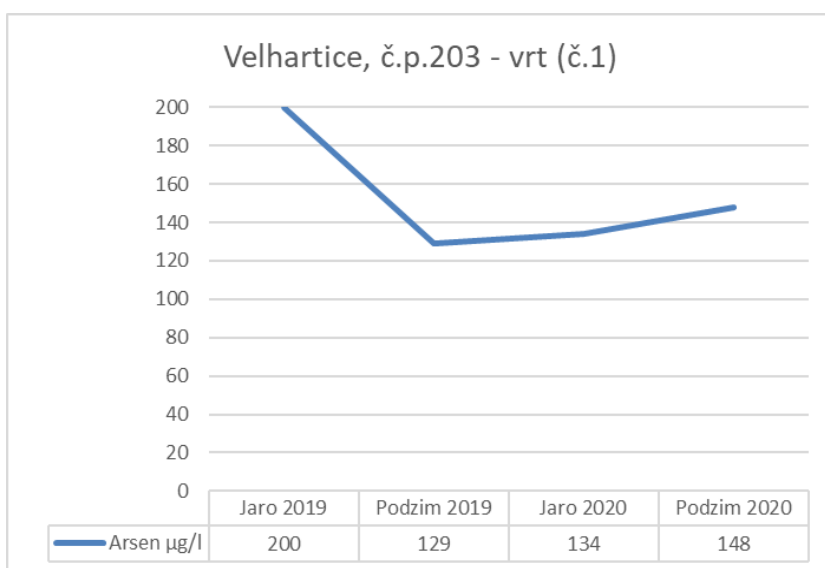
Z literatury jsem se dozvěděla a následně i potvrdila hypotézu, že starší, geochemicky déle vytvářená voda, vykazuje vyšší hodnoty arsenu. Starší voda se vyskytuje hlouběji v podloží a více arsenu obsahuje v důsledku delší doby reakce s arsenovými minerály. Z toho důvodu vykazují více arsenu hlubinné vrty. Naproti tomu mladší vody, které se vyskytují ve vyšších patrech podloží, takové množství arsenu neobsahují, jelikož jsou ředěny povrchovou vodou. Dále bylo zjištěno, že ve zlomech v podloží je obsah arsenu velmi variabilní (č.2 hodnoty do 1  $\mu\text{g/l}$  naproti tomu č.10a 78  $\mu\text{g/l}$ ). Kvůli obsahu podzemní vody s odlišnou geochemií v důsledku různosti v rozložení minerálů arsenu a cestách průtoku podložím.

Na základě výše uvedeného by se jevilo jako výhodnější kopat a vrtat mělké studny pouze v jednotkách metrů v lokalitě s podložím bez předpokládaného obsahu arsenu, tj. do páskované sillimanit – biotitické – migmatitizované pararuly, místy s cordieritem a muskovitem nebo do fluviální či defluviální hlinitopísčitéch a hlinitokamenitých sedimentů. Další variantou je využití přirozených pramenišť s vytvořením větších reservoirů.



Graf č. 3: Snižování obsahu arsenu v důsledku vysokého odčerpávání vody u odběrového místa č.5

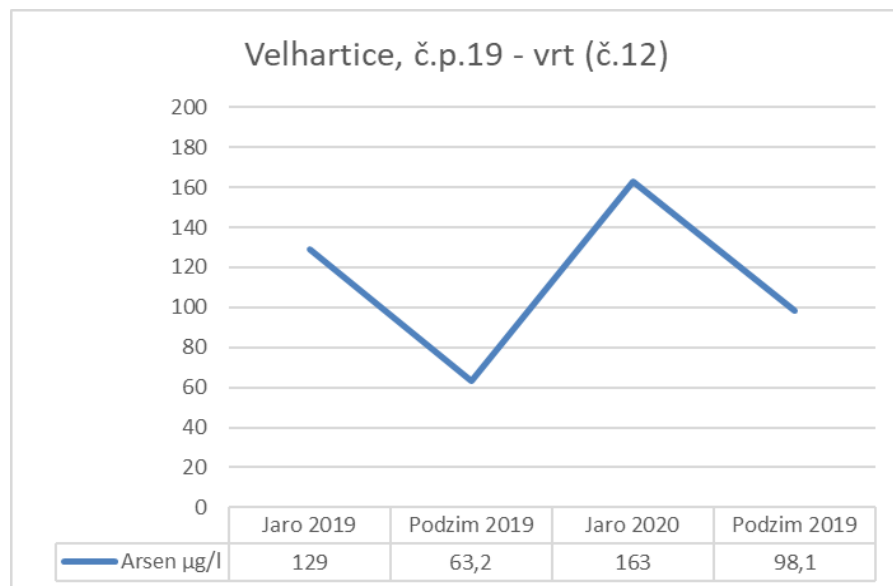
Z prezentovaných výsledků lze dále zjistit pravděpodobnou souvislost snižování obsahu arsenu ve vodě v závislosti na vysokých odběrech kontaminované vody. Snížení obsahu arsenu odčerpáváním je způsobeno vstupem atmosférického kyslíku do vody. Nejvíce patrné je to u vrtu na hradě (č.5), kde se snižování obsahu arsenu významně projevilo, jelikož odběr vody nebyl pozastaven, ale právě naopak je voda čerpána mnohem více než na začátku výzkumu, protože se zde již využívá technologie pro odstranění arsenu a nic nebrání užívání vody jako pitné. Tudíž klesl obsah arsenu v surové vodě, ze které byl následně speciální technologií odstraňován arsen. Díky hodnotám, které byly naměřeny při posledním měření, by se už zde nemusela používat technologie pro odstraňování arsenu, ale jen pod podmínkou, že by byla voda stále stejně odčerpávána, aby se obsah arsenu opět nezvýšil, jak tomu bylo například u vrtu č.1.



Graf č. 4 Proměnlivá hladina obsahu arsenu v důsledku nestabilního (sezónního) čerpání vody u odběrového místa č.1

Poznatek snižování obsahu arsenu v souvislosti s konstantním čerpáním vody se projevil rovněž u vrtu ve Velharticích (č.1). Zde je patrné zvýšení obsahu arsenu po zimě, kdy se vrt nepoužíval. Při zjištění vysokého obsahu arsenu ve vodě se postupně upouštělo od používání vody z tohoto vrtu, a proto se arsen začal ve vodě opět mírně zvyšovat.

U vrtu ve Velharticích (č.12) se rovněž projevilo, že po sezónním čerpání vody obsah arsenu na podzim vždy výrazně klesl.



Graf č. 5 Proměnlivá hladina obsahu arsenu v důsledku nestabilního (sezónního) čerpání vody u odběrného místa č. 12

Shrnula bych, že u vrtů vystavěných k zahradním účelům je obsah arsenu vždy na jaře vyšší z důvodu nečerpání vody přes zimu. U přirozených a mělkých zdrojů vody, ze kterých je voda pravidelně odebírána, jsou koncentrace arsenu konstantní.

Tato vyslovená hypotéza by byla potřeba ověřit v dalším pokračování práce. Dalším možným řešením ke snížení koncentrace arsenu ve vodě je použití technologie pro jeho odstranění, jako tomu je u vrtu na hradě (č.5).

## 4.2 Zemina

Dlouhodobým zaléváním (cca 20 let) kontaminovanou vodou z vrtu (č.1) zřejmě nedošlo k významné změně kontaminace zeminy arsenem. Trochu překvapivě bylo zjištěno téměř stejné množství arsenu v půdě, která byla zalévána deštěm nebo vodou ze zdroje Velhartice (č.9) s hodnotami vyhovující i normě pro pitnou vodu. Jednou z možností, jak se mohly obě půdy kontaminovat jinou cestou, než zaléváním kontaminované vody či umístěním ve špatném geologickém podloží, mohlo být dle mého názoru způsobeno tím, že zde v minulosti možná byly používány již zakázané pesticidy obsahující arsen, které půdu zamořily. Další možností zamořené půdy by mohlo souviset s umístěním pozemku. Místo se nachází pod historickým centrem Velhartic, kde mohlo dlouhodobě docházet k antropogenní kontaminaci půdy.



Vyplavitelnost arsenu z půd je téměř nulová. Detoxikace půd s vysokým obsahem arsenu je možná použitím síranu železnatého, vápence či vysokých dávek fosforu.

Zřejmě by obsah arsenu v zemině zasloužil další výzkum s porovnáním odběrů půdy z jiných lokalit Velharticka. V pokračování práce by bylo potřeba zjistit, zda se jedná o antropogenní znečištění, či se půda kontaminovala jinou cestou. Podnětem k rozšíření práce by mohla být otázka, zda je půda kontaminovaná pouze v blízkém okolí provedených odběrů zeminy, anebo je zamořena v širším měřítku. Jsem si jistá, že rozборы zemin na Velharticku by jistě uvítalo mnoho obyvatel.

### 4.3 Rostliny

Pěstováním zeleniny jsem potvrdila předpoklad zvýšeného výskytu arsenu v kořenové zelenině (mrkev) a listové zelenině (růžičková kapusta). V plodech se podle výzkumu potvrdil nejnižší výskyt arsenu. U hlíz (oddenková hlíza – brambor) jsem s jistotou neprokázala zvýšený výskyt arsenu, přestože jsou v podzemní části rostliny. Zvýšený obsah arsenu se prokázal pouze u červené odrůdy brambor, u bílé odrůdy byl v normě. I když je obsah arsenu menší v bramborech než v mrkvi, více arsenu dostaneme do těla konzumací brambor, jelikož jich za rok zkonzumujeme daleko více než mrkve. Dodala bych, že bychom měli dbát na to, jaké plodiny konzumujeme, v jaké míře a jak moc jsou kontaminované arsenem.

Zaléváním silně kontaminovanou vodou jednu sezónu se výrazněji projevilo zvýšeným obsahem arsenu pouze u mrkve. Dle mého výzkumu kořen oproti hlízám či plodům vstřebává daleko více arsenu při zalévání kontaminovanou vodou. U listové zeleniny nemohu dojít k žádnému závěru, jelikož laboratoř nemohla vyhodnotit vzorky růžičkové kapusty (malé množství vzorku) zalévané nekontaminovanou vodou, a tudíž jsem vzorky nemohla porovnat.

Pěstování rostlin na kontaminované zemině nebo zalévání kontaminovanou vodou je vhodnější pro plodovou zeleninu či ovoce. Konzumace kořenových částí rostlin pěstovaných na půdách s vysokým obsahem arsenu nebo zalévaných vysoce kontaminovanou vodou arsenem je nevhodné.

V případě, že se rozhodneme kořenovou zeleninu pěstovanou na zamořené půdě konzumovat, je třeba řádné očištění od kontaminované zeminy, a nejlépe zbavení slupek.

Chtěla bych upozornit, že mnohem toxičtější je pití kontaminované vody než konzumace dlouhodobě zalévaných rostlin touto vodou.



## 5 ZDROJE

1. SYNÁČKOVÁ, Marcela. *Čistota vod*. Dotisk 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01083-X.
2. *Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody ve znění pozdějších předpisů*. In: Sbírnka zákonů ČR. Dostupné z URL: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
3. *Vyhláška č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu*. Dostupné z URL: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153>
4. *Sušicko: Mapa ložisek nerostných surovin ČR. List 22-31 Sušice*. [1:50 000]. Praha: Český geologický ústav. 1993
5. *Sušicko: Hydrogeologická mapa ČR. List 22-31 Sušice*. [1:50 000]. Praha: Český geologický ústav. 1990
6. *Sušicko: Geologická mapa ČR. List 22-31 Sušice*. [1:50 000]. Praha: Český geologický ústav. 1991
7. *Sušicko: Mapa geochemie povrchových vod ČSR. List 22-31 Sušice*. [1:50 000]. Praha: Ústřední ústav geologický. 1989.
8. ČSN EN ISO 11885. *Jakost vod-Stanovení vybraných prvků optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 75 7387.
9. ČSN 56 0065. *Metody mineralizace vzorků před stanovením obsahu těžkých kovů v poživatinách*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 1987. Třídící znak 560065.

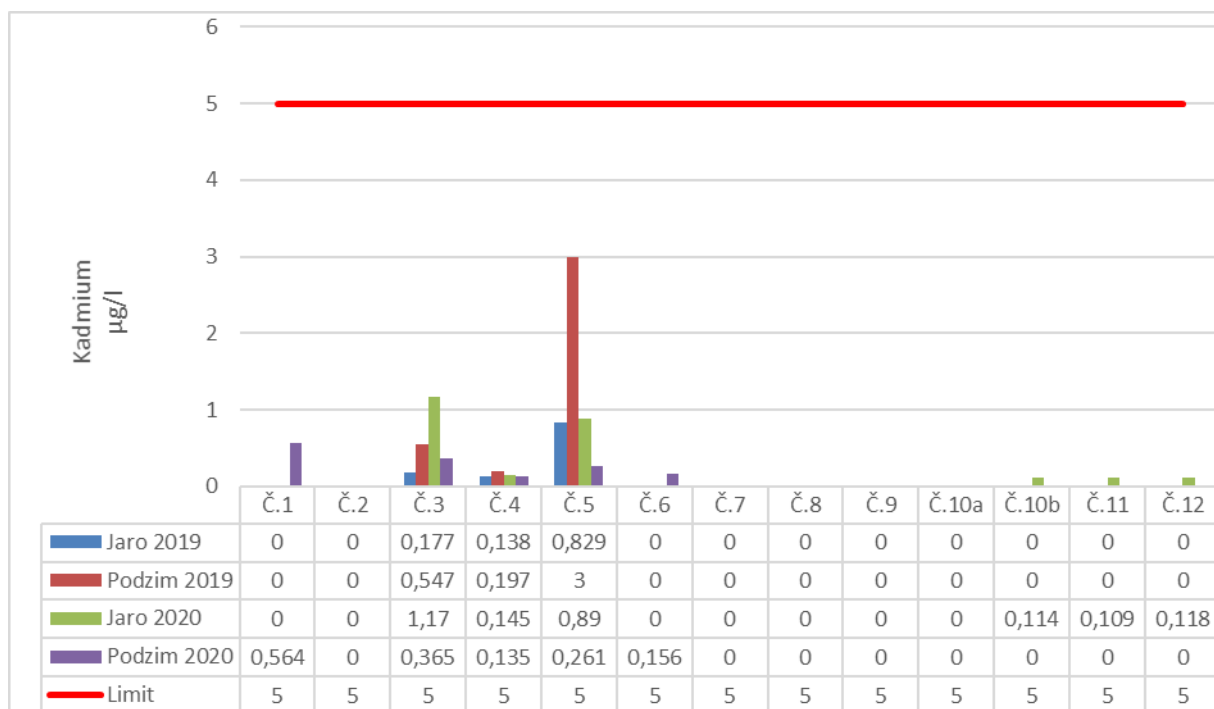
NEKULA, Tomáš. *Problematika arzenu v potravinách a potenciální riziko pro osoby dodržující bezlepkovou dietu*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, lékařská fakulta, Ústav ochrany a podpory.

HALAŠKOVÁ, Nela. *Stanovení arzenu v povrchových a podzemních vodách*. Pardubice, 2018. Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická.

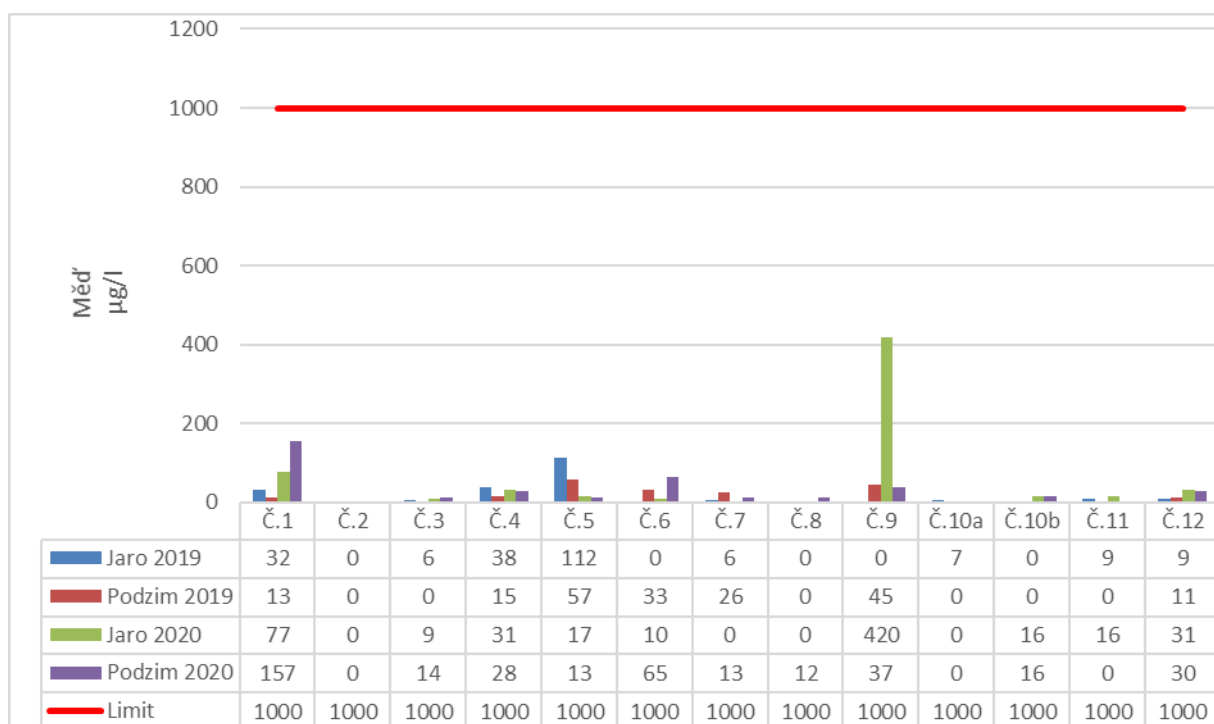
ČÍŽ, Radek. *Vliv molybdenu a arsenu na chemické složení bramborových hlíz*. Zlín. 2007. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav potravinářského inženýrství.

- SOBKOVÁ, Veronika. *Cizorodé prvky v potravinách*. Zlín. 2009. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav potravinářského inženýrství.
- RODOVSKÁ, Zuzana. *Anomální výskyt arsenu v přírodních vodách České republiky*. Praha. 2012. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů.
- KRÝSL, Svatopluk. *Hodnocení zdravotního rizika arsenu z pitné vody: Veřejný vodovod Přestanice*. Klatovy. 2020.
- Meteor* [rozhlasový pořad]. ČRo 2 – Praha, 26. 9. 2020. [cit. 30. 09. 2020]. Dostupný z: <https://dvojka.rozhlas.cz/meteor-o-sestem-smyslu-zvirat-slunci-a-otravenem-vojsku-8320866>
- Arsen* [online]. C 2019 [cit. 20. 09. 2020]. Dostupný z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Arsen>
- Měď* [online]. C 2018 [cit. 10. 02. 2021]. Dostupný z: <https://www.wikiskripta.eu/w/M%C4%9B%C4%8F>
- Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Kadmium* [online]. c2021 [cit. 10. 02. 2021]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kadmium>
- Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Arsen* [online]. c2021 [cit. 15. 03. 2020]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arsen>
- PETROLD, Zdeněk. *Arzen v životním prostředí. Přírodní i jiné zdroje arsenu a způsoby, jak jej zneškodnit*. Vesmír. Praha: Václav F. Kumpošt, 1998, roč. 77 (128). ISSN 0042–4544.
- POMYKAČOVÁ, I., F. KOŽÍŠEK, D. WEYESSA GARI, V. NĚMCOVÁ, L. NEŠPŮRKOVÁ. Problematika arsenu v pitné vodě. In: *Sborník konference Pitná voda 2010*. České Budějovice: W&ET Team. 2010. s. 145-150. ISBN 978-80-254-6854-8.
- UŠŤAK, Sergej. *Doporučení pro pěstování zemědělských plodin v podmínkách vysoké kontaminace zemědělských půd arsenem*. Praha. 2001. Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha, Výzkumná stanice Chomutov, oddělení ekotoxikologie.
- MAJER, Jiří. *Po stezkách dějin Hor Matky Boží*. 1. vydání. Hory Matky Boží: Klub přátel výstavy historie Hor Matky Boží, 1997, s.116.

## 6 PŘÍDATNÉ GRAFY



Graf č. 6: Srovnání čtyř odběrů obsahu kadmia v jednotlivých zdrojích vody v průběhu dvou let



Graf č. 7: Srovnání čtyř odběrů obsahu mědi v jednotlivých zdrojích vody v průběhu dvou let

## 7 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Doporučené hodnoty pro obsah arsenu ve vybraných plodinách .....	12
Tabulka č. 2: Souhrnná tabulka odběrových míst.....	14
Tabulka č. 3: Koncentrace As, Cd, Cu-studánka Velhartice (č.2).....	17
Tabulka č. 4: Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody Horní Staňkov (č.4).....	18
Tabulka č. 5: Koncentrace As, Cd, Cu-vrt hrad Velhartice (č.5) .....	20
Tabulka č. 6 Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody na Šlajfu (č.6) .....	21
Tabulka č. 7: Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody Velhartice (č.9).....	22
Tabulka č. 8: Koncentrace As, Cd, Cu-zdroj pitné vody Nemilkov (č.11) .....	23
Tabulka č. 9: Koncentrace As, Cd, Cu-vrt Velhartice, č.p.203 (č.1).....	25
Tabulka č. 10: Koncentrace As, Cd, Cu-studánka Horní Staňkov, č.p.4 (č.3) .....	26
Tabulka č. 11: Koncentrace As, Cd, Cu-studánka Hory Matky Boží (č.7) .....	27
Tabulka č. 12: Koncentrace As, Cd, Cu-bývalá kašna Velhartice, č.p.20 (č.8) .....	28
Tabulka č. 13: Koncentrace As, Cd, Cu-průzkumný vrt Velhartice (č.10a).....	29
Tabulka č. 14: Koncentrace As, Cd, Cu-studna Kolinec, č.p.240 (č.10b).....	30
Tabulka č. 15: Koncentrace As, Cd, Cu-vrt Velhartice, č.p.19, (č.12).....	31
Tabulka č. 16: Zjištěné hodnoty obsahu As a Cd ve sledované zemině .....	32
Tabulka č. 17: Zjištěné hodnoty obsahu As a Cd ve vypěstované zelenině .....	35

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 Zobrazení podloží v místech provádění odběrů .....	15
Obrázek č. 2: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.2.....	17
Obrázek č. 3: Velhartice–studánka (č.2).....	17
Obrázek č. 4: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.4.....	18
Obrázek č. 5 Horní Staňkov-zdroj pitné vody (č.4).....	18
Obrázek č. 6: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.5.....	19
Obrázek č. 7: Velhartice, hrad–vrt (č.5) .....	19
Obrázek č. 8: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.6.....	20
Obrázek č. 9: Šlajf–zdroj pitné vody (č.6).....	21
Obrázek č. 10: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.9.....	21
Obrázek č. 11: Velhartice-zdroj pitné vody (č.9) .....	22
Obrázek č. 12: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.11 .....	22
Obrázek č. 13: Nemilkov-zdroj pitné vody (č.11) .....	23
Obrázek č. 14: Velhartice, č.p. 203 -vrt (č.1) .....	25
Obrázek č. 15 Horní Staňkov, č.p.4–studánka (č.3) .....	26
Obrázek č. 16: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.7.....	27
Obrázek č. 17: Hory Matky Boží–studánka (č.7) .....	27
Obrázek č. 18: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.8.....	28
Obrázek č. 19: Velhartice, č.p.20 -bývalá kašna (č.8) .....	28
Obrázek č. 20: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.10a.....	29
Obrázek č. 21 Velhartice-průzkumný vrt (č.10a) .....	29
Obrázek č. 22: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.10b.....	30
Obrázek č. 23: Kolinec, č.p.240 studna (č.10b).....	30
Obrázek č. 24: Geologická mapa pro oblast kolem odběrového místa č.12.....	31
Obrázek č. 25: Velhartice, č.p.19–vrt (č.12).....	31
Obrázek č. 26: Nádoby připravené k pěstování vybraných rostlin.....	33
Obrázek č. 27 Vypěstované plodiny po sklizni .....	34
Obrázek č. 28: Sušiny zkoumaných plodin .....	34

## 9 SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Srovnání čtyř odběrů obsahu arsenu v jednotlivých zdrojích pitné vody v průběhu dvou let .....	16
Graf č. 2: Srovnání čtyř odběrů obsahu arsenu v jednotlivých zdrojích užitkové vody v průběhu dvou let .....	24
Graf č. 3: Snižování obsahu arsenu v důsledku vysokého odčerpávání vody u odběrového místa č.5 .....	37
Graf č. 4 Proměnlivá hladina obsahu arsenu v důsledku nestabilního (sezónního) čerpání vody u odběrového místa č.1 .....	37
Graf č. 5 Proměnlivá hladina obsahu arsenu v důsledku nestabilního (sezónního) čerpání vody u odběrného místa č. 12 .....	38
Graf č. 6: Srovnání čtyř odběrů obsahu kadmia v jednotlivých zdrojích vody v průběhu dvou let .....	42
Graf č. 7: Srovnání čtyř odběrů obsahu mědi v jednotlivých zdrojích vody v průběhu dvou let .....	42

## 10 VYSVĚTLIVKY

- červeně označené údaje v tabulkách poukazují na překročení limitní hodnoty koncentrace arsenu
- x–nedostatečné množství odebraného vzorku k analýze