



A kép illusztráció / The picture is illustration

Szigeti Tamás János¹

Érkezett/Received: 2014. június/June – Elfogadva/Accepted: 2015. január/January

Különböző víz- és élelmiszerminták arzéntartalmának vizsgálati eredményei

Kulcsszavak: Arzén, speciációs elemzés, határérték, ivóvíz, felszín alatti víz, élelmiszer, toxikológia

1. Összefoglalás

Az emberiség fejlődése során az utóbbi néhány száz évben hihetetlen technikai és tudományos fejlődésen ment keresztül. Az iparosítás a kémiai anyagok egyre nagyobb arányú használata soha nem látott fizikai és kémiai terhelést rótt az ember élőhelyére. E terhelés a környezet, s egyben a vízadó környezeti elemek növekvő szennyezését eredményezte, így az emberiség az élelmiszerek fogyasztásával számos olyan vegyület, elem toxikus hatásával kell számolnia, amely az egészségét veszélyeztetheti.

Az ipari tevékenység okozta szennyeződések felül természetes forrásokból is kerülhet nemkívánatos anyag az élelmiszerláncba. Ilyen az ivóvízzel és a szilárd élelmiszerekkel a szervezetünkbe jutó elem az arzén, amely szervetlen és szerves vegyületekhez kötött formában van jelen környezetünkben. Dolgozatomban arra keresem a választ, hogy ismerve az arzénnek az ember egészségére gyakorolt káros hatásait, indokoltnak látszik-e az Európai Unió által előírt radikális határérték változtatás, amely az ivóvizek még megengedhető arzéntartalmát 50 µg/L-ről 10 µg/L-re módosította.

A WESSLING Hungary Kft. Élelmiszerbiztonsági Üzletága laboratóriumainak mérési eredményei szerint, illetve az áttanulmányozott egyéb adatok tanúsága alapján nagy valószínűséggel állítható, hogy Magyarországon az ivóvizekben a 2013 év végéig érvényben lévő 50 µg/L maximálisan megengedett határérték mellett nem kellett a magyar populációt érintő, az arzén toxikus hatásának következtében előálló egészségkárosodástól tartani.

A rendelkezésemre álló szakirodalmi anyagok között egy frissen megjelent dolgozatra bukkantam, amely részletesen foglalkozik a magyar emberek arzén-terhelésének forrásaival és annak mértékével. A szerzők megállapításai szintén azt a véleményt támasztják alá, ami szerint a hazai arzénterhelés – bár nem elhanyagolható – várhatóan nem fog észlelhető egészségromlást okozni a Magyarország polgárainál.

2. Bevezetés

Krisztus előtt a negyedik században Arisztotelész már ismerte az arzén egyes színes érceit. Tanítványa, Teophrastus Eresos nevezte el az egyik ásványt arsenicum-nak [1].

Avicenna (Ibn Szína, Abu Ali al-Huszajn ibn Abdallah ibn Szína) perzsa származású fizikus, filozófus, és tudós, a középkori muszlim gondolkodás egyik legnagyobb alakja, az egyik leghíresebb muszlim orvos (980-1037) gyógyászati célokra használta az arzén rendkívül toxikus vegyületeit, a fehér arzént (As_2O_3), a sárga arzént (As_2S_3) és a vörös arzént (AsS és As_2S_2) [2].

¹ WESSLING Hungary Kft.

¹ WESSLING Hungary Kft.

Az első írás az elemi arzénről a szakirodalomban a katolikus püspök és alkímista Albertus Magnus munkájában jelent meg, így az elemi arzén felfedezését is e középkori a tudósnak tulajdonítja a tudomány [3].

Nevét feltehetően az arab *al-zarnikh* szóból kapta, amely a perzsa *zarnik*, azaz aranszínű kifejezésből származik. Ezzel rokon a görög αρσενικον [arsenikon] szó, amely férfias, erős tulajdonságot jelöl. Feltehetően ez a görög szó alakult át végül a latin *arsenicum*-má [4].

Az arzén a Föld kérgében szinte mindenütt jelen lévő elem, amely általában szervesetlen vegyületekbe épülve fordul elő. A legtöbb szerves és szervesetlen arzén vegyület fehér színű vagy színtelen, szagtalan anyag, így az élelmiszerekbe kerülve érzékszervi úton nem mutatható ki. A talajokban 3 – 4 µg/kg közötti, a felszíni és talajvizekben 1 µg/L átlagos koncentrációban található. Bizonyos szennyezett területeken a talajban elérheti a 40 µg/kg a vizekben pedig az 1000 µg/L koncentrációt is. Amerikai adatok szerint az élelmiszerekben általában 20 és 140 µg/kg arzén szennyezettség mutatható ki. A 300 µg/L-nél, illetve a 300 µg/kg-nál nagyobb koncentrációjú szervesetlen arzénvegyület tartalmazó élelmiszer elfogyasztása esetén akut mérgezési tünetekkel kell számolni. Álljon itt egy adat összehasonlítás végett: Nyugat-Bengáliában és Bangladesh-ben az ivóvíz arzénkoncentrációja eléri a 800 µg/L-t [5]. Az arzénmérgezés jellemző tünetei: emésztőrendszeri panaszok, gyomorfájás, émelygés, hányinger, hányás. Közben megindul a vörösvértestek pusztulása, a végtagok zsibbadnak. Hosszantartó, kisebb dózisú arzén expozíció hatására a bőrön jellegzetes elváltozások alakulnak ki, miközben jelentősen nő a vese, a húgyhólyag és a tüdő daganatos megbetegedésének veszélye. Az IARC (International Agency for Research on Cancer) és az EPA (Environmental Protection Agency) a szervesetlen formájú arzént emberi karcinogén anyagnak nyilvánította [6]. Az eddig leírtakból is következik, hogy élelmiszereinket azok arzén-szennyezettsége tekintetében is szigorú felügyelet alatt kell tartani.

Az arzén toxikológiai jelentőségét hangsúlyozza az Amerikai Egyesült Államokban működő ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) által készített környezeti hatásokat elemző kockázateértékelése, amelyben 255 anyag veszélyességét értékeli. Figyelembe veszik, hogy az illető elem vagy vegyület hatása hány embert érint, a koncentrációja mennyire haladja meg az egészségügyi határértéket. Az utóbbi 5 évben a listán szereplő első anyag az arzén volt. A veszélyességi fokozatokban az arzén másodikként az ólom követte, majd a higany következett. A kadmium a hetedik helyen szerepelt a sorban [7].

3. Az arzén, mint mérgező és gyógyszer

Ahogy az emberek felismerték az arzén és vegyületeinek mérgező tulajdonságait, hatékonyan alkalmaz-

ták különböző kártevők egyedszámának gyérítésére és – Prokisch József szavait idézve – a XIX. század elejéig különböző politikai problémák megoldására is kitűnően megfelelt... A Marsh próbának nevezett vizsgálati módszer kidolgozásáig nem volt olyan kémiai módszer, amellyel ki lehetett volna mutatni a mérget az ételből, vagy az áldozatból, s ezért is nevezték el az arzént a mérgek királyának. Mint azt már említettem, az arzén egyes vegyületeit már az ókorban ismerték. Az arzén-oxid évezredek óta közkedvelt mérgező volt. A történelem során elkövetett számtalan arzénes gyilkosság közül hármat idézek fel. Az egyik 1752-ben az angliai Mary Blandy ügye, a másik pedig a Franciaországban nagy vihart kavart Lafarge per volt. Mary Blandy az apját ölte meg fehér arzénnel, Marie Lafarge pedig a férjét tette el láb alól arzén tartalmú patkányméreggel [7]. A harmadik eset Magyarországon történt 1929-ben, amikor a hírhedté vált tiszazugi asszonyok légyapírjáról leoldott arzén vegyülettel ölték meg családtagjaikat. A kegyetlen sorozatgyilkosságok leleplezése utáni perről Móricz Zsigmond írt megrázó, és az akkori magyar társadalmat súlyosan elmarasztaló bírósági krónikát [8].

Az arzént évszázadok óta használják gyógyszerként is. A XVIII. században Thomas Fowler of Stafford 1%-os kálium-arzenit (KAsO₂) oldatot használt a leukémia gyógyítására [9]. A róla elnevezett Fowler-oldatot később malária, kolera és szifilisz gyógyítására is használták. Talán a Fowler-oldat adhatta az ötletet Sahachiro Hata és Paul Ehrlich számára, hogy különböző, kevésbé toxikus szerves arzénvegyületeket próbáljanak ki súlyos, baktériumok okozta betegségek kezelésére. 1909-ben az Arsphenamine nevű készítmény, amely később a Salvarsan nevet kapta, hatékonynak bizonyult, szintén a szifilisz kezelésében. Az Arsphenamine háromféle szerves arzénvegyületet tartalmazott: kettő, három, illetve öt arzénatomot és ugyanennyi amino-fenilcsoportot tartalmazó molekulák keveréke volt [10]. 2001-ben az amerikai FDA (Food and Drug Administration) az arzén-trioxidot visszavezette az akut fehérvérűség kezelésére engedélyezett gyógyszerek közé [11].

4. Az arzén toxikológiai hatásmechanizmusa

Az arzén a szervezet metabolizmusába jutva több reakcióúton keresztül képes az ATP szintézist blokkolni. Az egyik út a piroszőlősav-dehidrogenáz enzim gátlása, aminek következtében a mitokondriumokban nem következik be az oxidatív foszforilálás és a nikotinsavamid-adenin-dinukleotid-ion (NAD⁺) nem redukálódik. E közben a sejtek anyagcseréjében fokozódik a hidrogénperoxid termelődése, amely a biokémiai folyamatok során nem-kívánatos oxidatív elváltozásokat okoz. Ilyen módon a sejtek szerkezete és működése összeomlik, amely akut esetben halálhoz vezet [12]. Singh és munkatársainak cikkében részletesen olvashatunk az arzén élettani hatásairól. Dolgozatukban ismertetik az arzén okozta kardiovaszkuláris elváltozások, a diabétesz, idegrendszeri zavarok, a máj és vesefunkciók zavarának,

Results of the arsenic content analysis of different water and food samples

Tamás János Szigeti

Keywords: arsenic, speciation analysis, limit value, drinking water, groundwater, food, toxicology

1. Summary

During its development, mankind has experienced incredible technical and scientific development over the last several hundred years. A physical and chemical burden never before seen has been imposed on the living environment of people by industrialization and the ever increasing use of chemicals. This burden resulted in the increasing contamination of the environment, including aquiferous environmental elements, and so mankind has to consider, when consuming food, the toxic effects of many compounds that can harm one's health.

In addition to contamination caused by industrial activities, undesirable substances can enter the food chain from natural sources as well. One of these elements, entering our bodies with drinking water and solid foods, is arsenic which is present in our environment bound in both organic and inorganic compounds. In this paper, the answer is sought to the question whether, knowing the harmful effects of arsenic on people's health, the radical change in limit value by the European Union which modified the allowable arsenic content of drinking water from 50 µg/L to 10 µg/L seems justified.

According to the measurement results of the laboratory of the Food Safety Business Unit of WESSLING Hungary Kft., and also based on all other data studied, it can be stated with high certainty that with the maximum allowed value of 50 µg/L that was in effect for drinking waters in Hungary until the end of 2013, the Hungarian population did not have to be afraid of health damages caused by the toxic effect of arsenic.

Among the literature material available to me, I found a recently published paper, dealing in detail with the sources and extent of the arsenic load of Hungarian people. Conclusions of the authors also support the opinion that the domestic arsenic load, although not negligible, is not expected to cause observable health deterioration for the citizens of Hungary.

2. Introduction

In the fourth century BC, Aristotle already knew certain colored ores of arsenic. One of the ores was named by his student, Teophrastus of Eresus, *archenicum* [1].

Avicenna (Ibn-Sīnā, Abu Ali al-Husain ibn Abdallah ibn Sina) Persian physicist, philosopher and scientist, one of the most significant thinkers of the Islamic Golden Age, one of the most famous Islamic doctors (980-1037) used the extremely toxic compounds of arsenic, such as white arsenic (As_2O_3), yellow arsenic (As_2S_3) (orpiment?) and red arsenic (AsS and As_2S_2) (realgar, As_4S_4 ?) for medicinal purposes [2].

The first writing about elemental arsenic was published in the scientific literature by the catholic bishop and alchemist Albertus Magnus, and so this medieval scientist is credited with the discovery of elemental arsenic by science [3].

Its name supposedly comes from the Arabic word *al-zarnīkh*, derived from the Persian *zarnīk*, meaning gold-colored. It is related to the Greek word ἀρσενικόν [arsenikon], which designates a masculine, strong characteristic. Presumably it was this Greek word that eventually evolved into the Latin-sounding *arsenicum* [4].

Arsenic is an element that is present almost everywhere in the Earth's crust, usually in the form of inorganic compounds. Most organic and inorganic arsenic compounds are white colored or colorless, odorless substances, therefore, they cannot be detected in foods by organoleptic methods. Its average concentration in soils is 3 to 4 µg/kg, while in surface and groundwaters it is 1 µg/L. In certain contaminated areas, concentrations as high as 40 µg/kg in soil and 1000 µg/L in water have been observed. According to US data, the arsenic contamination of foods is usually in the 20 to 140 µg/kg range. Acute poisoning symptoms to be expected when consuming foods containing inorganic arsenic compounds in concentrations higher than 300 µg/L or 300 µg/kg. Here is a piece of information for comparison's sake: the arsenic concentration of drinking water in West Bengal and Bangladesh can reach 800 µg/L [5]. Typical symptoms of arsenic poisoning are gastrointestinal complaints, stomach ache, nausea, vomiting. In the meantime, destruction of red blood cells start and the limbs become numb. Prolonged exposure to smaller doses of arsenic results in characteristic skin lesions, and the risk of kidney, bladder and lung cancer increases significantly. Inorganic arsenic was declared a human carcinogen by IARC (International Agency for Research on Cancer) and EPA (Environmental Protection Agency) [6]. It follows from the above that our foods have to be strictly supervised in terms of their arsenic contamination.

Toxicological significance is emphasized by the risk assessment prepared by the US-based ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) analyzing environmental effects, evaluating the hazardousness of 255 substances. It is taken into consideration how many people are affected by the given element or compound, and to what extent its concentration exceeds the limit value. In the last five years, the first item on the list has been arsenic. In terms of hazardousness, arsenic was followed by lead, and then by mercury. Cadmium was seventh on the list [7].

3. Arsenic as a poison and as a medicine

As soon as people recognized the toxic properties of arsenic and its compounds, they started using them efficiently to reduce the number of certain pests, and – to quote József Prokisch – they were eminently suited to solve different political problems up to the beginning of the nineteenth century... Until the development of the analytical method called the Marsh test, there was no chemical method suitable for the detection of the poison in food or the victim, that is why it was named the king of poisons. As was stated above, certain compounds of arsenic were already known in ancient times. Arsenic trioxide had been a popular poison for millennia. Of the numerous murders committed with arsenic throughout history, I would like to recall three. One was the case of Mary Blandy in England in 1752, and the second was the Lafarge trial, gaining notoriety in France. Mary Blandy killed her father using white arsenic, while Marie Lafarge did away with her husband using arsenic-containing rat poison [7]. The third case occurred in Hungary in 1929,

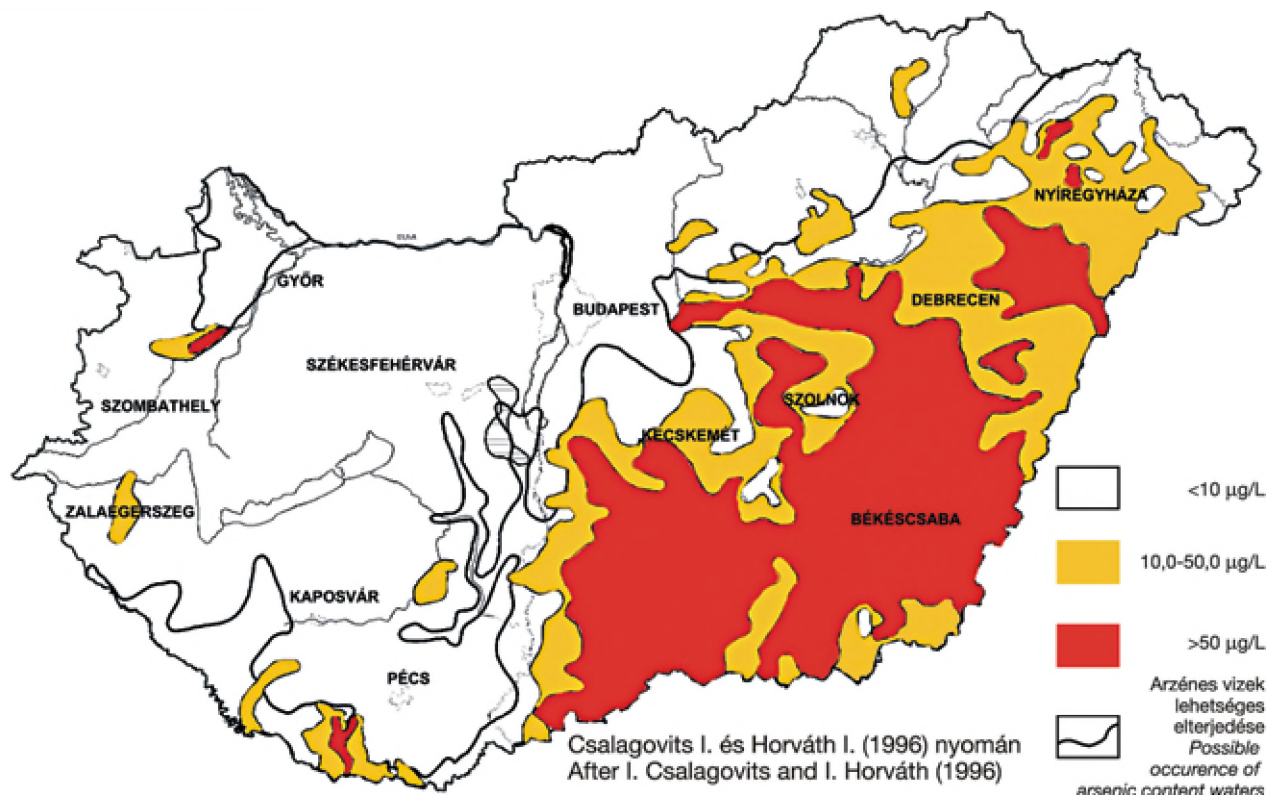
illetve a krónikus arzén-expozíció hatására bekövetkező daganatos betegségek biokémiai mechanizmusait [13]. Ugyanakkor érdemes szót ejteni arról is, hogy számos mérég, közöttük az arzén és vegyületeivel szemben lehetséges toleranciát szerezni. Mithridatész pontuszi királyról jegyezték fel, hogy a méreggel elkövetett merényletek ellen számos, az ókorban ismert méreggel és azok antidótumaival kezelte magát Krisztus előtt a II. században. A toxikológia szaknyelvében ennek az igaz történetnek, vagy legendának alapján mithridatizmus névvel jelölik a mérgekkel szembeni tolerancia kifejlesztését, az erre a célra készített keverékeket pedig mithridatikumnak, vagy mithridatiumnak nevezik [14]. Sambu és munkatársai számos, krónikus arzén-expozíció hatására bekövetkező mérgezési esetről számolnak be [15].

5. Ivóvizeink arzén tartalma

Magyarországon a szakemberek 1981-ben ismerték fel, hogy a rétegvizeinkből származó ivóvizek arzéntartalma számos vízkivételi helyen jóval meghaladja az akkoriban érvényes, 50 µg/L egészségügyi határértéket. Fügedi és munkatársai felmérései szerint a nyolcvanas években hozzávetőlegesen 600 ezer ember fogyasztott – főként a Nagyalföld déli és keleti részén – a határérték többszörösét tartalmazó arzénes ivóvizet. Ezt követően a 2004-ig foganatosított in-

tézkedések révén jórésével valamennyi településen sikerült az ivóvíz arzéntartalmát 50 µg/L alá csökkenteni [16]. Uniós csatlakozásunk után ismét szembeültünk az arzén-problémával, hiszen az EU-ban érvényes szabályok szerint az ivóvíz arzéntartalma legfeljebb 10 µg/L lehet [17]. Egyes felmérések szerint a Pannon-medencében 2011-ben mintegy 500 ezer ember érintett az EU által előírt 10 µg/L koncentrációnál nagyobb arzénmennyiséget tartalmazó ivóvizek fogyasztásában. A területen <0,5 és akár 240 µg/L koncentrációjú ivóvizekkel is lehet találkozni. A Pannon-medencében a vizek arzéntartalma főként redukált, As(III) formában van jelen. Megfigyelték, hogy azon vízkivételei helyeken lehet nagyobb arzénkoncentrációval (23 – 208 µg/L, a középérték 123 µg/L) számolni, ahol a vízáadó rétegben a metán mennyisége is jelentős és a vas is főként redukált állapotban van. Azokban a vízáadó rétegekben, ahol inkább a szulfátredukció jellemző, és jóval kevesebb metán keletkezik, várhatóan az arzénkoncentráció (<0,5 – 58 µg/L, a középérték 11,5 µg/L) is kisebb lesz [18].

Az **1. ábra** hazánk vízáadó talajrétegeiből származó rétegvizek arzéntartalmát mutatja be Csalagovits nyomán (az eredetileg fekete-fehér ábrát a jobb áttekinthetőség kedvéért átszíneztem). Az 1999-es évi adatokat tartalmazó ábrán jól látszik, hogy Magyarország rétegvizei között főként a Tiszántúli területeken várható nagyobb arzénkoncentráció [19].



1. ábra. Magyarország rétegvizeinek arzéntartalmáról készült izokoncentrációs térkép [19].
Figure 1 Isoconcentration map of the arsenic content of aquiferic waters of Hungary [19].

A **2. ábra** egy, a 2000. évből származó adatok alapján készített olyan arzéntérkép, amely az arzénkoncentrációkat mutatja Magyarország vezetékes ivóvi-

zeiben. Az adatokat Galambos Ildikó PhD dolgozata tartalmazza az ÁNTSZ 2000. évi adataira hivatkozva [20].

when the infamous Tiszazug women killed their family members using an arsenic compound leached off from flypaper. A shocking court chronicle severely condemning the Hungarian society of the time was written by Zsigmond Móricz about the trial following the uncovering of the brutal serial murders [8].

Arsenic has also been used as a medicine for centuries. A 1% potassium arsenite ($KAsO_2$) solution was used by Thomas Fowler of Stafford to treat leukemia in the 18th century. [9]. Fowler's solution, named after him, was later used to treat malaria, cholera and syphilis. Perhaps the idea was provided to Sahachiro Hata and Paul Ehrlich by Fowler's solution to try different, less toxic organic arsenic compounds in the treatment of severe illnesses caused by bacteria. In 1909, the preparation Arsphenamine, which was later named Salvarsan, proved to be effective, also in the treatment of syphilis. Arsphenamine contained three organic arsenic compounds: it was a mixture of molecules containing two, three or five arsenic atoms, and the same number of aminophenyl groups [10]. In 2001, arsenic trioxide was reintroduced by the US FDA (Food and Drug Administration) as a drug approved for the treatment of acute leukemia [11].

4. Toxicological mechanism of action of arsenic

Entering the metabolism of the body, arsenic is capable of blocking ATP synthesis through several reaction pathways. One way is inhibition of the pyruvate dehydrogenase enzyme, the results of which is that there is no oxidative phosphorylation in the mitochondria and, consequently, nicotinamide adenine dinucleotide ion (NAD^+) is not reduced. Meanwhile, the production of hydrogen peroxide in the metabolism of the cells increases, resulting in undesirable oxidative changes during biochemical processes. This way, the structure and the operation of the cells collapse, which leads to death in acute cases [12]. One can read about the physiological effects of arsenic in detail in the scientific article of Singh et al. Their paper describes the biochemical mechanisms of arsenic-induced cardiovascular disorders, diabetes, neurological disorders, liver and kidney dysfunction, and also cancers resulting from chronic arsenic exposure [13]. It is also worth mentioning that it is possible to develop a tolerance for several poisons, including arsenic and its compounds. It was recorded about king Mithridates of Pontus that in the second century BC, to prevent assassination by poison, he treated himself with several poisons and their antidotes known in ancient times. Based on this true story or legend, development of a tolerance for poisons is called mithridatism in the language of toxicology, and the mixtures prepared for this purpose are called mithridaticums or mithridatiums [14]. Several cases of poisoning, as the result of chronic arsenic exposure were reported by Sambu et al. [15].

5. Arsenic content of our drinking waters

It was recognized by the experts in Hungary in 1981 that the arsenic content of our drinking waters coming from aquiferic waters significantly exceeded, at several water extraction sites, the 50 $\mu\text{g/L}$ limit value then in effect. According to the survey of Fügedi et al., in the eighties roughly 600 thousand people - especially in the southern and eastern parts of the Great Hungarian Plain - consumed drinking water that contained arsenic in amounts several times higher than the limit value. Then, by action taken through 2004, the arsenic content of drinking water at practically all settlements was reduced to concentrations

below 50 $\mu\text{g/L}$ [16]. After joining the EU, we were faced with the arsenic problem again, because the arsenic content of drinking water, according to the EU regulations in effect, could not be higher than 10 $\mu\text{g/L}$ [17]. According to certain surveys, in 2011 the number of people in the Pannonian Basin consuming drinking water with arsenic concentrations above the 10 $\mu\text{g/L}$ prescribed by the EU was ca. 500 thousand. Drinking water concentrations of <0.5, as well as 240 $\mu\text{g/L}$ could be found in the area. In the Pannonian Basin, the arsenic content of waters is primarily present in the reduced, As(III) form. It was observed that higher arsenic concentrations (23 to 208 $\mu\text{g/L}$, with an average of 123 $\mu\text{g/L}$) were found at those water extraction sites where the amount of methane in the aquifer is significant, and iron is mainly present in the reduced form as well. In those aquifers where sulfate reduction is more characteristic, and the amount of methane produced is much lower, arsenic concentrations are expected to be lower as well (<0.5 to 58 $\mu\text{g/L}$, with an average value of 11.5 $\mu\text{g/L}$) [18].

Figure 1 shows the arsenic content of aquiferic waters coming from Hungary's water providing soil layers according to Csalagovits (the originally black-and-white map was colored for clarity). It can be discerned easily in the figure containing 1999 data that, of aquiferic waters of Hungary, higher arsenic concentration are primarily expected in the Transzisztza region [19].

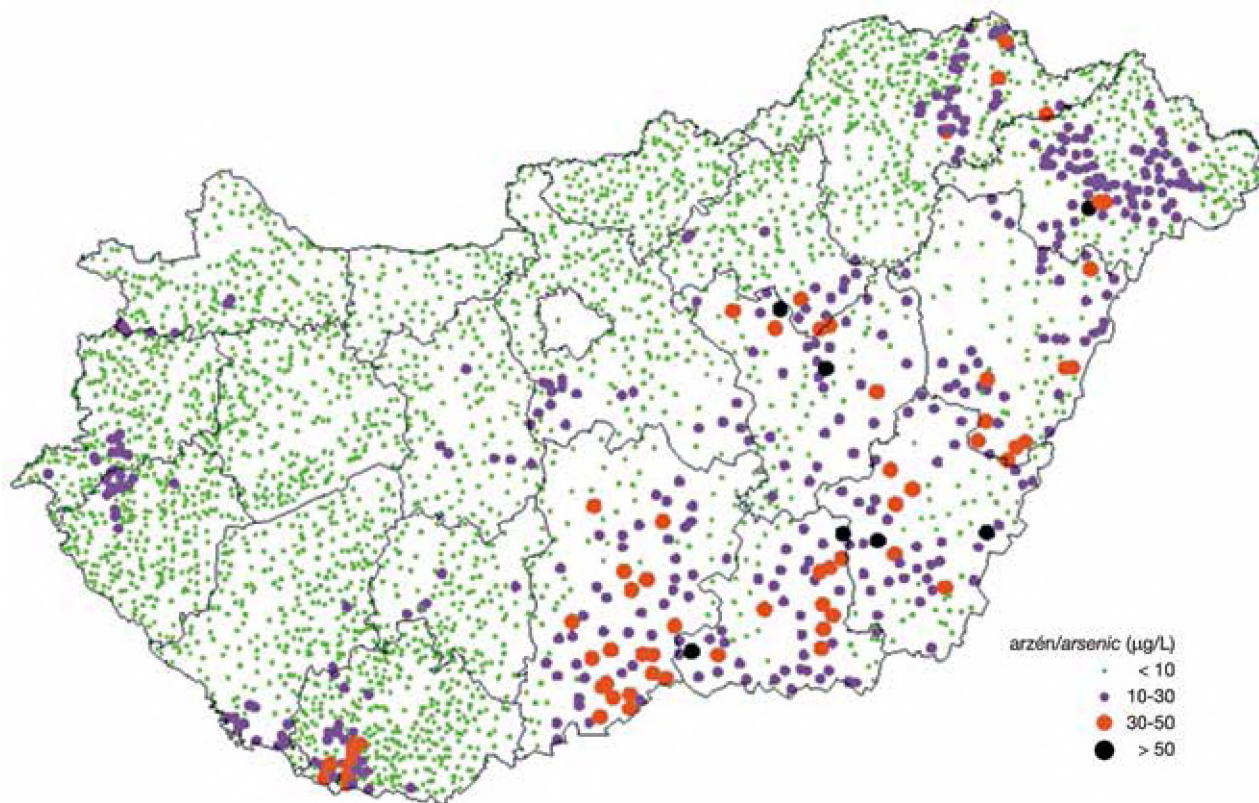
Figure 2 is an arsenic map based on data from the year 2000, showing arsenic concentrations in the tap waters of Hungary. Data are contained in the PhD thesis of Ildikó Galambos, referring to the 2000 data of the National Public Health and Medical Officer Service (ÁNTSZ) [20].

Data of **Figure 2** are worth comparing to the isoconcentration data of **Figure 1**. Arsenic concentrations of drinking waters follow closely similar data of aquiferic waters, however, it can be seen that amounts exceeding the 50 $\mu\text{g/L}$ limit value prescribed by the original Hungarian regulation are found in a total of seven regions (indicated by black circles in **Figure 2**).

23 samples from the drinking water system of the Great Hungarian Plain were analyzed by Sugár et al. Speciation analyses aimed also at the determination of the oxidation states of the different arsenic forms were performed using the high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), following anion exchange separation. Their analytical results showed arsenic concentrations exceeding the EU limit value in 22 cases, in the concentration range of 7.2 to 210.3 $\mu\text{g/L}$. At the same time, it was determined that, in 60% of the water samples, inorganic compounds in the oxidation state As(III) were present, which are less toxic than inorganic compounds in the oxidation state As(V) [21].

It was reported by the same research group in another paper that there the arsenic content of drinking water used for the manufacture of foods was directly proportional to the arsenic content of certain food industry products. During their research, arsenic content dependence of tomato soup, cabbage soup, beers and non-alcoholic beverages was analyzed. They found that, in the case of soups, the Pearson correlation coefficient between the arsenic contents of the water and the product was 0.927, while in the case of beverages it was 0.936 [22].

According to data by Mrs. Sohár, the tolerable daily intake of arsenic for a person with a body mass of 60 to 80 kg is 138 to 184 $\mu\text{g/kg/day}$. Based on personal communication,



2. ábra. Hazánk vezetékes ivóvízeiben mérhető arzénkoncentrációk [20].
Figure 2 Arsenic concentrations in the tap waters of Hungary [20].

A **2. ábra** térképének adatait érdemes összevetni azt **1. ábra** izokoncentrációs adataival. A vezetékes ivóvizek arzénkoncentrációja jól követi a rétegvizek hasonló adatait, ugyanakkor látszik, hogy az eredeti magyar szabályozás által előírt, legfeljebb 50 µg/L határérték feletti mennyiséget (a **2. ábrán** fekete körök jelzik) összesen hét régióban találunk.

Sugár és munkatársai az Alföld vezetékes ivóvíz-rendszeréből 23 db mintát elemeztek. Az arzénformák oxidációs állapotának megállapítására is irányuló speciációs vizsgálataikat anioncserés elválasztás után nagyfelbontású induktív csatolású plazma-tömegspektrometriás technikával (ICP-MS) hajtották végre. Vizsgálati eredményeik 22 esetben mutattak az EU határérték feletti arzénkoncentrációkat 7,2 és 210,3 µg/l közé eső koncentráció-tartományban. Ugyanakkor megállapították, hogy a vízminták 60%-ában az As(III) oxidációs fokú szerves vegyületek fordultak elő, amelyek kevésbé toxikusak, mint az As(V) oxidáció fokú szerves vegyületek [21].

Ugyancsak ez a kutatócsoport számolt be arról egy másik közleményükben, hogy az élelmiszerek előállításánál használt ivóvíz arzéntartalma és bizonyos élelmiszeripari termékek arzéntartalma között egyes arányosság mutatható ki. Kutatásaik során paradicsomleves, káposztaleves, sörök és alkoholmentes italok arzéntartalmának függését vizsgálták meg. Az találták, hogy a levesfélék esetében a víz és a termék arzéntartalmának Pearson-féle korrelációs állandója 0,927-nek, az italok esetében pedig 0,936-nak adódott [22].

Sohárné adatai szerint a tolerálható napi arzénbevitel egy 60-80 kg testtömegű ember esetében 138-184 µg/kg/nap. Személyes közlése alapján az **1. táblázatban** tekintjük át néhány ország egy főre jutó napi arzénbevitelét [23]!



A kép illusztráció / The picture is illustration

Table 1 shows the per capita daily intake of arsenic for a few selected countries [23]!

Some of the data in **Table 1** suggest that higher arsenic intake can be expected primarily in those countries that have long coastlines and whose residents' diet relies heavily on food of marine origin.

We have to mention here that arsenic content of food commodities of marine origin is high (2000 to 20000 µg/kg), but the ratio of greatly toxic inorganic arsenic compounds in them is less than 10%. Toxicities of selected arsenic compounds are shown in **Table 2**, based on oral (p.o.) toxicity studies performed on rats [23].

The work of Sugár et al. on drinking water analysis was supplemented by speciation arsenic analysis of menus typical of Hungarian eating habits. Based on their results, a Hungarian person introduces into his or her body no more than 80 µg of arsenic per day with the solid foods consumed and consuming 2.5 liters of water [21]. This amount is only slightly more than half of the value from 2008, reported by Mrs. Sohár (150 µg/day/person)! Similar results were obtained by researchers of the Department of Sanitary and Environmental Engineering of the Budapest University of Technology and Economics who estimated per capita arsenic intake in Hungary to be 100 µg [24].

It follows from the data of Sugár et al. [21], as well as Mrs. Sohár [23] that the Council of the European Union did not take into consideration, when determining maximum allowable arsenic concentrations in drinking waters, the amounts of organic and inorganic forms of arsenic entering the human body with foods. Consequently, speciation analyses regarding the arsenic content of foods had not yet been performed, or they had not been evaluated.

6. Arsenic analysis in the laboratory practice of WESSLING Hungary Ltd.

Elemental analysis of different environmental, pharmaceutical, food, feed and water samples has been an important part of the laboratory activity of WESSLING Hungary Ltd. for decades. Measurements have been performed using an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). Digestion of the food samples was performed in a closed vessel, using a microwave digestion unit, under pressure and temperature control. Digestion of drinking and groundwater samples was not necessary, because the objective of our analyses was to determine dissolved arsenic content.

6.1. Preparation of food samples for elemental analysis

In the case of water-soluble samples, if reduction of the carbon content of the sample is not necessary, sample preparation consists of simple dilution and filtration. Usually, 5 g of the sample is dissolved in deionized water for a final solution of 50 mL. For digestion, 5.00 mL of the sample is measured into the digestion tube, to which 4.6 mL of deionized water and 0.2 mL of mercury-free 65% nitric acid are added.

If the sample required digestion and it was possible (the list of compounds unsuitable for closed vessel microwave digestion is included in the instruction manual), then the procedure was as follows:

Digestions were carried out on two duplicate samples at least, by adding 5 mL of mercury-free 65% nitric acid to the sample. The quantity of sample weighed in was determined by the maximum allowable carbon content during microwave digestion, thus the usual amount of

sample weighed into the digestion tube was the equivalent of 200 mg carbon content. In the case of most foods, this was ca. 0.4 g. In case of certain types of food, for example juices or soft drinks, the amount weighed in was 1 to 2 g. Water was added to the sample, depending on the moisture content of the sample weighed in, so that the total volume of water in the sample and the added deionized water was 5 mL. The power used for digestion was 400 to 800 W, with 10 minutes of energy transfer followed by 15 minutes of rest. One digestion cycle took roughly 30 minutes. If the solution obtained after digestion was cloudy, or undissolved parts could be seen, digestion was repeated after the addition of 1 mL of 30% hydrogen peroxide. After opening the digestion vessels, the volume of the digested samples was adjusted to 50.0 mL.

Calibration was performed using calibration solutions obtained from the dilution of a Merck-Millipore ICP Multi Element Standard Solution XVI ((FR0119) 100 mg/L As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V, Zn in 1 M HNO₃, catalog no.: 1094870100). Calibration concentrations for the measurement of arsenic were 5, 10, 20 and 100 µg/L.

Meinhard ICP-MS Internal Standard Solution 2 (Ge, In, Lu, Rh, Sc, Ta & Y 100 mg/L) was used as the internal standard, at a 50-fold dilution.

Measurements were performed according to method descriptions EPA Method 200.8 [25], EPA Method 6020A [26] and EPA Method 6010C [27].

Recovery was checked during our measurements by the analysis of spiked samples. Only those analytical results were accepted, where the recovery of the arsenic added to the sample exceeded 80%.

6.2. Preparation of water samples for elemental analysis

Determination of the arsenic content of water samples was performed according to standards MSZ 1484-3:2006 [28], MSZ EN ISO 11885:200 [29] and MSZ EN ISO 17294-2:2005 [30], and method descriptions EPA Method 6010C [25] and EPA Method 200.8 [27].

In the case of drinking waters and groundwaters, samples were filtered through a 0,45 µm pore size membrane filter at the site of sampling, because the objective of our analyses was to determine the dissolved element content. Samples were preserved with 0.5 mL of mercury-free 65% nitric acid per 100 mL of sample. Then the sample was diluted to the appropriate extent. 2-fold and 5 fold dilutions were used for arsenic determination. For each analysis, 40 mL of the diluted sample was used, to which 5 mL of mercury-free 65% nitric acid was added. Two duplicate samples were prepared from each dilution, one of which was spiked with 1 mL of As solution of known concentration (5 mg/L) to check recovery, and the final sample volume was adjusted to 50 mL.

If the difference between the parallel results of the two dilutions (2-fold and 5-fold) exceeded 10%, then sample preparation and analysis were repeated.

To check the cleanliness of the vessels and the equipment used, sample preparation blanks were prepared in each analytical sequence as well.

6.3. Analysis of the prepared samples

Analyses of the arsenic content of water samples were performed on a Perkin Elmer NexION 300D ICP-MS instrument. Setting of measurement parameters was

1. táblázat. Néhány ország egy főre eső, becsült napi arzénbevitel [23].
Table 1 Estimated per capita daily intake of arsenic for selected countries [23].

Ország / Country	Napi bevétel $\mu\text{g}/\text{kg}$ / Daily intake $\mu\text{g}/\text{kg}$
Belgium / Belgium	265
Franciaország / France	148
Svédország / Sweden	101
Nagy-Britannia / England	66
Olaszország / Italy	310
Japán / Japan	376
Magyarország – bizonytalan becslés! Hungary – uncertain estimate!	150

Az 1. táblázat néhány adata azt sejteti, hogy főként azokban az országokban kell nagyobb arzénbevitelre számítani, amelyek hosszú tengerparttal rendelkeznek és lakosaiknak étrendjében kiemelt szerephez jutnak a tengeri eredetű élelmiszerek.

Itt kell megemlítenünk, hogy a tengeri eredetű élelmi-

szer-alapanyagok arzéntartalma ugyan magas (2000 – 20000 $\mu\text{g}/\text{kg}$), de bennük a kifejezetten toxikus szerves arzénvegyületek aránya nem éri el a 10%-ot. A 2. táblázatban néhány arzénvegyület mérgezőségét tüntettem fel patkányokon végzett, szájon át adagolt (p.o.) toxikológiai kísérletben kapott eredmények alapján [23].

2. táblázat. Néhány arzénvegyület p.o. mérgezőségi adatai patkányokon [23].
Table 2 Oral toxicities of selected arsenic compounds in rats [23].

Arzén módosulat / Arsenic form		LD ₅₀ (mg/kg)
As(III)	As(III)	15-42
As(V)	As(V)	20-800
MA(V)	Metil arzenit (V) / Methyl arsenate (V)	700-1800
TETRA	Tetrametil-arzonium ion / Tetramethyl arsonium ion	890
DMA(V)	Dimetil arzenit (V) / Dimethyl arsenate (V)	1200-2600
AC	Arzeno-kolin / Arsenocholine	6500
AB	Arzeno-betain / Arsenobetaine	>10000
TMAO	Trimetil-arzin-oxid / Trimethylarsine oxide	10600

Sugár és munkatársai az ivóvizek vizsgálatát két, jellemzően magyarországi étkezési szokásoknak megfelelő menü speciációs arzén-elemzésével is kiegészítették. Eredményeik alapján egy magyar ember az általa fogyasztott szilárd élelmiszerekkel és 2,5 liter víz elfogyasztásával naponta 80 μg -ot meg nem haladó mennyiségű arzént visz be szervezetébe [21]. Ez az érték alig több mint a Sohárné által közölt, 2008-ból származó adat (150 $\mu\text{g}/\text{nap}/\text{fő}$) fele! Hasonló eredményre jutottak a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszékének munkatársai is, akik a magyarországi arzénbevitelt fejenként napi 100 μg értékűnek becsülték [24].

Sugár és munkatársai [21], valamint Sohárné [23] adataiból is következik, hogy az Európai Unió Tanácsa az ivóvizek megengedhető legmagasabb arzénkoncentrációjának megállapításakor nem vette figyelembe az élelmiszerekkel az ember szervezetébe jutó arzén szerves és szerves vegyületekben

kötött formáinak mennyiségét. Következésképpen az élelmiszerek arzéntartalmára vonatkozó speciációs elemzéseket vélhetően még nem végezték el, vagy nem értékelték ki.

6. Arzén-mérések a WESSLING Hungary Kft. laboratóriumi gyakorlatában

A WESSLING Hungary Kft. laboratóriumi tevékenységének évtizedek óta fontos eleme a különböző környezeti, gyógyszer, élelmiszer és takarmánymin-ták, vizek elemzése. A méréseket tömegszelektív detektorral ellátott induktív csatolású plazma-emissziós spektrométerrel (ICP-MS) hajtottuk végre. Az élelmiszermin-ták roncsolását zárt edényben, mikro-hullámú feltáró készülékben végeztük nyomás- és hőmérséklet-kontroll mellett. Az ivóvíz- és felszín alatti vízminták roncsolására nem volt szükség, mert vizsgálatainkkal az oldott arzéntartalmat kellett meghatározni.

performed in accordance with the prescriptions provided in the instruction manual of the instrument.

During the measurement, the properly prepared sample solution was turned into an aerosol by nebulization, it was then introduced into the inductively coupled plasma by a gas flow, and the components of the samples were vaporized, atomized and ionized there. The resulting ions were introduced into the mass spectrometer through a water-cooled, multi-stage vacuum transfer line, and they were detected after separation according to their mass-to-charge ratios. After performing the appropriate corrections, the signal provided by the detector was proportional to the arsenic concentration of the nebulized sample. Concentration values were calculated by the control and measurement software shipped with the instrument.

6.4. Analytical results

Between January 1, 2006 and June 15, 2014, the arsenic content of more than 1400 water samples, more than 16000 groundwater samples and close to 3000 food samples was determined in the laboratory of WESSLING Hungary Kft., among other things. This means a total of more than 20500 analyses.

The limit of quantitation (LOQ) of the analyses was 0.02 µg/L for drinking waters and groundwaters, and 0.02 mg/kg for foods.

In the present paper, results of the arsenic analyses will be discussed separately for three sample groups:

1. Drinking waters (tap water, well water, bottled drinking water, bottled mineral water),
2. Groundwaters,
3. Foods without drinking water type samples (including liquid juices, syrups, fruit and vegetable preparations as well);

Due to space limitations of the article, detailed deconstruction of the individual sample groups will be omitted, the main objective being for the reader to be able to form a picture of arsenic occurrence in our waters and foods over the last eight years, by reviewing almost 20 thousand analytical results. I would like to note that the data to be presented are for samples taken in Hungary. It is important to emphasize that the analytical results of WESSLING Hungary Ltd. did not arise from representative samplings or monitoring type inspections planned in advance, and so they are not necessarily characteristic of arsenic concentrations that can be measured throughout the country, but I think that, because of their large number, they can provide a certain overview of Hungary's arsenic situation.

Our measurement results are presented both in tabular and graphical forms. In each case, I chose to scale the ordinate axis logarithmically. This was necessary, because there are orders of magnitude differences between the frequency values (number of analytical results) belonging to different concentration ranges, so they could not be presented next to each other on a linear axis. Because of the logarithmic scale of the ordinate axis, „zero” and „one” frequency values cannot be distinguished graphically, but I do not think that this will interfere with the clarity of the figures.

6.4.1. Analytical results of drinking water samples

Analytical results of our drinking water samples in 10 µg/L concentration ranges are shown in **Table 3**, assuming an

LOQ of 0.02 µg/L.

Reviewing the data in **Table 3**, it can be seen that the arsenic content of drinking waters analyzed by us complied with the 10 µg/L maximum contamination value prescribed by the EU Council in 81.69% of the cases. The same package of water samples would satisfy the 50 µg/L limit value, originally in effect in Hungary, in 97.27% of the cases! Of the 1464 samples, arsenic concentrations of only 40 exceeded the original limit value. This represents 2.73% of the total sample number. Values of **Table 3** are also presented in graphical form in **Figure 3**.

Columns of **Figure 3** were marked with different colors according to the different concentration ranges, in order for the arsenic content values of drinking water samples to be viewed easily, starting from the LOQ (medium blue) up to and above the former Hungarian limit value (red).

6.4.2. Analytical results of ground water samples

Analytical results of groundwater samples divided into 10, 100 and 1000 µg/L ranges are summarized in **Table 4**, which is presented in graphical form in **Figure 4**. Similarly to **Figure 3**, frequencies (sample numbers) of samples containing arsenic in quantities not exceeding 50 µg/L were marked with different colors in **Figure 4**. Again, it is worth noting that, with respect to their arsenic contamination, 71.44% of all groundwater samples would satisfy the EU regulation for drinking water, i.e., their arsenic content remains below 10 µg/L. In addition, 88.86% of samples would satisfy the 50 µg/L Hungarian limit value that was in effect prior to adopting the EU limit value. Let us remember that groundwater samples are not necessarily for drinking water purposes, but they come from different due diligence audits or site assessments, sometimes preceding remediation. **Figure 4** shows that analytical results of arsenic content determinations are grouped together around four typical concentration ranges:

- <LOQ (0.02 µg/L As) – 6138 samples
- 100 to 200 µg/L As value – 448 samples
- 1000 to 2000 µg/L As value – 164 samples
- >10000 µg/L As – 23 samples

It seems that the vast majority of our groundwater samples would satisfy EU requirements in terms of arsenic content. Of course, this is not true for waters coming from more contaminated industrial areas. It can also be concluded that really frightening arsenic concentrations – ones that are presumably due to some kind of industrial contamination or waste deposition event – caused water contaminations that can be classified into three typical concentration ranges, with less severe, medium and extremely high values. Since speciation analysis of the arsenic content of waters was not performed, our data only show the „elemental” arsenic content of the samples, with no knowledge of the nature of the chemical bond of arsenic.

6.4.3. Analytical results of food samples

Due to the extended food analytical activity of our laboratory, many types of foods were analyzed over the past few years. Because of the space limitations of the present article, evaluation of the analytical results of the arsenic content measurements of different food matrices cannot be performed separately, risking that the general validity of the statements put forth below will be somewhat reduced. Nevertheless, this statement does not hold true for the different water samples discussed above.

6.1. Élelmiszerminták előkészítése az elemanalitikai vizsgálatokhoz

Vízben oldódó minták esetén, ha nem szükséges a minta széntartalmának csökkentése, a minta előkészítés egyszerű hígításból és szűrésből áll. Általában 5 g mintát oldottunk fel 50 mL végtérfogatra ioncserélt vízzel. A roncsoláshoz 5,00 mL mintát mértünk be, amelyhez 4,6 mL ioncserélt vizet és 0,2 mL 65%-os, higanymentes salétromsavat adagoltunk a roncsolócsőbe.

Ha a mintát roncsolni kellett, és lehetett (a zárt mikrohullámú feltáráshoz alkalmas vegyületek listája a mikrohullámú roncsoló használati utasítása tartalmazza), akkor az alábbiak következők szerint jártunk el:

A roncsolásokat legalább két párhuzamos minta bemérésével végeztük úgy, hogy a mintához 5 mL 65%-os, higanymentes salétromsavat adtunk. A bemért minta mennyiségét a mikrohullámú roncsolás során megengedhető maximális széntartalom szabta meg, így általában 200 mg széntartalommal egyenértékű mintát mértünk be a roncsolócsőbe. Ez a legtöbb élelmiszer esetében 0,4 g körüli mennyiség volt. Bizonyos élelmiszerfajtákból, mint például ivólevelek, üdítőitalok esetében 1-2 g volt a bemérés. A bemért minta nedvességtartalmától függően vizet adagoltunk a mintákhoz úgy, hogy a minta és a hozzáadott ioncserélt víz összes térfoga 5 mL-t tegyen ki. A roncsolás 400 és 800 W közötti teljesítménnyel végeztük 10 perc energiaközlés, majd 15 percen pihentetési idő alkalmazásával. Egy roncsolási ciklus kb. 30 perc alatt ment végbe. Ha a roncsolás után a kapott oldat zavaros maradt, vagy fel nem oldott részek voltak láthatóak benne, a roncsolást 1 mL 30%-os hidrogén-peroxid hozzáadásával újra elvégeztük. A roncsolóedények felbontása után a roncsolt minták térfogatát 50,0 mL-re állítottuk be.

A kalibrációt Merck-Millipore ICP Multi Element Standard Solution (XVI (FR0119) 100 mg/l As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, V, Zn 1 M HNO₃-ban (katalógusszám: 1094870100)) készítmény hígításából készült kalibrációs oldatokkal végeztük. Az arzén méréséhez alkalmazott kalibrációs koncentrációk rendre: 5, 10, 20 és 100 µg/L voltak.

Belső sztenderdként Meinhard ICP-MS Internal Standard Solution 2 (Ge, In, Lu, Rh, Sc, Ta & Y 100 mg/L) oldatot alkalmaztunk 50-szeres hígításban.

A meghatározásokat az EPA Method 200.8 [25], EPA Method 6020A [26] és EPA Method 6010C [27] módszerleírások alapján hajtottuk végre.

Méréseink során a visszanyerést spike-olt minták elemzésével ellenőriztük. Csak azok a mérési eredményeket fogadtuk el, ahol a mintához adott arzén visszanyerése meghaladta a 80%-ot.

6.2. Vízminták előkészítése az elemanalitikai vizsgálatokhoz

A vízminták arzéntartalmának meghatározását az MSZ 1484-3:2006 [28], MSZ EN ISO 11885:200 [29], MSZ EN ISO 17294-2:2005 [30] számú szabványok és az EPA Method 6010C [25], illetve EPA Method 200.8 [27] számú módszerleírások alapján végeztük.

Az ivóvizek és felszín alatti vizek esetében a mintavétel helyszínén a mintákat 0,45 µm pórusátmérőjű membránszűrő lapon megszürtük, mivel vizsgálati anyagoknak az oldott elemtartalom meghatározása volt a célja. Mintáinkat 100 mL-enként 0,5 mL, 65%-os, higanymentes salétromsavval tartósítottuk. Ezt követően a mintákból megfelelő hígítást készítettünk. Az arzén meghatározásához 2-szeres illetve 5-szörös hígítást alkalmaztunk. A mérésekhez egyenként 40 mL hígított mintát használtunk fel, amelyhez 5 mL 65%-os, higanymentes salétromsavat adtunk. Minden egyes hígításból két-két párhuzamos analitikai mintát készítettünk elő, amelyek közül az egyiket 1 mL, ismert koncentrációjú (5 mg/L) As-oldattal spike-oltunk a visszanyerés ellenőrzése végett, majd az után állítottuk be a végső, 50 mL-es mintatérfogatot.

Ha a két hígítás (2-szeres és 5-szörös) párhuzamos eredményei egymáshoz képest 10%-nál nagyobb eltérést mutattak, az előkészítést és a mérést megismételtük.

Minden mérési sorozatban készítettünk minta-előkészítési vak oldatokat is az edényzet és a használt eszközök tisztaságának ellenőrzése végett.

6.3. Az előkészített minták mérése

A vízminták arzéntartalmának méréseit egy Perkin Elmer NexION 300D ICP-MS készülékkel végeztük. A mérési paraméterek beállításánál a műszer gépkönyvében megadott előírások betartásával jártunk el.

A mérés során a megfelelően előkészített mintaoldatot porlasztással aeroszollá alakítva, gázárammal juttattuk az indukzív csatolású plazmába, amelyben a minta komponensei elpárologtak, atomizálódtak, ionizálódtak. A keletkező ionokat vízűtéssel ellátott, többlépcsős vákuumos átmeneten keresztül vezettük a tömegspektrométerbe, ahol a tömeg/töltés arányuk alapján elkülönítve detektáltuk őket. A detektor által szolgáltatott jel a megfelelő korrekciók elvégzése után arányos volt a bepórlasztott minták arzén koncentrációjával. A koncentrációértékeket a berendezéshez szállított vezérlő és mérő szoftver számította ki.

6.4. Mérési eredmények

A WESSLING Hungary Kft. laboratóriumában 2006. január 1. és 2014. június 15. között több mint 1400 db ivóvízmintában, több mint 16000 db felszín alatti vízmintában és közel 3000 db élelmiszermintában vizsgáltuk meg az arzéntartalmat. Ez összesen több mint 20500 db elemzést jelent.

Analytical results of arsenic content measurements of food samples divided into 0.1, 10 and 5 mg/kg ranges are summarized in **Table 5**. Data are presented in graphical form in **Figure 5**. Since, with the exception of drinking water, there is no limit value in effect for foods within the European Union, arsenic concentrations measured by us can mainly provide the basis for the evaluation of the arsenic load of the Hungarian food industry.

In 89.21% of the 2971 food samples analyzed by us, arsenic concentrations were below the limit of quantitation (LOQ < 0.02 mg/kg), i.e., the presence of arsenic could not be detected. This information is indicated in **Figure 5** with blue color. Arsenic contents exceeding 1 mg/kg were observed in the case of 29 samples. This is less than 1% of the total number of samples analyzed.

7. Conclusions

I was inspired to write the present paper by the introduction in Hungary of the regulatory obligation of the EU Council. Knowing the different segments of the food safety situation in Hungary, when speaking with my colleagues, we had the feeling that the arsenic limit value of 10 µg/L for drinking waters [17], with a mandatory validity starting from December 26, 2012, is too strict.

For this reason I started to study the analytical results of drinking water, groundwater and food samples analyzed in the laboratory of WESSLING Hungary Ltd. for arsenic.

When processing the data, I came across the arsenic speciation analysis data of Sugár et al. [21]. Based on the results of their research and our own analytical results it can be stated with high certainty that there are very few areas in Hungary where arsenic load – mostly coming from drinking water – is a real danger, presumably only in the regions where the water extraction works indicated with black circles in **Figure 2** are located [20]. Arsenic content of our other foods is very low.

I must emphasize that the analytical results of WESSLING Hungary Ltd. do not come from systematically planned samplings aimed at a nationwide survey. Samples were brought to the laboratory based on the decisions of customers contacting us. Nevertheless, I believe that the overall picture of the *large number* of the above described analytical results – taking into account food safety considerations as well – would be reassuring, even if the arsenic concentrations measured by us were only for inorganically bound atoms. However, we know that this is not the case, because, according to data provided to me by Mrs. Sohár [23], only 10% of the arsenic content of seafood is bound inorganically. Since we do not have speciation analysis data for foods of non-marine origin, let us assume that 50% of the arsenic content of domestic foods is bound organically and 50% is bound inorganically. Even proposing this hypothesis, which is less strong compared to seafood, the Hungarian situation can be considered more reassuring.

Of course, arsenic intake with foods still have to be monitored closely, because we should not forget that this element can cause irreversible health consequences in the individuals concerned when entering the food chain in concentrations higher than can be measured in Hungary, especially when bound inorganically.

8. Acknowledgement

I would like to thank the work of the Elemental Analysis Group of the Environmental Protection Business Unit of WESSLING Hungary Ltd., who made processed arsenic measurement result available using ICP-MS technique. The Head of the Group is *István Lakos*. I would also like to thank the support of the Laboratory of the Food Safety Business Unit of WESSLING Hungary Ltd. My special thanks goes to *Mrs. Sohár*, who provided useful advice, based on her experience of several decades in the area of food toxicology, and also valuable data.



A kép illusztráció / The picture is illustration

Az elemzések alsó méréshatára ivóvizek és felszín alatti vizek esetében 0,02 µg/L, élelmiszerek esetében pedig 0,02 mg/kg volt.

Jelen dolgozatomban az arzén-mérések eredményeit három mintacsoportra vonatkoztatva fogom tárgyalni:

1. Ivóvizek (csapvíz, kútvíz, palackozott ivóvíz, palackozott ásványvíz),
2. Felszín alatti vizek,
3. Szilárd és folyékony élelmiszerek az ivóvíz jellegű minták nélkül;

A cikk terjedelmének korlátai miatt az egyes mintacsoportok részletes felbontásától eltekintek, célom főként az, hogy az olvasó képet alkothasson a közel 20 ezer mérési eredmény áttekintése révén az arzén előfordulásáról vizeinkben és élelmiszereinkben az elmúlt 8 esztendő időtartama alatt. Jelzem, hogy az alább bemutatandó adatok magyarországi mintákra vonatkoznak. Fontosnak érzem hangsúlyozni, hogy a WESSLING Hungary Kft. vizsgálati adatai nem reprezentatív mintavételből, nem tervezett monitoring jellegű ellenőrzésekből származnak, így azok nem

szükségszerűen jellemzőek az egész ország területén mérhető arzén-koncentrációkra, de úgy vélem, nagy számuk miatt mégis adhatnak bizonyos áttekintést hazánk arzén-helyzetére.

Mérési eredményeinket táblázatos és grafikus formában is bemutatom. A grafikonok ordináta tengelyeit minden esetben logaritmusos beosztásúaknak választottam. Erre azért volt szükség, mert az egyes koncentráció-tartományokhoz tartozó gyakoriság értékek (mérési eredmények darabszámai) között nagyságrendi eltérések vannak, így lineáris tengelyen nem volnának egymás mellett ábrázolhatóak. A logaritmusos skálájú ordináta tengely miatt a „nulla” és „egy” gyakoriság-értékek grafikusán nem különíthetők el, de úgy vélem, ez a tény az ábrák érthetőségét nem zavarja meg.

6.4.1. Ivóvízmintáink mérési eredményei

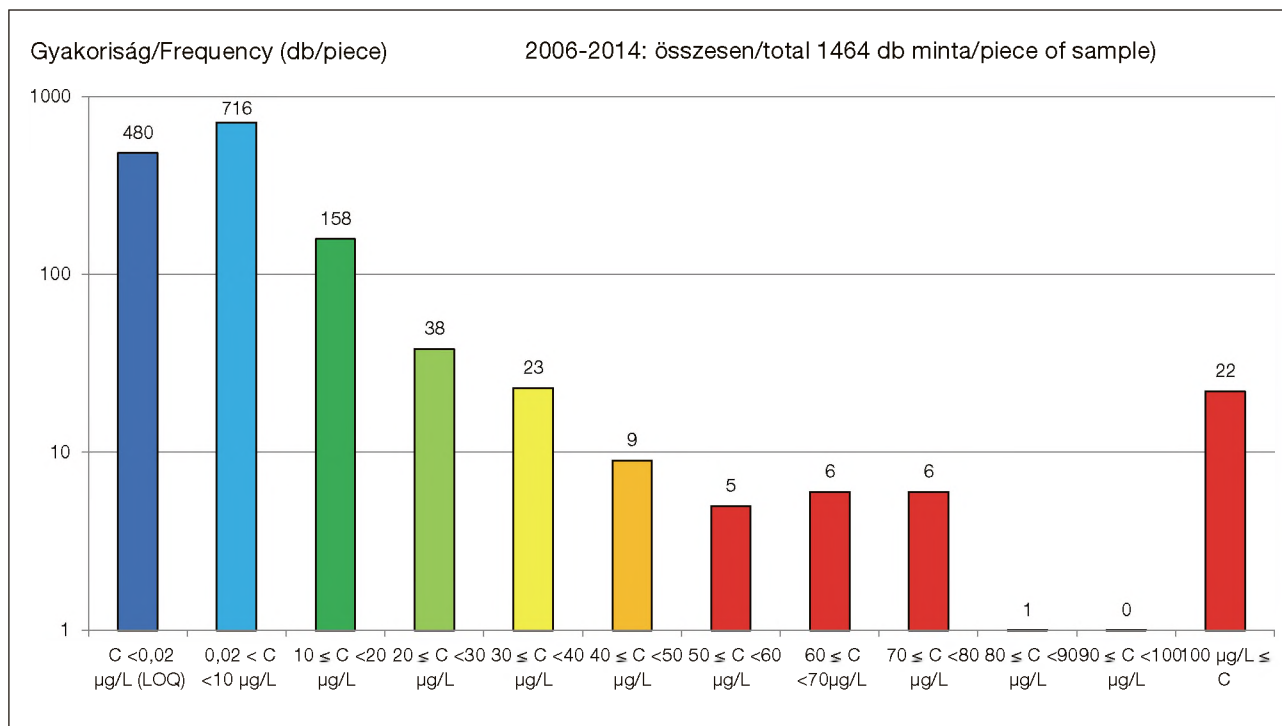
Ivóvízmintáink mérési eredményeit 10 µg/L-es koncentráció-tartományokra bontva a **3. táblázat** tartalmazza 0,02 µg/L alsó méréshatárt feltételezve.

3. táblázat. Ivóvizek arzéntartalma eredményeinek („C”) megoszlása 10 µg/L-es tartományokban
Table 3 Arsenic content distribution of drinking waters („C”) in 10 µg/L ranges

Minták db-száma No. of samples	Koncentráció-tartományok Concentration ranges	Százalékos megoszlás Percentage distribution	Egyéb megjegyzés Other comment
1464	Összes ivóvízminta / All drinkingwater samples	100%	-
480	C<0,02 µg/L (LOQ)	32,79%	-
716	0,02< C <10 µg/L	48,91%	81,69%
158	10≤ C <20 µg/L	10,79%	-
38	20≤ C <30 µg/L	2,60%	-
23	30≤ C <40 µg/L	1,57%	-
9	40≤ C <50 µg/L	0,61%	97,27%
5	50≤ C <60 µg/L	0,34%	-
6	60≤ C <70µg/L	0,41%	-
6	70≤ C <80 µg/L	0,41%	-
1	80≤ C <90 µg/L	0,07%	-
0	90≤ C <100 µg/L	0,00%	-
22	100 µg/L ≤ C	1,50%	Tartomány / Range: 104-626 µg/L

A **3. táblázat** adatait áttekintve látható, hogy az általunk vizsgált ivóvizek arzéntartalma 81,69%-ban megfelelt az EU Tanácsa által előírt 10 µg/L maximális szennyezettségnek. Ugyanezen vízminta-csomag az eredetileg Magyarországon érvényes 50 µg/L-es

határértéknek 97,27%-ban felelne meg! Az 1464 db mintából 40 db arzénkoncentrációja haladta meg az eredeti határértéket. Ez az összes mintaszám 2,73%-át teszi ki. A **3. táblázat** értékeit a **3. ábra** grafikus formában is bemutatja.



3. ábra. Ivóvizek arzéntartalma eredményeinek („C”) megoszlása 10 µg/L-es tartományokban
Figure 3 Arsenic content distribution of drinking waters („C”) in 10 µg/L ranges

A **3. ábra** oszlopait a különböző koncentráció-tartományoknak megfelelően külön színnel jelöltem ab-ból a célból, hogy az ivóvízminták arzéntartalmának értékeit az alsó méréshatártól (középkék) kezdve az egykori magyar határértékig és azon felül (piros) jól áttekinthetőek legyenek.

6.4.2. Felszín alatti vízmintáink mérési eredményei

A felszín alatti vízminták mérési eredményeit 10, 100, illetve 1000 µg/L-es tartományokra osztva a **4. táblázatban** foglaltam össze, amelyeket a **4. ábrán** grafikusán is ábrázoltam. A **4. ábrán** a **3. ábrával** megegyező módon külön színekkel jelöltem az 50 µg/L-nél nem nagyobb arzént tartalmazó minták gyakoriságát (minták darabszámát). Itt is érdemes megemlíteni, hogy az összes felszín alatti vízminta arzén-szennyezettségét tekintve 71,44%-ban felel meg az EU ivóvizekre kiadott korlátozó előírásának, ugyanis arzéntartalmuk 10 µg/L alatt maradt. A minták 88,86%-a pedig megfelelt az EU határérték átvételét megelőző magyar, 50 µg/L-es határértéknek. Ne felejtjük el, hogy a felszín alatti vízminták nem szükségszerűen ivóvíz célját szolgálták, hanem különböző, esetenként bizonyos kármentesítési eljárást

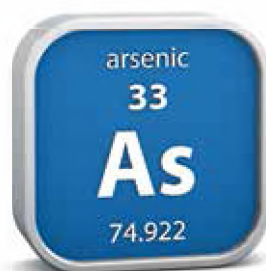
megelőző állapotfelmérésből, tényfeltárásból származó minták voltak. A **4. ábrán** megfigyelhető, hogy az arzéntartalom mérési eredményei négy jellemző koncentráció-tartomány körül csoportosulnak:

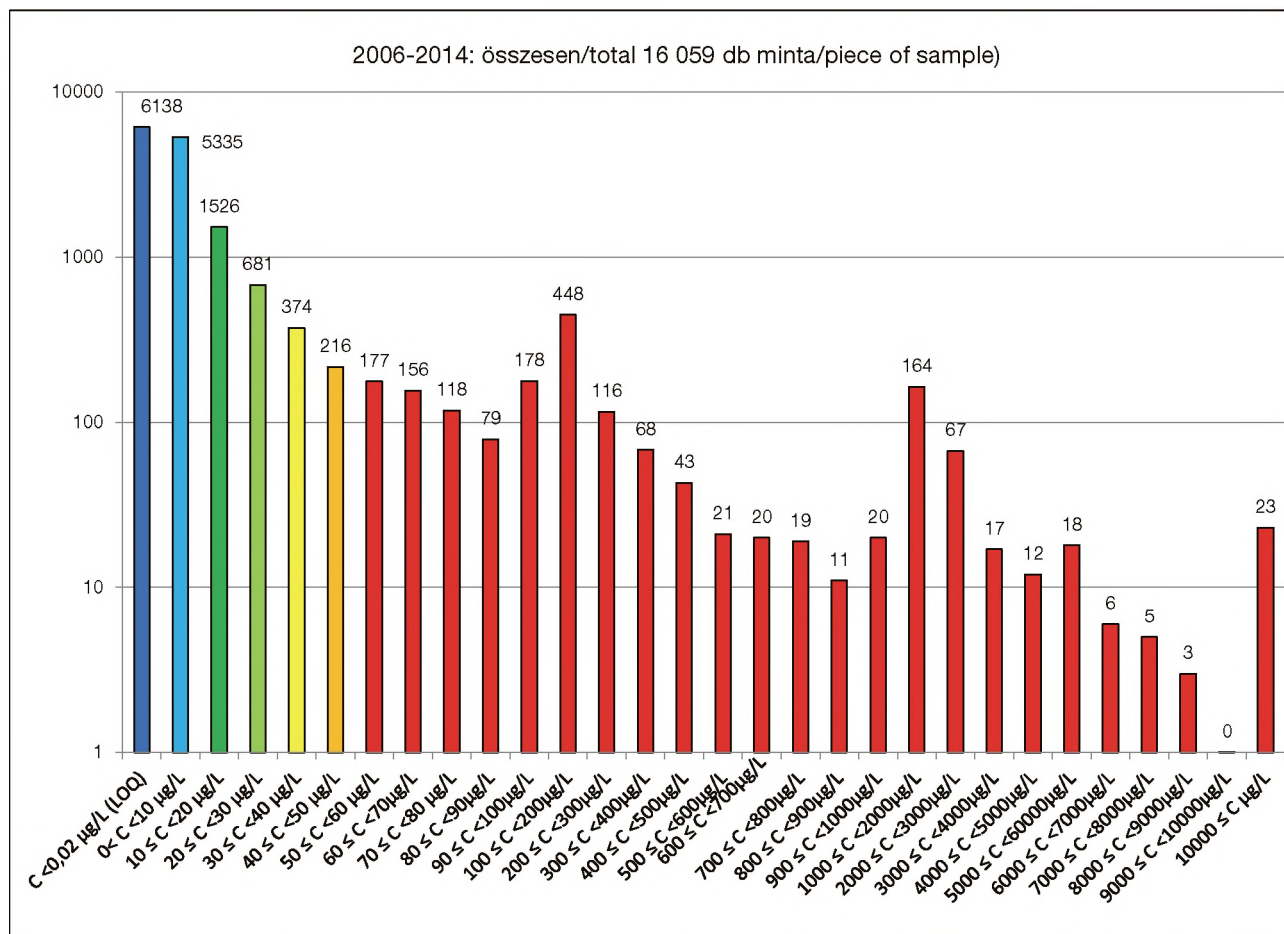
- <LOQ (0,02 µg/L As) – 6138 db minta
- 100 és 200 µg/L As közötti érték – 448 db minta
- 1000 és 2000 µg/L As közötti érték – 164 db minta
- ≥10000 µg/L As – 23 db minta

Úgy tűnik, hogy felszín alatti vízmintáink túlnyomó többsége az arzéntartalom tekintetében kielégítene az EU követelményeit is. Természetesen, a szennyezettebb ipari területekről származó vizekre ez az állítás nem igaz. Azt a következtetést is levonhatjuk, hogy az igazán ijesztő mértéket meghaladó arzén-koncentrációk – feltehetően valamilyen ipari szennyezés, vagy hulladéklerakási esemény következtében – három jellemző koncentráció-tartományba sorolható vízszennyezést idéztek elő egy kevésbé súlyos, egy közepes és egy kiugróan nagy értékkel. Mivel a vizek arzéntartalmának speciációs elemzését nem végeztük el, adataink kizárólag az „elemi” arzén mennyiségére vonatkoznak az arzén kémiai kötéseinek ismerete nélkül.

4. táblázat. Felszín alatti vízminták arzéntartalma eredményeinek („C”) megoszlása
10, 100, illetve 1000 µg/L-es tartományokban
Table 4 Arsenic content distribution of groundwaters („C”) in 10, 100 and 1000 µg/L ranges

Minták db-száma No. of samples	Koncentráció-tartományok Concentration ranges	Százalékos megoszlás Percentage distribution	Egyéb megjegyzés Other comment
16059	Összes felszíni vízminta All groundwater samples	100%	-
6138	C < 0,02 µg/L (LOQ)	38,22%	-
5335	0,02 ≤ C < 10 µg/L	33,22%	71,44%
1526	10 ≤ C < 20 µg/L	9,50%	-
681	20 ≤ C < 30 µg/L	4,24%	-
374	30 ≤ C < 40 µg/L	2,33%	-
216	40 ≤ C < 50 µg/L	1,35%	88,86%
177	50 ≤ C < 60 µg/L	1,10%	-
156	60 ≤ C < 70 µg/L	0,97%	-
118	70 ≤ C < 80 µg/L	0,73%	-
79	80 ≤ C < 90 µg/L	0,49%	-
178	90 ≤ C < 100 µg/L	1,11%	-
448	100 ≤ C < 200 µg/L	2,79%	-
116	200 ≤ C < 300 µg/L	0,72%	-
68	300 ≤ C < 400 µg/L	0,42%	-
43	400 ≤ C < 500 µg/L	0,27%	-
21	500 ≤ C < 600 µg/L	0,13%	-
20	600 ≤ C < 700 µg/L	0,12%	-
19	700 ≤ C < 800 µg/L	0,12%	-
11	800 ≤ C < 900 µg/L	0,07%	-
20	900 ≤ C < 1000 µg/L	0,12%	-
164	1000 ≤ C < 2000 µg/L	1,02%	-
67	2000 ≤ C < 3000 µg/L	0,42%	-
17	3000 ≤ C < 4000 µg/L	0,11%	-
12	4000 ≤ C < 5000 µg/L	0,07%	-
18	5000 ≤ C < 6000 µg/L	0,11%	-
6	6000 ≤ C < 7000 µg/L	0,04%	-
5	7000 ≤ C < 8000 µg/L	0,03%	-
3	8000 ≤ C < 9000 µg/L	0,02%	-
0	9000 ≤ C < 10000 µg/L	0,01%	-
23	10000 ≤ C µg/L	0,14%	-





4. ábra. Felszín alatti vizek arzéntartalma eredményeinek („C”) megoszlása 10, 100, illetve 1000 µg/L-es tartományokban
 Figure 4 Arsenic content distribution of groundwaters („C”) in 10, 100 and 1000 µg/L ranges

6.4.3. Élelmiszermintáink mérési eredményei

Laboratóriumunk kiterjedt élelmiszeranalitikai tevékenysége folytán sokféle élelmiszertípus vizsgálatára került sor az elmúlt esztendőkből. Jelen dolgozatomban korlátozott terjedelme miatt nem térhetek ki külön-külön az egyes élelmiszer-mátrixok arzéntartalma mérési eredményeinek elemzésére, vállalva azt, hogy ezzel csökken az alább leírt állítások általános érvénye.

Az élelmiszerminták arzéntartalmának mérési eredményeit az **5. táblázatban** közlöm 0,1, 10 és 5 mg/kg-os tartományokra osztva. Adatainkat az **5. ábrán**,

a következő oldalon grafikus formában is megjeleníttem. Mivel az Európai Unió területén az ivóvíz kivételével az élelmiszerekre egyelőre nem rendelkezünk érvényes határértékekkel, az általunk mért arzén-koncentrációk főként a magyar élelmiszer-ágazat arzén-terhelésének megítélésére adhat némi alapot.

Az általunk vizsgált 2971 db élelmiszer 89,20%-ában az alsó méréshatár (LOQ < 0,02 mg/kg) alatti arzéntartalommal találkoztunk, vagyis az arzén jelenlétét nem tudtuk kimutatni. Ezt az adatot az **5. ábrán** kék színű oszloppal jelöltem. 1 mg/kg-ot meghaladó arzéntartalmat 29 db mintánál észleltünk. Ez az összes vizsgált minták mennyiségének nem egészen 1%-a.



5. táblázat. Élelmiszermintáink arzéntartalma eredményeinek („C”) megoszlása
0,1, 10, illetve 5 mg/kg-os tartományokban
Table 5 Arsenic content distribution of our food samples („C”) in 0.1, 10 and 5 mg/kg ranges

Minták db-száma No. of samples	Koncentráció-tartományok Concentration ranges	Százalékos megoszlás Percentage distribution
2971	Összes élelmiszerminta All food samples	100,00%
2650	C <0,02 mg/kg (LOQ)	89,20%
43	0,02 ≤ C <0,10 mg/kg	1,45%
113	0,10 ≤ C <0,20 mg/kg	3,80%
72	0,20 ≤ C <0,30 mg/kg	2,42%
22	0,30 ≤ C <0,40 mg/kg	0,74%
13	0,40 ≤ C <0,50 mg/kg	0,44%
6	0,50 ≤ C <0,60 mg/kg	0,20%
7	0,60 ≤ C <0,70 mg/kg	0,24%
3	0,70 ≤ C <0,80 mg/kg	0,10%
0	0,80 ≤ C <0,90 mg/kg	0,00%
1	0,90 ≤ C <1,00 mg/kg	0,03%
5	1,00 ≤ C <1,10 mg/kg	0,17%
5	1,10 ≤ C <1,20 mg/kg	0,17%
0	1,20 ≤ C <1,30 mg/kg	0,00%
1	1,30 ≤ C <1,40 mg/kg	0,03%
3	1,40 ≤ C <1,50 mg/kg	0,10%
4	1,50 ≤ C <1,60 mg/kg	0,13%
1	1,60 ≤ C <1,70 mg/kg	0,03%
2	1,70 ≤ C <1,80 mg/kg	0,07%
1	1,80 ≤ C <1,90 mg/kg	0,03%
1	1,90 ≤ C <2,00 mg/kg	0,03%
2	2,00 ≤ C <5,00 mg/kg	0,07%
1	5,00 ≤ C <10,0 mg/kg	0,03%
3	10,00 ≤ C	0,10%

7. Következtetések

Jelen dolgozatomban megírására az EU Tanácsának rendeleti kötelezettségének magyarországi bevezetése ösztönzött. Ismervén Hazánk élelmiszerbiztonsági helyzetének egyes szegmenseit, kollégáimmal beszélgetve az az érzésünk támadt, hogy a 2012. december 26-tól kötelezően érvényes, az ivóvizekre vonatkozó 10 µg/L-es arzén határérték [17] túlzottan szigorú.

Ennek okán fogtam hozzá a WESSLING Hungary Kft. laboratóriumában vizsgált ivóvíz-, felszín alatti víz- és élelmiszerminták arzénre vonatkozó analitikai eredményeinek tanulmányozásához.

Az adatok feldolgozása közben ismertem meg Sугár és munkatársai arzén speciációs elemzési ada-

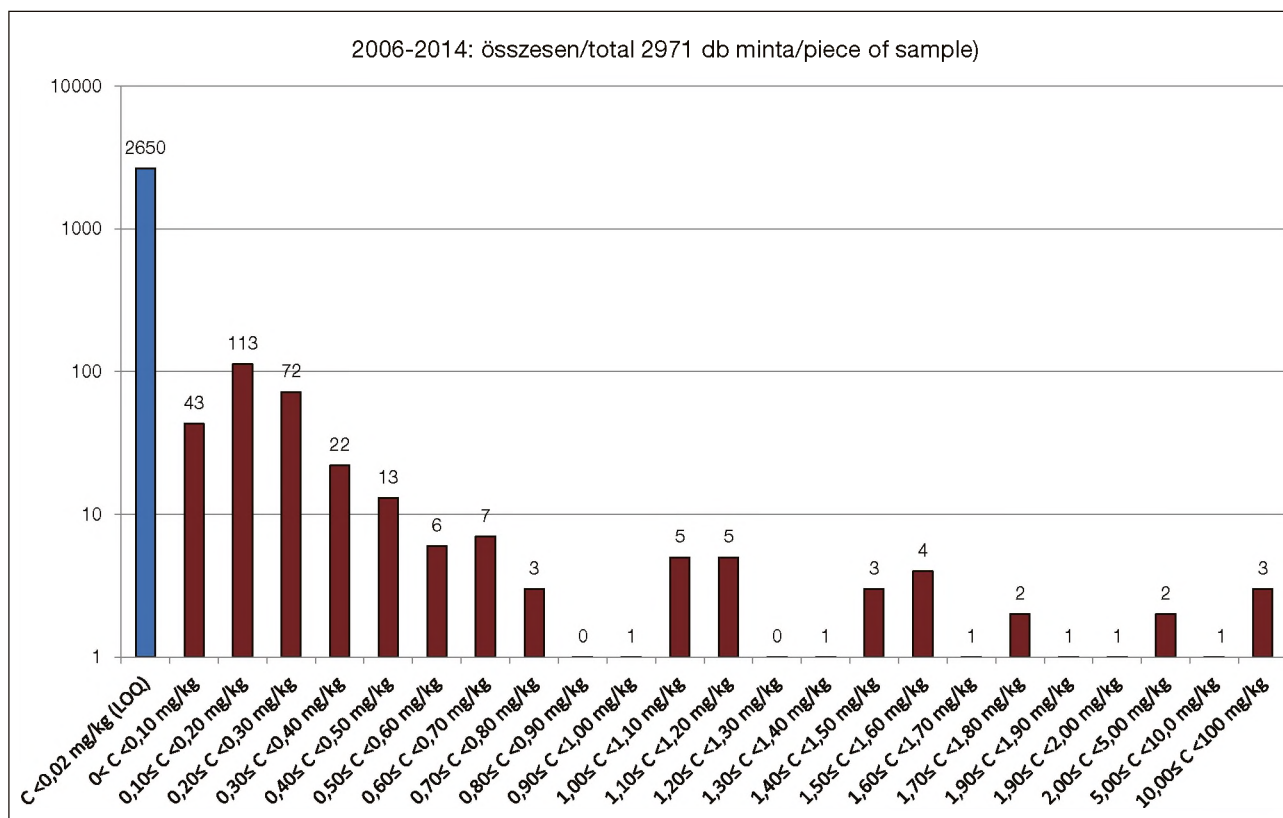
it [21]. Az ő kutatási eredményeik és saját mérési eredményeink alapján nagy valószínűséggel állítható, hogy Magyarországon csak elvétve kell – főként az ivóvízzel felvett – arzénterheléstől tartani, valószínűleg azokon a területeken, ahol a 2. ábrán látható fekete körökkel jelzett vízkivételi művek helyezkednek el [20]. Egyéb élelmiszereink arzéntartalma kifejezetten alacsony.

Hangsúlyoznom kell, hogy a WESSLING Hungary Kft. mérési eredményei nem rendszerszerű, országosan tervezett felmérést célzó mintavételekből származnak. A minták a hozzánk forduló ügyfelek saját elhatározása alapján kerültek a laboratóriumba. Ennek ellenére úgy vélem, hogy a fentebb ismertetett nagyszámú vizsgálati eredmény összképe – élelmiszerbiztonsági megfontolásokat is figyelembe véve – megnyugtató volna akkor is, ha az általunk mért

arzénkoncentrációk kizárólag szervesen kötött atomokra vonatkoznak. Tudjuk azonban, hogy ez nem így van, hiszen a Sohár Pálné által rendelkezésemre bocsátott adatok szerint [23] a tengeri élőlényekből származó élelmiszerek arzéntartalmának alig 10%-a található szervesen kötött állapotban. Mivel nem rendelkezünk a nem tengeri eredetű élelmiszerek arzénre vonatkozó speciációs felmérési adataival, tételezzük fel, hogy a hazai élelmiszerek arzéntartalma 50%-ban szerves és 50%-ban szervesen kötött állapotban. Ezzel a tengeri élelmiszerekhez képest kevésbé

szigorú hipotézissel élve is, a magyarországi helyzetet még megnyugtatóbbnak ítélnénk.

Az élelmiszerek révén az arzénbevitelt természetesen továbbra is folyamatosan kell ellenőrizni, hiszen arról nem szabad megfeledkezni, hogy ez az elem a hazainál mérhető nagyobb koncentrációban, főként szervesen kötött állapotban az élelmiszerláncba jutva jótételező egészségügyi következményeket válthat ki az érintett egyéneknél.



5. ábra. Élelmiszermintáink arzéntartalma eredményeinek („C”) megoszlása 0,1, 10, illetve 5 mg/kg-os tartományokban
 Table 5 Arsenic content distribution of our food samples („C”) in 0.1, 10 and 5 mg/kg ranges

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki a WESSLING Hungary Kft. Környezetvédelmi Üzletága Elemanalitikai Csoportjának munkájáért, akiknek köszönhetően a feldolgozott, ICP-MS technikával kapott arzénmérési adatok elkészülhettek. A Csoport vezetője Lakos István. Köszönöm a WESSLING Hungary Kft. Élelmiszerbizton-

sági Üzletága Laboratóriuma támogató segítségét is. Külön köszönetemet fejezem ki Dr. Sohár Pálnénak, aki sok évtizedes élelmiszer-toxicológiai munkássága tapasztalatai alapján hasznos tanácsokkal szolgált és értékes adatokat biztosított számomra.

Irodalom / References

- [1] Huby, P. (2007): Theophrastus of Eresus. Sources for His Life, Writings, Thought and Influence. *Philosophia Antiqua*, Vol. **103** Theophrastus of Eresus.
- [2] Grant, E. editor (1974): *A Source Book in Medieval Science*, Cambridge, Mass.
- [3] Emsley, J. (2001): *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford: Oxford University Press. pp. 43, 513, 529.
- [4] Weeks, M. E. (1968): *Discovery of the Elements*, comp. rev. by Henry M. Leicester (Easton, Pa.: *Journal of Chemical Education*, 1968), pp. 92-95.
- [5] Alam, M.G., Allinson, G., Stagnitti, F., Tanaka, A., Westbrooke, M. (2002): Arsenic contamination in Bangladesh groundwater: a major environmental and social disaster. *Int J Environ Health Res.* 2002. (12) p. 235-53.
- [6] Frumkin, H. director (2007): *Toxicological Profile for Arsenic*. Public Health Service. U.S. Department Of Health And Human Services Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Division of Toxicology and Environmental Medicine/Applied Toxicology Branch. p. 1-7.
- [7] Prokisch, J. (2010): Vigyázat, mérég! Az öt legveszélyesebb mérgező fém a környezetünkben: arzén, ólom, higany, kadmium és króm(VI). Dr. Aliment Kft. 2010. Debrecen. pp. 6. és 14-17.
- [8] Móricz, Zs. (1930): *Tiszazugi mérgekkeverők*. Nyugat 1930. 3. szám.
- [9] Jolliffe, D. M. (1993): A history of the use of arsenicals in man. *Journal of the Royal Society of Medicine* **86** (5): 287-289.
- [10] Gibaud, S., Jaouen, G. (2010): Arsenic - based drugs: from Fowler's solution to modern anticancer chemotherapy. *Topics in Organometallic Chemistry* 32. p. 1-20.
- [11] Zhu, J.; Chen, Z.; Lallemand-Breitenbach, V.; de Thé, H. (2002): How acute promyelocytic leukaemia revived arsenic. *Nature Reviews Cancer* **2** (9) p. 705-714.
- [12] Klaassen, C., Watkins, J. (2003): *Casarett and Doull's Essentials of Toxicology*. McGraw-Hill. p. 512.
- [13] Singh, A.P., Goel, R.K., Kaur, T. (2011): Mechanisms Pertaining to Arsenic Toxicity. *Toxicol Int.* **18** (2): 87-93.
- [14] Griffin, J. P. (2004): Venetian treacle and the foundation of medicines regulation. *Br J Clin Pharmacol.* Sep 2004. **58** (3) p. 317-325.
- [15] Sambu, S., Wilson, R. (2008): Arsenic in food and water a brief history. *Toxicology and Industrial Health* 2008, **24** p. 218-219.
- [16] Fügedi, U., Szurkos, G., Vermes, J. (2004): Éghajlatváltozások geokémiai hatásai Magyarország középső és keleti részén. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2004. pp. 65.
- [17] Európai Unió Tanácsa (1988): 98/83/EK irányelv (1998. XI. 3.) az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről.
- [18] Rowland, H.A.L., Omoregie, E.O., Millot, R., Jimenez, C., Mertens, J., Baciu, C., Hug, S.J., Berg, M. (2011): *Geochemistry and arsenic behaviour in groundwater resources of the Pannonian Basin (Hungary and Romania)*. *Applied Geochemistry* **26** (2011) p. 1-17.
- [19] Csalagovits, I. Horváth I. (1999): Arsenic-bearing artesian waters of Hungary. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1992-1993/II.* pp. 85-92.
- [20] Galambos, I. (2006): *Kútvezek huminsav- és arzénmentesítése*. Doktori PhD értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem. p. 30. (benne hivatkozás az ÁNTSZ 2000. évi adataira: <http://www.oki.antsz.hu> - utolsó hozzáférés: 2009. október).
- [21] Sugár, É., Mihucz, V.G., Záray Gy. (2014): *Arzénvizsgálatok ivóvízből és élelmiszerekből*. *Élelmiszer-vizsgálati Közlemények* **60** 2014. 3. p. 163-176.
- [22] Sugár, É., Tatár, E., Záray, Gy., Mihucz, V.G. (2013): Relationship between arsenic content of food and water applied for food processing. *Food and Chemical Toxicology* **62** (2013) p. 606.
- [23] Sohár Pálné (2008): *Élelmiszerek arzén tartalma (előadási anyag)*. Az arzén környezet-geokémiai szerepe" c. ankét, Magyar Tudományos Akadémia. Budapest, 2008. november 18.
- [24] Laky, D. (2012): *Arzén eltávolítása ivóvízből*. Budapesti Műszaki és gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék. Előadás a Magyar Víziközmű Szövetség (MAVIZ) sajtótájékoztatóján 2012. november 20-án.
- [25] EPA (1990): *Method 200.8. Determination Of Trace Elements In Waters And Wastes By Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*. Revision 5.4. EMMC Version.
- [26] EPA (2007): *EPA Method 6020A Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 1 February 2007 (élelmiszerek As - alsó mérés-határ: 0,001-0,1 mg/kg mátrixfüggő)*
- [27] EPA (2007): *EPA Method 6010C Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 3 February 2007 /élelmiszerek As - alsó mérés-határ: 0,001-0,1 mg/kg mátrixfüggő/*
- [28] MSZ 1484-3:2006: *Vízvizsgálat; 3. rész: Az oldott, a lebegőanyaghoz kötött és az összes fémtartalom meghatározása AAS- és ICP-OES módszerrel*
- [29] MSZ EN ISO 11885:2009: *Vízminőség. Egyes kiválasztott elemek meghatározása induktív csatolású plazma ionforrású optikai emissziós spektrometriával*
- [30] MSZ EN ISO 17294-2:2005. *Vízminőség. Az induktív csatolású plazma ionforrású tömegspektrometria (ICP-MS) alkalmazása. 2. rész: 62 elem meghatározása (ISO 17294-2:2003)*. *Water quality. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Part 2: Determination of 62 elements (ISO 17294-2:2003)*.