

Poměry Cd a Zn v potravinách

Zdeněk Blabla

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Zdeněk BLABLA
Osobní číslo: T09307
Studijní program: B 2901 Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Technologie a řízení v gastronomii

Téma práce: Poměry Cd a Zn v potravinách.

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizace prvků Cd a Zn.
2. Výskyt prvků v životním prostředí.
3. Riziko výskytu toxického prvku v potravinách.
4. Význam Zn ve výživě.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. VELÍŠEK, J. Chemie potravin 2. Pelhřimov: OSSIS, 1999.
2. BENCKO, V., M. CIKRT a J. LENER. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. Praha: Grada Publishing, spol. s.r.o., 1995.
3. CIBULKA, J. a kolektiv. Pohyb olova, kadmia a rtuťi v biosféře. Praha: Academia, 1991.
4. GREENWOOD, N. N. a A. EARNSHAW. Chemie prvků. Praha: Informatorium, 1993.
5. JANČA, J. Co nám chybí – kovy, jiné prvky a vitamíny v lidském těle. Praha: EMINENT, 1991.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

6. ledna 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

21. května 2012

Ve Zlíně dne 15. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



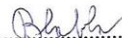

doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně ..18..5...2012



²¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdaním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

²³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na výskyt jednoho z nejtoxičtějších prvků a jednoho esenciálního prvku v životním prostředí a jejich poměr v potravinách. Za toxický prvek je zde uvedeno kadmium a za esenciální zinek. Dále je zde zmíněno o vlivu těchto prvků na lidský organismus.

Klíčová slova: kadmium, zinek, potravinářství, toxický prvek, esenciální prvek

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the occurrence of one of the most toxic and one essential element in the environment and their ratio in food. The toxic element is given here cadmium and as essential zinc. There is also mentioned on the influence of these elements on the human organism.

Keywords: cadmium, zinc, food, toxic element, essential element

Děkuji doc. Ing. Miroslavu Fišerovi, CSc. za pomoc při zpracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1 MINERÁLNÍ LÁTKY	10
1.1 CHARAKTERISTIKA A DĚLENÍ	10
1.1.1 Dělení minerálních látek podle množství.....	10
1.1.2 Dělení podle fyziologického významu v potravinách.....	10
1.2 CHEMIE MINERÁLNÍCH LÁTEK	11
1.3 ESENCIÁLNÍ A TOXICKÉ PRVKY V POTRAVINOVÉM ŘETĚZCI	11
2 KADMIUM	13
2.1 HISTORIE.....	13
2.2 VÝSKYT, VÝROBA, POUŽITÍ	13
2.3 VLASTNOSTI KADMIA	13
2.4 KADMIUM V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ.....	14
2.5 VÝSKYT V PŮDĚ	15
2.6 KONTAMINACE ROSTLIN KADMIEM	16
2.7 TOXICITA PRO ZVÍŘATA.....	18
2.8 METABOLISMUS A TOXICKÉ ÚČINKY	19
3 ZINEK	23
3.1 HISTORIE.....	23
3.2 VÝSKYT, VÝROBA, POUŽITÍ	23
3.3 VLASTNOSTI ZINKU	24
3.4 ZINEK A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	25
3.5 VÝSKYT V PŮDĚ	25
3.6 VÝSKYT V ROSTLINÁCH.....	26
3.6.1 Nedostatek zinku v rostlinách	27
3.6.2 Nadbytek zinku v rostlinách.....	28
3.7 TOXICITA PRO ZVÍŘATA.....	29
3.8 VÝSKYT V LIDSKÉM TĚLE	30
3.9 METABOLISMUS A TOXICKÉ ÚČINKY	30
3.10 VÝZNAM ZINKU VE VÝŽIVĚ	32
4 KADMIUM A ZINEK V POTRAVINÁCH	33
4.1 KADMIUM	33
4.2 ZINEK.....	33
4.3 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY	34
ZÁVĚR	35
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	36
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	39
SEZNAM OBRÁZKŮ	41
SEZNAM TABULEK	42
SEZNAM PŘÍLOH	43

ÚVOD

Znečištění životního prostředí těžkými kovy je výsledkem mnoha lidských aktivit, zejména těžebního a výrobního průmyslu. Vliv těchto znečišťujících látek na ekosystémy má velmi závažné dopady na lidské zdraví. Výskytu těžkých kovů v životním prostředí, ale i ve vstupních surovinách a produktech potravinářského průmyslu je věnována značná pozornost. Kadmium, olovo či chrom patří do skupiny těžkých kovů vyznačujících se vysokou toxicitou. Naopak další velice důležitou skupinu představují esenciální prvky jako je zinek, měď a kobalt, které jsou nepostradatelné pro správnou funkci enzymů v organismech.

Mezi nejsledovanější kontaminanty patří některé kovy, které působí v lidském organismu toxicky. Ionty toxických těžkých kovů jsou schopny vstupovat a narušovat tak mnoho důležitých metabolických procesů probíhajících v živých organismech, což může vést k mnoha závažným chorobám popřípadě i smrti organismu. Například vyšší obsah kadmia negativně působí na sensorické a nutriční vlastnosti potravin a jeho zdrojem je znečištěné životní prostředí člověka.

Kadmium patří mezi několik málo prvků, jejichž vliv na zdravotní stav lidského organismu je jednoznačně negativní. Vykazuje teratogenní a karcinogenní účinky, poškozují pohlavní orgány a má vliv na krevní tlak. Tento těžký prvek je po své chemické stránce velmi podobný zinku, který má pozitivní význam jako složka mnoha enzymů a proteinů. Zinek je po železe druhý nejdůležitější stopový prvek. Je nezbytnou součástí potravy a má důležitou roli pro správný vývoj a zdravotní stav lidského organismu.

1 MINERÁLNÍ LÁTKY

1.1 Charakteristika a dělení

Chemické složení potravin je možné sledovat jako látkové složení, tj. zastoupení jednotlivých sloučenin, nebo jako elementární složení, tj. obsah jednotlivých prvků. Pokud se pomine voda, pak převážnou část hmoty potravin tvoří organické látky. Hlavními konstitučními prvky organických látek jsou uhlík, kyslík, vodík, dusík, fosfor a síra. Těmto prvkům říkáme organogenní prvky. Další chemické prvky obsažené v potravinách označujeme jako minerální látky. Prvky fosfor a síra patří do obou skupin [2].

Minerální látky potravin obvykle definujeme jako prvky obsažené v popelu potraviny nebo přesněji jako prvky, které zůstávají ve vzorku potraviny po úplné oxidaci organického podílu na oxid uhličitý, vodu, aj. Minerální podíl tvoří u většiny potravin 0,5 - 3 hmotnostních procent [2], [14].

Minerální látky lze klasifikovat podle různých kritérií, např. s ohledem na jejich množství, biologický a nutriční význam, účinky ve stravě a původ [2].

1.1.1 Dělení minerálních látek podle množství

Majoritní minerální prvky dříve nazývané makroelementy, které se vyskytují v potravinách ve větším množství, obvykle v setinách až jednotkách hmotnostních procentech (tj. ve stovkách až desetitisících $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a patří k nim Na, K, Mg, Ca, Cl, P a S.

Minoritní minerální prvky, které jsou v potravinách obsaženy v menších množstvích představujících několik desítek až stovek $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Tvoří přechod mezi majoritními a stopovými prvky. Řadí se sem Fe a Zn.

Stopové prvky čili mikroelementy jsou zastoupeny v ještě nižších koncentracích (desítky $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a méně). K potravinářsky důležitým stopovým prvkům patří Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, F, (Fe), Hg, I, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, (Zn).

Rozdělení minerálních látek v potravinách na majoritní, minoritní a stopové prvky zhruba odpovídá i zastoupení těchto prvků v lidském organismu [2], [14], [22].

1.1.2 Dělení podle fyziologického významu v potravinách

Esenciální prvky - nezbytné, které organismus musí přijímat v potravě v určitém množství, aby byly zajištěny důležité biologické funkce, např. stavba biologických struktur, kataly-

tické funkce, regulační funkce, ochranné funkce atd. Mezi esenciální prvky patří všechny majoritní prvky (Na, K, Mg, Ca, Cl, P, S) a řada prvků stopových (Fe, Zn, Cu, I, Mn, Co, Mo, Se, Cr, Si, Ni, F, B).

Neesenciální prvky - fyziologicky indiferentní, či prvky u nichž není dosud známa biologická funkce a nejsou ani výrazně toxické. Do této skupiny patří všechny ostatní chemické prvky v potravinách zastoupené obvykle ve stopách (Li, Rb, Cs, Ti, Au, Sn, Bi, Te, Br). Tyto prvky někdy pravidelně doprovázejí esenciální prvky (např. lithium doprovází sodík a rubidium draslík).

Toxické prvky - ve formě svých sloučenin nebo v elementární formě vykazují toxické účinky. Mechanismus těchto účinků často spočívá v inhibici metabolicky významných enzymů, která je důsledkem interakce toxického prvku s molekulou enzymu. K nejdůležitějším toxickým prvkům v potravinách se řadí Pb, Cd, Hg a As.

Zařazení prvků mezi toxické má jen omezenou platnost, protože z hlediska vztahu dávka - účinek a délky expozice považujeme za toxické všechny prvky, jsou-li přijímány v dostatečně vysoké dávce a po dostatečně dlouhou dobu [2], [8], [22].

1.2 Chemie minerálních látek

Minerální látky obsažené v potravinách interagují s vodou, s přítomnými organickými látkami i navzájem mezi sebou. Tyto interakce pak ovlivňují biologickou využitelnost prvků ve stravě. O chemickém stavu prvku v potravině rozhoduje složení potravy, hodnota pH, možnost hydratace kovových iontů, redoxní potenciál systému a s tím související možnost změny oxidačního stupně prvku a další faktory. V těsném vztahu k resorpci minerálních látek je rozpustnost příslušných chemických individuí. Řada důležitých složek potravin, jako jsou aminokyseliny, peptidy, bílkoviny, sacharidy, lignin, fytová kyselina, organické kyseliny a jiné sloučeniny, může vázat minerální látky a tím ovlivňovat jejich biologickou využitelnost. Z chemického hlediska se studiem interakcí různých prvků s biomolekulami zabývá bioanorganická chemie [2].

1.3 Esenciální a toxické prvky v potravinovém řetězci

V několika posledních desetiletích stoupal zájem řady disciplín o studium účinků prvků na rostliny, živočichy i člověka. Některé prvky jsou ve tkáních v tak nízkých koncentracích, že je nebylo možno dostupnými analytickými metodami měřit s dostatečnou přesností a citlivostí. Z tohoto důvodu bylo udáváno, že se v živých tkáních vyskytují ve stopách, a

byly proto nazvány prvky stopovými. Jejich charakteristickým rysem je výskyt v živočišných, rostlinných i mikrobiálních tkáních ve velmi nízkých koncentracích, které se však liší jak u jednotlivých prvků, tak i u živých organismů [8].

V případě esenciálních prvků, u kterých je v určité populaci konzumentů zjištěn nedostačující příjem potravou, může být rozhodnuto o umělém zvýšení jejich obsahu v některé běžné potravíně. Pokud doplnění hladiny prvku pouze vyrovná jeho ztráty, ke kterým dochází při technologickém zpracování potravinářských surovin, hovoříme o restituci. Je-li zvýšena hladina prvku nad přirozenou koncentraci v dané potravíně jedná se o fortifikaci. V případě fortifikace potraviny lze daný prvek považovat za cizorodou aditivní látku [2].

Nejčastěji sledovanými kontaminanty jsou některé kovy, které působí v lidském organismu toxicky. Některé z nich působí negativně na sensorické vlastnosti potravin a konzument pozoruje zhoršení vzhledu (změna barvy, vznik zákalu). Jiné urychlují oxidaci a snižují tak nutriční hodnotu potravin [6]. Výskyt toxických prvků v potravinách souvisí mimo jiné se znečištěním životního prostředí. Mezi nejdůležitější toxické prvky patří kadmium, olovo, rtuť a arsen. Ke vstupu kontaminantů do potravního řetězce přispívají zdroje antropogenního charakteru a přirozeného původu. Za antropogenní zdroje lze označit spalování fosilních paliv, průmyslovou výrobu kovů, dopravu, použití jednotlivých prvků v průmyslu a technice a s tím související produkce odpadů, nadměrné používání minerálních hnojiv a jiných agrochemikálií, případně aplikace čistírenských kalů do půdy. Mezi přírodní zdroje toxických prvků v životním prostředí patří zvětvávání hornin, lesní požáry a vulkanická činnost [2].

Obsah toxických prvků v potravinách patří mezi hlavní ukazatele hygienicko-toxikologické jakosti. Pro olovo, kadmium, rtuť a arsen jsou stanovena nejvyšší přípustná množství v potravinách všeobecně i konkrétně v jednotlivých skupinách potravin [2]. Výskyt toxických prvků v potravinách je popsán ve vyhlášce č. 305/2004 Sb. Ministerstva zdravotnictví ze dne 6. května 2004, kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách [7].

2 KADMIUM

2.1 Historie

Kadmium bylo objeveno r. 1817 německým chemikem F. Stromeyerem. Všiml si, že jeden vzorek kadmie (rudý známé nyní jako kalamín, smithsonit) používané v blízkých hutích na výrobu zinku byl žlutý místo bílý. Neobvyklé zbarvení nebylo způsobeno přítomností železa (to ve vzorku nebylo zjištěno) [1]. Téměř současně našel Hermann kadmium v jednom vzorku oxidu zinečnatého, jehož roztok poskytoval se sulfanem žlutou sraženinu místo bílé. Proto byl v Magdeburku zabaven pro podezření, že obsahuje arsen. Název kadmium dostal nový prvek podle svého častého výskytu v oxidu zinečnatém [4].

2.2 Výskyt, výroba, použití

Kadmium je 64. nejrozšířenější prvek v zemské kůře [28]. Vzhledem k chemické podobnosti se kadmium vyskytuje v rudách a půdě společně se zinkem v poměru 1:100 až 1:1000. Je také získáváno jako vedlejší produkt při rafinaci zinku a jiných kovů, zejména olova a mědi [8].

Kadmium je jeden z nejlepších pasivačních prostředků v metalurgii [11]. Hlavní použití kadmia je pro tvorbu ochranných povlaků zejména součástí automobilů, letadel, strojů a elektrických přístrojů. Nesmí se používat na předměty, které přicházejí do styku s potravinami. Velice snadno reaguje s kyselinami a rozpustné sloučeniny kadmia jsou silně jedovaté [4]. Pravděpodobně by bylo daleko rozsáhlejší, kdyby nebylo spojené s nebezpečím pro životní prostředí. Kadmium se rovněž používá v malých množstvích do slitin a baterií a některé jeho sloučeniny se používají jako stabilizátory, např. k ochraně PVC před degradací působením ultrafialového či tepelného záření [1].

2.3 Vlastnosti kadmia

Kadmium patří v technickém rozdělení mezi těžké kovy s nízkou teplotou tání. Kadmium (Cd) je bílý, lesklý kov chemicky příbuzný zinku. Na vzduchu se však stává jeho povrch brzy matným tvorbou tenké vrstvy oxidu. Kadmium je poměrně měkké a lze z něho nožem odkrajovat třísky. Je také velmi tažné, takže se dá válcovat na plech a táhnout na drát. Pevnost čistého kadmia je malá, avšak silně stoupá sléváním se zinkem. Kadmium se velmi snadno svařuje [4], [8], [9].

Kadmium se vyskytuje v řadě anorganických i organických sloučenin jako dvojmocný kation. S organickými sloučeninami (např. thiokarbonáty) tvoří komplexy a tato vlastnost je základem pro některé analytické metody stanovení [8], [9].

V silných minerálních kyselinách je kadmium dobře rozpustné za vývoje plynného vodíku. Na vzduchu je kovové kadmium stálé, ale v atmosféře kyslíku je možné jej zapálit za vzniku oxidu kademnatého. Kadmium přechází do ovzduší ve formě těkavých sloučenin již při teplotě 480 °C [18].

Tabulka č. 1: Vybrané vlastnosti kadmia [1], [18]

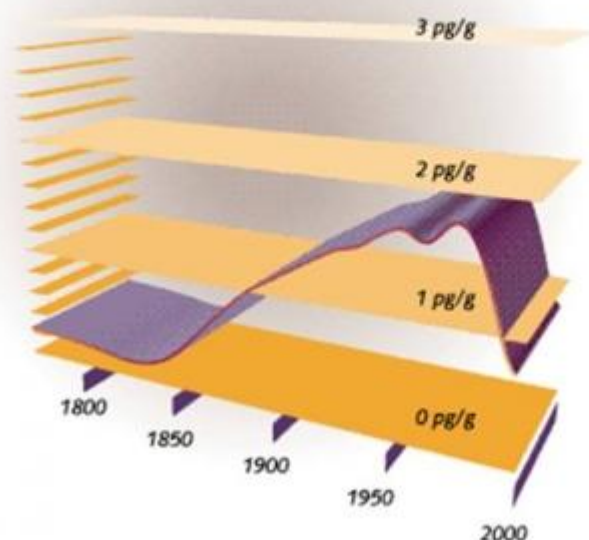
Vlastnost	Cd
Atomové číslo	48
Počet přírodních izotopů	8
Atomová hmotnost	112,41
Elektronová konfigurace	[Kr]4d ¹⁰ 5s ²
Elektronegativita	1,7
$E^0 (M^{2+}/M)$ [V]	-0,4030
Teplota tání [°C]	320,8
Teplota varu [°C]	765
Hustota [g.cm ⁻³]	8,65
Elektrický odpor při 20 °C [$\mu\Omega$.cm ¹]	7,5

2.4 Kadmium v životním prostředí

Problémy životního prostředí související s těžkými kovy mají dlouhou historii. Těžké kovy mají toxické vlastnosti, což vede k nežádoucím účinkům na lidské zdraví a ekosystémy i v malých dávkách [27]. Hlavní zdroje znečištění životního prostředí, a tedy potravního řetězce člověka, jsou těžba rud železa a zinku, spalování fosilních paliv, výroba plastů. Závažným zdrojem jsou nesprávně likvidované akumulátorové baterie. Kadmium se vyznačuje progresivní akumulací v životním prostředí. K jeho kumulaci dochází mimo jiné také v

čistírenských kalech a hnojení těmito kaly může nezanedbatelným způsobem přispívat ke kontaminaci potravního řetězce [20].

Obsah kadmia v životním prostředí rychle rostl v období od roku 1800 do roku 1960. V důsledku industrializace převážně v západních zemí. Během tohoto období byl obrovský nárůst spalování fosilních paliv. Za 50 let od roku 1960 se kadmium v životním prostředí snižuje díky lepší kontrole emisí pro spalování fosilních paliv a zlepšení technologie výroby, použití a likvidace produktů obsahujících kadmium. Tyto trendy jsou znázorněny na obrázku č. 1. Dalším významným zdrojem je také spalování komunálního a nemocničního odpadu [16].



Obr. č. 1: Změny koncentrací kadmia v Grónském ledu a sněhu od r. 1800 do r. 1995 [16]

2.5 Výskyt v půdě

Kadmium emitované do ovzduší se nakonec hromadí v půdě a ve vodě. Následně takto vstupuje do potravinových řetězců [15]. Půda patří spolu s atmosférou a vodou mezi základní složky prostředí. Důležitost péče o zachování úrodné, hygienicky nezávadné půdy, produkující nezávadná krmiva a potraviny je zesílena její odlišností od ostatních složek prostředí, tj. vody a vzduchu [3].

Obsah kadmia v nekontaminovaných půdách se pohybuje v rozmezí 0,2 - 1 mg.kg⁻¹ sušiny. Ve znečištěných lokalitách mohou být tyto koncentrace podstatně vyšší [2]. Nejvyšší obsah

Cd dosáhl hodnoty až 22 mg.kg^{-1} . Hlavní cestou vstupu Cd do tkání rostlin, zvířat a lidí je vstup z atmosféry do půdy a následný přenos z půdy do rostlin. Pro stanovení jednotlivých forem Cd v pevné fázi půdy byly navrženy rozličné analytické postupy, které zahrnují postupnou extrakci. Tyto postupy jsou většinou založeny za předpokladu, že v půdě existují následující formy Cd:

- vodorozpustné
- výměnné
- organicky vázané s oxidy Fe a Mn
- ve formě definovaných sloučenin (uhličitany, fosforečnany, sulfidy)
- vázané ve struktuře silikátů (tzv. reziduální frakce)

Kozák a Bílková (1986) zhodnotili používané extrakční postupy pro těžké kovy v půdách. Došli k závěru, že existuje přílišná roztržitost v přístupech k řešení tohoto problému, což ztěžuje možnost srovnání výsledků dosažených různými autory. Velmi rozšířený postup pro sekvenční extrakci navrhl Tessier a kol. (1976). Nejprve jsou extrahovány formy výměnné ($\text{pH} = 7$), poté výměnné formy společně s kovy vázanými v karbonátech ($\text{pH} = 5$). V další fázi jsou extrahovány kovy vázané s oxidy Fe a Mn. Předposlední frakci tvoří kovy vázané organickou hmotou a sulfidy. Nakonec je extrahován koncentrovanou kyselinou dusičnou tzv. zbytek. Tessierův postup aplikovala Spěváčková a kol. (1990) při hodnocení kontaminovaných a nekontaminovaných půd. Kadmium bylo nejvíce zastoupeno v 1. frakci (výměnné formy) u kontaminované půdy, zatímco u nekontaminované půdy bylo zastoupeno zejména ve 3. frakci (vázané na oxidy Fe a Mn) [3].

Kadmium, tak jako ostatní prvky a na rozdíl od různých organických polutantů, nemůže být degradováno. Toxické kovy proto představují dlouhodobou hrozbu pro půdní prostředí. Jelikož se půdy vyznačují velikou variabilitou svých charakteristik a Cd existuje v mnoha formách, je kontaminace tímto kovem odlišná [3].

2.6 Kontaminace rostlin kadmiiem

Rostliny přijímají toxické prvky jednak z půdního roztoku kořenovým systémem, jednak z atmosféry depozicí zejména na povrchu listů (foliární příjem). Příjem toxických prvků kořenovým systémem závisí nejen na druhu rostliny a obsahu příslušných prvků v půdě, ale také na distribuci kovů v hloubkách půdního horizontu, mobilitě příslušného kovu v půdě, obsahu organických látek a na dalších půdních faktorech [3].

Příjem kadmia kořeny rostlin je v lineární závislosti na koncentraci volného iontu Cd^{2+} v živném prostředí. Pohyb ke kořenům se děje difúzí a hromadným půdním tokem, v bezprostřední blízkosti kořenů dochází k chelataci kovu organickými kyselinami vylučovanými rostlinou, zvyšuje se difúzní gradient a urychluje příjem prvku.

Mechanismy příjmu kadmia buňkami kořenu ječmene jako:

- výměnnou adsorpci, kdy je reverzibilně vázaná frakce kadmia po desorpci snadno neselektivně zaměnitelná kovy tranzitního typu (Zn, Cu, Hg)
- silnou ireverzibilní nemetabolickou fixaci v buněčné stěně
- difúzi, která je odpovědná za hromadění kadmia v rostlinách

Příjem kovů rostlinami může být ovlivněn prostřednictvím interakce s některými mikroelementy. Řada prací byla věnována studiu interakce kadmia se zinkem a to zejména k jejich chemické příbuznosti. Z výsledků těchto prací vyplývá, že přidavek zinku do životního prostředí snižuje příjem kadmia rostlinami. Obecně se předpokládá, že interakce mezi kadmii a zinkem je založena na jevu kompetitivní inhibice, kdy kadmium a zinek soutěží o podobná aktivní centra přenašečů. Ionty obou kovů mají přibližně stejnou elektronegativitu, liší se však iontovým poloměrem ($\text{Zn}^{2+} = 0,074 \text{ nm}$, $\text{Cd}^{2+} = 0,097 \text{ nm}$), což může být jednou z příčin, proč se rostliny vyznačují selektivitou pro zinek [3].

Obsah kadmia v rostlinných pletivech je v přímé závislosti na koncentraci kadmia dostupného v živném prostředí a délce expozice. Bylo prokázáno, že k výraznému obsahu kadmia v jedlých podílech některých zelenin dochází již při koncentracích $0,1 \mu\text{g Cd.ml}^{-1}$ úplného živného roztoku. K 25% poklesu výnosu může u některých plodin docházet již při obsahu $7 \mu\text{g.g}^{-1}$ Cd v listech [3].

Nejvyšším obsahem kadmia se zpravidla vyznačují pletiva kořenů, následují listy, stonky, plody a zásobní orgány. Nejnižší obsah mají semena. Retence kadmia v kořenech rostlin je 60 - 88%. Vysoká retence v kořenech je převážně žádoucí u píceňin, obilovin a nekořenových zelenin z důvodu omezení vstupu kadmia do potravního řetězce. U tabáku, což je z hygienického a komerčního hlediska zcela nežádoucí je do listů transportováno 75 % přijatého kadmia [3].

V obilkách je převážná většina kovů soustředěna do obalových vrstev. Tato skutečnost má velkou praktickou hodnotu především z hlediska volby vhodné mlýnské techniky při zpracování obilnin pro konzum [3].

Ke změnám obsahu kadmia dochází i v průběhu vegetačního období. Na počátku vegetace (fáze odnožování a sloupkování) je nejvyšší obsah kovu. V průběhu vegetačního období pak klesá. Např. ve žluté zralosti dochází u jarního ječmene k poklesu obsahu kadmia na 1/3 - 1/8 množství zjištěného ve fázi metání [3].

2.7 Toxicita pro zvířata

Zvýšený výskyt kadmia v životním prostředí znamená i negativní dopad na zdraví a užitkovost hospodářských zvířat. Není to tedy jen snižování hygienické kvality živočišných produktů vyšším obsahem toxických prvků v mase, mléce, vnitřních orgánech atd., ale i snížení reprodukčních a růstových ukazatelů [3].

Významným zdrojem kontaminujících prvků pro skot a další pasoucí se zvířata může být půda znečištěná cizorodými prvky. Konkrétně u skotu se udává, že 1 - 18 % sušiny denní dávky krmiva může představovat zemina požitá z picí. Tento fakt může být velmi závažný při pastvě skotu v kontaminovaných oblastech např. oblasti dolů, výsypek apod. [3]. Svalovina skotu v oblastech se znečištěným ovzduším v Severomoravském kraji obsahovala až $0,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ a játra až $1,72 \text{ mg.kg}^{-1}$ kadmia [8]. U skotu působí kadmium dekalciifikaci kostí, anemii a neplodnost. Již po 10 mg Cd jsou zřetelné syndromy zvracení, poruchy GIT, poškození jater a ledvin. Mimořádný toxikologický význam mají páry kovového Cd a následná inhalační otrava [11].

Za hlavní cestu vstupu kadmia do organismu skotu se považuje příjem kontaminovaného krmiva. Inhalace a příjem kadmia pitnou vodou se nepovažuje za významné. Zjistilo se, že více Cd kumulují v ledvinách a játrech samci než samice, což je pravděpodobně způsobeno účinkem estrogenů u samic. Kadmium snižuje resorpci Zn a způsobuje deficienci Cu a Fe, která má v případě Fe za následek snížení obsahu hemoglobinu v krvi [3].

Lamphere a kol. (1984) se snažili ovlivnit stupeň kumulace Cd ve tkáních telat zvýšeným příívodem zinku do jejich organismu. Telata se krmila granulovanou směsí s obsahem 50 mg Cd.kg^{-1} po dobu 60 dnů a současně se podával příídavek zinku 600 mg.kg^{-1} . Vyšší dávka zinku výrazně snížila hladiny kadmia v játrech, kůře ledvin a svalovině [3].

Proces kumulace kadmia v orgánech prasat studovali Uthe a kol. (1979). Po 70 dávkách $0,2 \text{ mg CdCl}_2$ aplikovaných intramuskulárně v průběhu dvanácti týdnů se stanovil obsah kadmia v 21 orgánech. Nejintenzivnější působení se prokázalo v játrech a ledvinách. Vysoká kumulace byla i v pankreatu, slezině a hypofýze. Velmi malé hladiny Cd se naměřily

ve žluči a v kosterní svalovině. Kromě kumulace kadmia v játrech, ledvinách a svalovině se prokázal trvalý vzestup obsahu AMK Gly, Ala, Glu, Val a Lys v krvi [3].

Ze všech živočišných druhů má největší schopnost kumulovat kadmium v ledvinách kůň. Koncentrace kadmia v ledvinách koně přesáhla 200 mg.kg^{-1} vlhké hmotnosti [8].

Opakovaně bylo prokázáno, že zvířata krmená dietou se sníženým obsahem bílkovin měla vyšší obsah kadmia v ledvinách a játrech, vyšší exkreci kadmia močí, i když celkový příjem kadmia byl nižší. Předpokládá se, že nízký obsah proteinů v dietě má přímý vliv na zvýšení kumulace kadmia v organismu a že také ovlivňuje metabolismus esenciálních stopových prvků a detoxikační mechanismy kadmia v játrech a ledvinách [8].

2.8 Metabolismus a toxické účinky

Zvyšující se hladina v životním prostředí a riziko této situace pro populaci vyvolává rostoucí zájem o studium metabolických procesů tohoto prvku v organismu. Většina dosavadních studií byla založena na podávání vysokých dávek tohoto prvku, obvykle o několik řádů vyšších, než je přirozená hladina kadmia v životním prostředí. V současnosti se proto zájem řady badatelů přednostně zaměřuje na studium účinků dlouhodobé expozice relativně nízkých, v řadě případů stopových dávek na člověka a na zvířata. Je velmi obtížné, v řadě případů i nemožné srovnávat oba uvedené typy experimentů [8].

Relativně značné množství kadmia se kumuluje v myokardu a ve stěnách velkých cév, což vede až k poruchám činnosti srdce a cévního systému. Vysoké koncentrace kadmia v pitné vodě nebo potravě vyvolávají hypertrofii srdečního svalu, zvláště levé komory [8], [11].

Kadmium vstupuje do organismu nejen v potravě prostřednictvím trávicího ústrojí, ale také plicemi. U kuřáků je podíl inhalační expozice při příjmu kadmia srovnatelný s příjmem tohoto prvku potravou (obsah Cd v tabáku je asi $1 - 2 \text{ mg.kg}^{-1}$). Z kouře jedné cigarety inhalací dostane až $0,1 - 0,2 \text{ mg Cd}$ [2], [11]. Vstřebaný podíl kadmia činí v průměru 6 %. Krevní hladina kadmia je u nekuřáků $0,2 - 3 \text{ } \mu\text{g.dm}^{-3}$, u kuřáků $0,2 - 5 \text{ } \mu\text{g.dm}^{-3}$ [20].

Po perorální nebo parenterální aplikaci kadmia je tento kov transportován krví do jater, ledvin, sliznice střevní a dalších tkání. Bezprostředně po parenterálním podání je 95 % kadmia v krvi přítomno v plazmě a pouze nepatrná část je na erytrocytech. Kadmium v plazmě je vázáno na potraviny, převážně na α -2-makroglobulin, částečně i na albumin [8].

Rozhodující cestou pro exkreci kadmia z organismu je vylučování *via faeces*, přičemž v tomto případě existují mezidruhové rozdíly a závislost na dávce a způsobu podání. Vyluč-

čovací cesta trávicím ústrojím zahrnuje i exkreci prostřednictvím pankreatické šťávy a sekreci střevní stěnou. Přesto pouze 0,005 % parenterálně aplikované dávky bylo nalezeno v pankreatické šťávě, přestože pankreas je schopen kumulovat relativně značné množství kadmia žlučí do duodena. I v tomto případě existuje přímá závislost na aplikované dávce a na živočišném druhu [8].

Lidská populace je exponována různým dávkám kadmia v závislosti na bráně vstupu, dávce a délce expozice [26]. Požití potravy nebo nápoje kontaminovaného kadmiiem vyvolává akutní poruchy trávicího ústrojí [15]. V minulosti byly popsány případy hromadných intoxikací epidemického charakteru způsobené požitím jídel připravených v pokadmiovaném nádobí nebo kyselých ovocných šťáv skladovaných v nádobách ze slitin obsahující kadmium. Akutní intoxikace byly pozorovány také u dělníků exponovaných kadmiiem v průmyslu, kteří požili jídlo kontaminované kadmiiem z nedostatečně umytých rukou [8].

Hlavními symptomy akutní otravy kadmiiem jsou nauzea, vomitus, diaree, křeče trávicího ústrojí, bolesti hlavy a intenzivní salivace [15]. V případě vysoké expozice jsou uvedené příznaky následovány šokem ze ztráty tekutin, akutním selháním ledvin, srdce, plic a smrtí v průběhu 24 hodin až 14 dnů [8]. Ledviny jsou orgánem, který nejvíce akumuluje kadmium (v ledvinách dospělého člověka je obsaženo 4 - 10 mg Cd) [26]. Normální koncentrace v ledvinové kůře člověka je 10 - 30 mg.kg⁻¹. Tvorba metalothioneinu zabrání akutnímu poškození ledvin, pokud koncentrace kadmia v ledvinové kůře nepřesáhne asi 100 mg.kg⁻¹. Intoxikace kadmiiem se projeví výskytem bílkovin a cukrů v moči. Přitom se kadmium močí téměř nevylučuje [20].

V játrech se kadmium výrazně kumuluje běžně v množství 2 - 4 mg.kg⁻¹. Při koncentracích do 30 mg.kg⁻¹ tkáňová vazba kadmia na jaterní metalothionein zabrání poškození jater [2].

Akutní i chronická expozice vysokým koncentracím kadmia v prachu nebo parách kovů u dělníků v průmyslu vyvolává poškození funkce plic projevující se těžkým podrážděním dýchacího ústrojí, začínajícím již několik hodin po expozici [9].

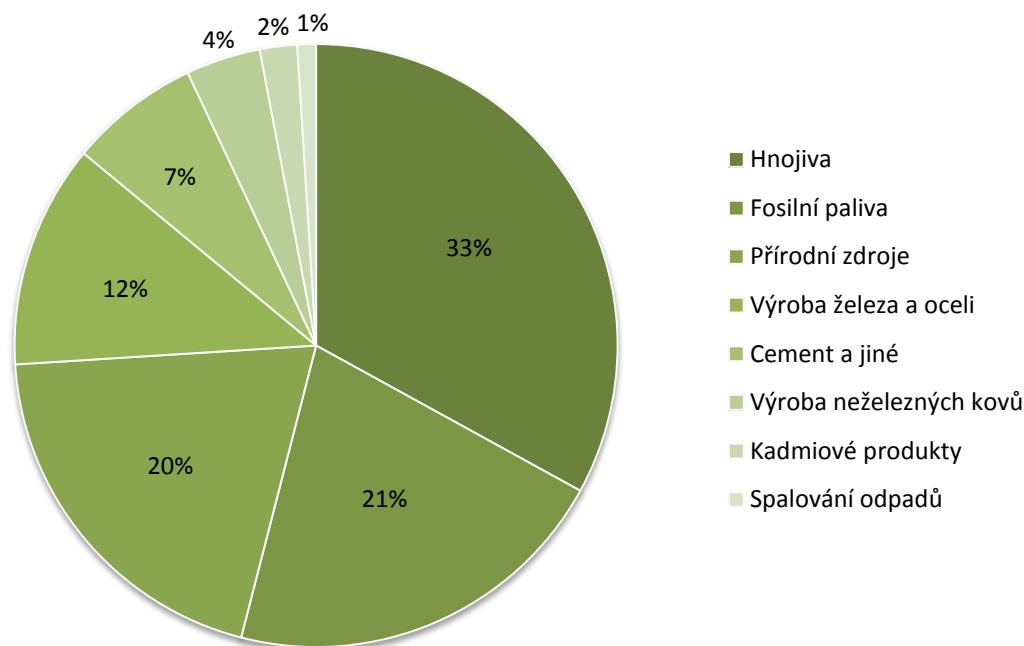
Chronická expozice parám nebo dýmům kadmia poškozuje rovněž plicní funkce. Jedním z hlavních příznaků chronické intoxikace u dělníků exponovaných kadmiiem ve výrobních akumulátorů po více než devíti letech byla dušnost a známky plicního edému [9].

Kadmium a jeho soli jsou toxikologicky velmi nebezpečné. Ionty kadmia především blokují sulfhydrylové skupiny enzymů a biologických makromolekul, zasahují do metabolismu cukrů a inhibují sekreci insulinu. Jsou však přirozenou složkou metalothioneinů hlavně v

játrech, společně s ionty zinku. Sloučeniny kadmia jsou nebezpečné hlavně svou chronickou expozicí, některé jsou podezřelé z karcinogenity [5], [11].

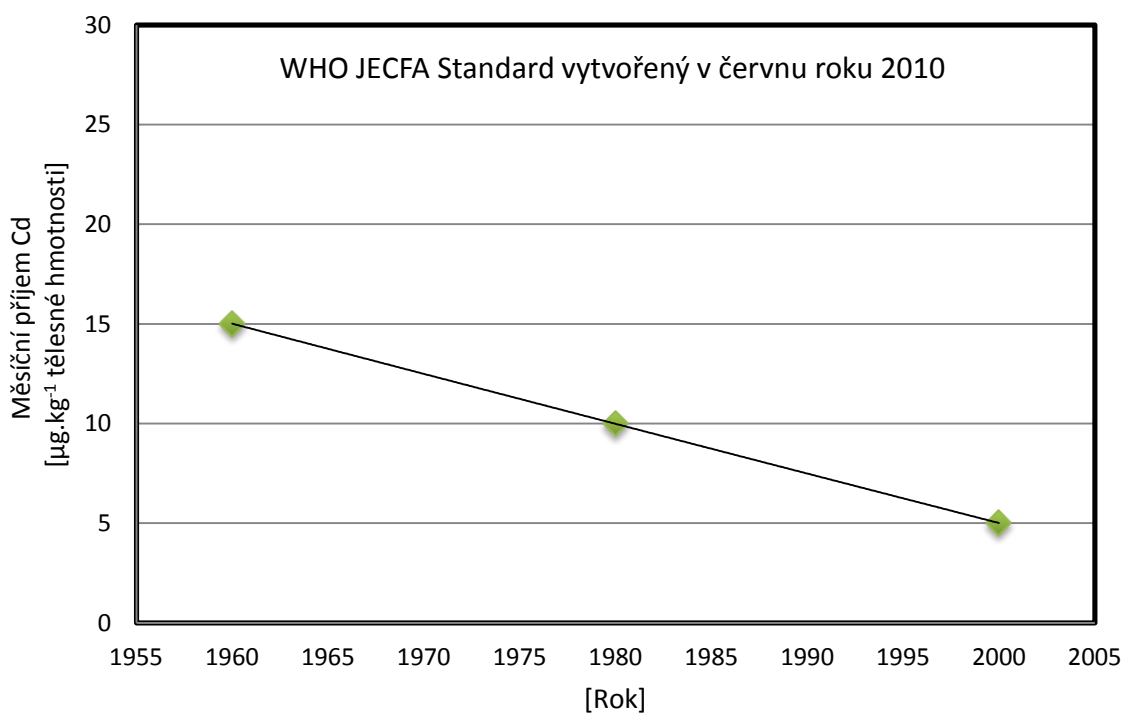
V roce 1946 a později až v šedesátých letech bylo mnoha Japonců postiženo neznámou chorobou, která se projevovala měknutím kostí, zhoršenou činností ledvin apod. Při analýze potravy bylo v rýži zjištěno kadmium. Do rýže se kadmium dostalo s říční vodou, kterou se zavlažovaly pole, a do řeky se dostalo z dolu Kamioka. Nemoc byla nazvána Itai-itai v překladu „bolí-bolí.“. Ukázalo se, že organismy, které měly dostatek vitamínu D, lépe nemoci odolávaly. Při práci na polích se ženy chrání před sluncem nejen širokým kloboukem, ale kromě toho si ještě chrání rouškou většinu tváře. Pak mají v těle nedostatek vitamínu D a jejich organismus se špatně brání proti nemoci [10].

Výroba kadmia, jeho sloučenin a výrobků představuje pouze malou část z celkových emisí Cd. Tyto výsledky jsou uvedeny v obr. č. 2 a ukazují, že výroba, využití a odstraňování výrobků, do kterých bylo kadmium záměrně přidáno, představuje méně než 2 % z celkových zdrojů emisí a expozice kadmia pro člověka. Pracovníci mohou být profesně vystaveni toxickému kovu v průmyslovém prostředí. Nicméně normy koncentrace kadmia na pracovišti jsou po celém světě zredukovány na zcela bezpečnou úroveň, aby se zabránilo jakémukoliv zdravotnímu riziku [16].



Obr. č. 2: Expozice kadmia pro člověka z různých zdrojů [16]

Vyšetřování po celém světě ukázaly, že pro běžnou populaci je průměrný příjem kadmia nízký, v porovnání s přípustnou normou, která byla stanovena Světovou zdravotnickou organizací (WHO). Dále bylo zjištěno, že hladina kadmia v průběhu posledních dvaceti let klesá. Aktuální příjem kadmia udává graf vytvořený organizací Společný výbor expertů FAO / WHO pro potravinářská aditiva (JECFA). Průměrný příjem kadmia v roce 1960 byl asi $15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti. V roce 2000 se snížil na cca $5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti. Tyto výsledky jsou znázorněny na obrázku č. 3 [16].



Obr. č. 3: Průměrný měsíční příjem kadmia pro širokou veřejnost [16]

3 ZINEK

3.1 Historie

Člověk užívá zinek více než 2000 let. Staří Římané mísili zinkovou rudu s mědí a získávali mosaz [8]. Získává se redukcí ZnO dřevěným uhlím při teplotě 1000 °C nebo i vyšší. Za takové teploty se však páry kovu snadno znovu oxidují a jejich kondenzace se tedy musí provádět za nepřístupu vzduchu. Poprvé se to pravděpodobně podařilo ve 13. století v Indii a tato znalost se převedla do Číny, kde se používaly zinkové mince v období dynastie Ming. Příprava slitin zinku tavením směsi rud vyžaduje izolaci čistého zinku a je daleko snadnější. Malá množství zinku přítomná ve vzorcích rané egyptské mědi jsou zřejmě důsledkem složení místních rud, naopak palestinské mosazi, pocházející z let 1400 - 1000 před Kristem a obsahující kolem 23 % zinku, musely být vyráběny úmyslným smícháváním měděných a zinkových rud. Obdobně byla mosaz vyráběna Římany na Kypru a později v oblasti Kolína nad Rýnem [1].

Ve středověké Evropě se zinek nevyráběl, i když malá množství tohoto kovu se získávala náhodnou kondenzací při výrobě olova, stříbra a mosazi. Asi od roku 1605 jej dovážela z Číny Východoindická společnost [1]. První zinková huť byla postavena v roce 1743 v Bristolu v Anglii [8]. Původ jeho názvu je nejasný, ale lze přijmout domněnku, že byl odvozen od slova Zinke (německy bodec nebo zub) podle vzhledu kovu [1].

3.2 Výskyt, výroba, použití

Produkce zinku ve světě neustále stoupá. Uvádí se roční nárůst 5 %. Roční celosvětová produkce v roce 1972 činila 5,5 milionu tun [8].

Nejdůležitějšími minerály obsahujícími zinek jsou sfalerit (zinkové blejno, ZnS), zinkit (ZnO), smithsonit (kalamín, ZnCO₃), willemmit (ZnSiO₄) a hemimorfit [Zn₂(OH)₂SiO₃]. Tyto rudy jsou nejvíce těženy v USA, na území bývalého SSSR a v Japonsku. Při odstřelu a drcení rudy uniká zinek do životního prostředí jen velmi málo, při flotaci rozdrcené rudy může zinek kontaminovat odpadní vody. Principem hutnické výroby zinku je redukce oxidu zinečnatého v žáru uhlí (1100 - 1300 °C). Zinkové rudy však obvykle neobsahují oxidy zinku, a proto je třeba je předem upravovat. Uhličitany a křemičitany zinečnaté se pálí, aby ztratily vodu a oxid uhličitý, ale sfalerit je nutné pražit, čímž se sulfid zinečnatý oxiduje na oxid [8].

Během tavby zinkové rudy často dochází k emisím zinku do ovzduší, doprovázeným emisemi kadmia, olova, arzeniu a jiných kovů. Ročně uniká do atmosféry při hutním zpracování zinkové rudy pouze v USA asi 50000 tun zinku. Významné znečištění půdy se objevuje v blízkém okolí zdrojů zinkových emisí. Podobně jako je tomu u olova nebo jiných kovů, je část produkce zinku hrazena zpracováním šrotu. Tato část však v celkové produkci nepřesahuje více než 10 - 20 % [8].

Zinek je v průmyslu nejčastěji užíván při výrobě nekorozivních slitin, mosazi, při výrobě železa, galvanizaci oceli a při pozinkování železných plechů a drátů k ochraně proti korozi. Oxid zinečnatý se užívá v gumárenství a jako zinková běloba při výrobě barev. V lékařství se podává $ZnSO_4$ při léčbě stavů spojených s deficitem zinku, opakovaně byl zkoušen i u cirhotiků. Zn-karbamát je používán jako pesticid [8].

Sloučeniny zinku, i vysoce chemicky čisté, mohou obsahovat významná množství některých jiných více toxických kovů, jako jsou kadmium nebo olovo [8].

3.3 Vlastnosti zinku

Zinek patří do skupiny 2b periodického systému. Jedná se o modrobílý kov se silným leskem, který na vlhkém vzduchu zvolna mizí. Při normální teplotě je křehký. V rozmezí 100 - 150 °C je tažný a dá se válcovat na plech a vytahovat v drát. Nad 200 °C se stává velmi křehkým, že se dá rozetřít na prášek. Zinek je snadno tavitelný a patří k nejsnáze těkajícím kovům. Tepelná vodivost zinku činí 61 - 64 %, elektrická vodivost asi 27 % ve srovnání se stříbrem [4].

V silných minerálních kyselinách se zinek velmi ochotně rozpouští za vývoje plynného vodíku. Na vzduchu je zinek stálý, protože se rychle pokryje tenkou vrstvičkou oxidu, která jej účinně chrání proti korozi vzdušným kyslíkem i vlhkostí (vodou) - tzv. pasivace. Zinek se ale také rozpouští v roztocích hydroxidů, vodném amoniaku a za tepla také v chloridu amonném, což je projevem jeho amfoterity (rozpuštění v kyselinách i hydroxidech). Pokud je zinek ve velmi čistém stavu, tak rozpouštění v kyselinách ani hydroxidech neprobíhá nebo probíhá velmi pomalu [17].

Zinek na vzduchu při zahřátí hoří jasně svítivým modrozeleným plamenem, přičemž vzniká bílý oxid zinečnatý. Za červeného žáru se zinek oxiduje také vodní parou a oxidem uhlíčitým, který se redukuje na oxid uhelnatý. S halogeny reaguje zinek velmi neochotně a pouze za přítomnosti vlhkosti. Sulfan působí na zinek za normální teploty a vzniká tak

sulfid zinečnatý. Za tepla se zinek slučuje také se sírou a fosforem. S dusíkem, vodíkem a uhlíkem se neslučuje vůbec, ale s amoniakem tvoří za vysokých teplot nitrid zinečnatý. S velkým množstvím kovů je zinek neomezeně mísitelný a tvoří slitiny a s některými tvoří dokonce sloučeniny [17].

Tabulka č. 2: Vybrané vlastnosti zinku [1], [17]

Vlastnost	Zn
Atomové číslo	30
Skupenství	pevné
Počet přírodních izotopů	5
Atomová hmotnost	65,38
Oxidační čísla	Zn ²⁺
Elektronová konfigurace	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²
Elektronegativita	1,6
E ⁰ (M ²⁺ /M) [V]	-0,7649
Teplota tání [°C]	419,5
Teplota varu [°C]	907
Hustota [g.cm ⁻³]	7,14
Elektrický odpor při 20 °C [μΩ.cm ¹]	5,8

3.4 Zinek a životní prostředí

Zinek se může do životního prostředí dostávat především během výroby ze zinkové rudy. Při flotaci rozdrčené rudy může zinek kontaminovat odpadní vody. Při tavbě zinkové rudy často dochází k silným emisím zinku do ovzduší. Z hlediska kontaminace životního prostředí je významná i současná emise kadmia, které vždy zinek v rudách doprovází [8].

3.5 Výskyt v půdě

Obsah zinku v půdě je v rozmezí několika desítek ppm. Vyskytuje se hlavně v minerální formě jako součást mřížky minerálů (biotit, augit, amfibol aj.), část je vázána jako kationt Zn²⁺, případně ZnOH⁺ v sorpčním komplexu. Menší podíl Zn v půdě je vázán v organic-

kých sloučeninách [19]. Na obsah zinku v půdách má významný vliv obsah Zn v matečných horninách. Průměrné koncentrace tohoto prvku v hlavních skupinách vyvřelých hornin v ČR $79 \mu\text{g.g}^{-1}$, v usazených horninách $55 \mu\text{g.g}^{-1}$ a v metamorfovaných horninách $16 \mu\text{g.g}^{-1}$. Průměrný obsah v půdách ČR je přibližně $12 \mu\text{g.g}^{-1}$, vyšší obsah byl zjištěn v nivních půdách kolem $24 \mu\text{g.g}^{-1}$. U ostatních půdních typů se obsah zinku pohybuje od 10 do $14 \mu\text{g.g}^{-1}$, drnové půdy mají obsah nejnižší a to $8 \mu\text{g.g}^{-1}$. V rámci jednotlivých půdních podtypů, vyvinutých na stejném substrátu, jsou koncentrace zinku značně rozdílné, relativní směrodatná odchylka se pohybuje okolo 50 %. Značně zvýšení koncentrace zinku v půdách bývá v okolí zinkových hutí [8].

3.6 Výskyt v rostlinách

Zinek je rostlinami přijímán jako Zn^{2+} . Nároky jednotlivých druhů rostlin jsou dosti rozdílné a jeho obsah v pletivech rostlin se pohybuje v rozmezí 200 - 100 ppm Zn v sušině. Kritickou hladinou u většiny rostlin je 20 ppm Zn. Nižší příjem Zn signalizuje již deficit a pod 10 ppm je již provázen zjevnými příznaky nedostatku. Na jeho příjem má vliv pH a množství fosforu v prostředí. Často byl zaznamenán nedostatek Zn po hnojení vyššími dávkami P. Zvýšené množství P v půdním roztoku zřejmě krátkodobě sníží rozpustnost Zn. Vliv zvýšené nabídky P na příjem Zn kukuřicí lze dokumentovat na výsledcích Triera a Bergmanna (1974) [19].

Tabulka č. 3: Vliv zvýšené nabídky P na příjem Zn kukuřicí [19]

pH	Obsah P v živném roztoku (ppm)	Přijato Zn (mg)
5,2	80	98,9
	160	90
6,4	80	56,6
	160	16,5

Je zřejmé, že vyšší hodnota pH snižuje příjem Zn a podobně působí P. Výrazně je omezen příjem Zn spolupůsobením fosforu a vyšší hodnoty pH. Příjem Zn je potlačován také přítomností většího množství Fe a Cu, zatímco zvýšené množství Mn nemá významnější vliv. Vyšší obsah P omezuje pohyb Zn v rostlině - hlavně jako transport do vegetačních vrcholů. Proto je v rostlinách důležitý nejen obsah Zn, ale i vzájemný poměr P a Zn [19].

Fyziologický význam zinku spočívá hlavně v tom, že je součástí prostetických skupin enzymů a řadu enzymových reakcí aktivuje. Je součástí karbonátdehydratasy (s obsahem pevně vázaného Zn - 0,33 %). Je to enzym, který v chloroplastech katalyzuje vzájemné reakce mezi CO_2 , H_2O a ionty H^+ a HCO_3^- , a tím působí jako H^+ pufr. Dále je součástí alkoholdehydrogenasy, RNA polymerasy, superoxidismutasy, alkalické fosfatasy a fosfolipasy. Působí specificky na aktivaci mnoha enzymových reakcí. U některých reakcí má účinek nespécifický a podobné působení jako Mg - umožňuje vazbu enzymu na substrát. Při těchto reakcích může být zaměněn, případně spolupůsobit s jiným prvkem, nejčastěji s manganem a hořčíkem [19].

Je známo, že zinek ovlivňuje prodlužovací růst rostlin. Jeho působení je dáváno do souvislosti s obsahem kyseliny indolyloctové (indol acetic acid - IAA). Původně se předpokládalo, že Zn aktivuje tvorbu tryptofanu jako prekurzoru IAA, a tím se při nedostatku Zn snižuje IAA. Nižší obsah zinku v rostlinách je skutečně v korelaci s omezením prodlužovacího růstu a s nižším obsahem IAA [19].

3.6.1 Nedostatek zinku v rostlinách

K rostlinám, které poměrně často trpí nedostatkem Zn, patří kukuřice, chmel, vinná réva, ovocné stromy a fazole. Méně choulostivé jsou brambory, cukrovka, vojtěška, jetele, rajčata a cibule. Nejméně pak obilniny, trávy, hořčice a hrách. Při nedostatku zinku se na listech objevují mezi žilnatinou světlé až bílé skvrny [19].

V chlorotických pásech se vytvářejí červenohnědé nekrotické zóny, které se zvětšují, až listy odumírají. Kukuřice má při hlubším deficitu zakrnělý růst, listy na vegetačním vrcholu jsou stočené a jakoby spleené, stonek je silný a často puká. U ovocných stromů je brzděn růst letorostů, mladé výhonky snadno namrzají a předčasně odumírají. Listy i větvičky jsou nahloučené (omezen růst do délky) [19].

U nás byl nedostatek zinku považován za kadeřavosti chmele, při které je snížen růst rostlin, omezena tvorba postranních plodonosných větviček, listy jsou deformované. Dochází k výrazné redukci výnosu hlávek a zhoršení kvality. Dnes je známo, že příčinou kadeřavosti jsou rickettsie, ale dostatek Zn může toto onemocnění značně omezovat. Pro chmelařské oblasti se proto vyrábějí speciální hnojiva, kterými je Zn dodáván, např. Zinkovit, Zinkocit, Nitrozinek, aj. [19].



Obr. č. 4: Omezený růst, žloutnutí listů kukuřice při nedostatku Zn [19]



Obr. č. 5: Mírné příznaky kadeřavosti chmele na listech [19]

3.6.2 Nadbytek zinku v rostlinách

Nadbytek zinku a jeho případné toxické působení v přirozených podmínkách je ojedinělé. Může přicházet v úvahu poblíž některých průmyslových podniků a při nadměrné aplikaci odpadů obsahujících Zn. Je skutečností, že zinkem je životní prostředí poměrně značně zatěžováno. Také některá stájová hnojiva mohou obsahovat větší množství Zn a jejich pravidelnou aplikací může být obsah Zn v půdách výrazněji zvýšen. Jeho nadměrný příjem lze omezit vápněním. Při vysokém obsahu zinku v prostředí je omezen příjem železa, rostliny špatně rostou a mají silnou chlorózu [19].

Zajištění přiměřeného příjmu zinku rostlinami je možné úpravou půdních podmínek, hlavně pH. Na alkalických půdách je nutné omezit jednorázové a vyšší dávky fosforečných hnojiv a u dusíkatých hnojiv přednostně používat kyselá hnojiva, jako je síran amonný.

Půdy s nízkým obsahem Zn je nutné vyhnojit nejlépe síranem zinečnatým (obsahuje asi 22 % Zn). Doporučované dávky jsou pro těžší půdy okolo 10 kg Zn a na lehkých půdách okolo 6 kg Zn na hektar, nejčastěji pro kukuřici. Pro chmel jsou doporučované dávky podstatně vyšší - přes 20 kg Zn na hektar [19].

3.7 Toxicita pro zvířata

U králíků, potkanů a koček exponovaných po dobu 3,5 hodiny parám oxidu zinečnatého v koncentraci 110 - 600 mg.m⁻³ se projevil přechodný pokles tělesné teploty s následnou leukocytózou. U zvířat exponovaných vysokým koncentracím byla při pitvě nalezena bronchopneumonie [8].

Vysoká koncentrace zinku v potravě (asi 1 g.kg⁻¹ po dobu více než jednoho měsíce) vyvolala u mladých prasat potlačení růstu a příjmu potravy. U těchto zvířat byly navíc pozorovány záněty trávicího ústrojí, kloubů a kulhavost. Podobné příznaky byly pozorovány po podání vysokých dávek zinku i u koní [8].

U potkanů způsobuje akutní intoxikace zinkem hypochromní, mikrocytární anémii, snížení počtu erytrocytů s výskytem jejich nezralých forem a zvýšení počtu leukocytů. Po podání vysokých dávek zinku byla u koček pozorována fibróza pankreatu, zatímco u králíků glykosurie a albuminurie. Jestliže byl obsah zinku v dietě nižší než 0,25 % (podáván jako chlorid zinečnatý nebo uhličitan zinečnatý), nebyl pozorován u potkanů žádný významný účinek, avšak již při dvojnásobném obsahu zinku v dietě 0,5 % podáván jako ZnCl₂ byl potlačen růst a zvířata umírala. ZnCO₃ nebo ZnO však růst potlačují až při dosažení hladiny 1 % v dietě [8].

U březích samic potkanů způsobuje přidání ZnO do potravy (dávka Zn 4000 μg.g⁻¹) smrt a resorpci plodů. Po intravenózním podání ZnSO₄ (2 mg.kg⁻¹ tělesné hmotnosti) březím samicím křečků byly u 4 % mláďat nalezeny teratogenní změny. Po aplikaci vyšších dávek ZnSO₄ (10 - 25 mg.kg⁻¹) bylo pozorováno u 12 % březích samic zpětné vstřebávání plodů, dávka 30 mg.kg⁻¹ byla pro matky smrtelná [8].

Opakované intratestikulární podání ZnCl₂ u kohoutů vyvolalo sarkom varlat. Nejsou přesvědčivé důkazy o tom, že při podání jinou cestou je zinek karcinogenní [8].

3.8 Výskyt v lidském těle

Tělo dospělého člověka obsahuje asi 2,2 g zinku, [13], [22] zhruba třetina až polovina obsahu železa, přibližně desetinásobek až patnáctinásobek obsahu mědi a zhruba stonásobek obsahu manganu [1]. Vysoké koncentrace zinku se nacházejí především v kůži, vlasech, nehtech, očních tkání, játrech, ledvinách, slezině a v mužských pohlavních orgánech [2].

V krvi je zinek ze 75 % vázán v plazmě (především na bílkovinách), z 22 % na erytrocytech a ze 3 % na leukocytech [8]. V krevní plazmě je zinek vázán především na sérový albumin. V červených krvinkách je obsažen zejména v enzymu karbonátanhydratase [2].

3.9 Metabolismus a toxické účinky

Existují tři hlavní cesty vstupu zinku do lidského těla: při vdechnutí, požití nebo proniknutí kůží [24]. Zinek je nezbytný pro funkci různých savčích enzymů. Bylo již identifikováno mnoho metaloenzymů obsahující zinek nebo enzymových systémů závislých na zinku (alkoholdehydrogenáza, alkalická fosfatáza, aldoláza, laktátdehydrogenáza, RNA-polymeráza a DNA-polymeráza, reverzní transkriptáza, karboxypeptidáza A, B, G a další) [22]. Zinek se tedy podílí na katalýze reakcí v mnoha metabolických drahách. Zinek také tvoří komplexy s peptidovým hormonem pankreatu insulinem [2].

Zinek je vstřebáván v tenkém střevě prostou difúzí a cestou specifických přenašečů. Do buňky sliznice tenkého střeva se dostane vazbou na aminokyseliny histidin, cystein a prostaglandiny a jak již jednou je uvnitř slizniční buňky střeva je vázán na bílkovinu metalothionein. Tato nízkomolekulární bílkovina je společným přenašečem i pro měď, se kterou o navázání na bílkovinu metalothionein zinek soutěží [21].

Vylučování zinku se děje převážně stolicí, přibližně 90 % a část zinku je vylučována močí. Zvýšené ztráty zinku močí jsou pozorovány po úrazu, dále v souvislosti s odbouráváním svalové tkáně. Hlavními zdroji zinku ve stolici jsou pankreatická šťáva, žluč a transport přes střevní stěnu [25].

Stupeň resorpce zinku je závislý mimo jiné na složení stravy. Vysoký obsah bílkovin a aminokyselin zvyšuje účinnost resorpce. Opačně působí fytová kyselina a vláknina. Bylo zjištěno, že molární poměr fytová kyselina / zinek je určitým měřítkem biologické využitelnosti zinku z různých potravin. Dlouhodobý příjem stravy s poměrem fytoát / Zn větším než 20:1 vede k deficitu zinku [2].

Tabulka č. 4: Obsah zinku v cereálních výrobcích a jeho poměr k fytové kyselině [2]

Výrobek	Zn v mg.kg ⁻¹ sušiny	Poměr fytát / Zn
Otruby	80	32,5
Chléb celozrnný	29	21,6
Chléb bílý	9,5	5,9
Kukuřičné vločky	2,6	12,3

Po inhalaci par nebo velmi jemného prachu kovového zinku a oxidu zinečnatého dochází k horečce slévačů. Tyto projevy jsou známé i po inhalační expozici oxidům mnoha dalších kovů jako je měď, olovo, cín, kadmium, kobalt a jiné [5], [24]. Obyčejně ke konci pracovní doby se dostaví pocity malátnosti, bolesti hlavy, sucho v ústech s pocitem kovové chuti, škrábání v krku, bolesti na prsou a dráždivý kašel. Po několika hodinách se objeví zimnice a teplota vystoupí až na 39 °C. Horečka trvá většinou několik dní, za silného pocení klesá k normálu a přetrvává pouze pocit slabosti. Obraz připomíná záchvat malárie. Klinicky lze na plicích nalézt astmoidní nález. Často bývá glykosurie, někdy i albuminurie, nezřídka i leukocytóza. Patogeneze tohoto onemocnění není jasná, předpokládá se tvorba komplexů zinku s bílkovinami v plicích alveolách nebo v plazmě. Tyto komplexy mohou působit senzibilizačně, podobně jako cizorodá bílkovina. Zatím chybějí dostatečné údaje o koncentraci ZnO ve vzduchu, která toto onemocnění vyvolává [8].

Chronická otrava zinkem u člověka nebyla popsána. U pacientů s bércovými vředy byl z léčebných důvodů podáván zinek v dávkách asi 135 mg na den jako ZnSO₄ po dobu až půl roku, bez toxických příznaků. Také u dvaceti dělníků exponovaných 3 - 15 mg.m⁻³ Zn po dobu dvou až třiceti pěti let nebyly nalezeny žádné známky chronického toxického poškození [8].

Někteří autoři přisuzují zinku určitou úlohu v karcinogenezi. Svá tvrzení dokládají nižší hladinou zinku v plazmě u pacientů s maligními tumory, snížením koncentrace zinku v leukocytech u pacientů s nádory či chronickou leukemií. Rychlost růstu hepatonu indukovaného u potkanů podáním 3-methyl-4-dimethylaminoazobenzenu byla snížena u potkanů krmených dietou s nízkým obsahem zinku. Zinek je podezříván z kokarcinogenního působení, zvyšuje růst experimentálních sarkomů vyvolaných podáním polycyklických aromatických uhlovodíků [8].

Endemický výskyt syndromu nedostatku zinku byl popsán u mladých mužů v Íránu a Egyptě. Význačnými rysy byly retardovaný růst, infantilní varlata, zpoždění pohlavního dozrávání, anémie, hepatosplenomegalie a hyperpigmentace. Perorální podávání zinku vedlo k rychlému zlepšení stavu [23], [24].

3.10 Význam zinku ve výživě

Zinek je po železe druhý nejvýznamnější stopový prvek pro fungování lidského těla. Je nezbytný pro růst a rozmnožování, ovlivňuje tvorbu inzulinu, snižuje toxické účinky olova a kadmia, je součástí velkého množství enzymů, kde působí jako tzv. kofaktor [23].

Doporučená denní dávka zinku jsou 5 mg pro děti do 1 roku, 10 mg pro děti od 1 roku do 10 let, 15 mg pro chlapce a muže, 12 mg pro dívky a ženy, 10 mg pro muže a ženy nad 50 let. Pro těhotné ženy se doporučuje dávka 15 mg a v období kojení 16 - 19 mg [2]. Přitom naše strava dodává organismu 4 až 6 mg zinku denně [13], [28].

Deficit zinku může nastat při dlouhodobém přijímání nízkých dávek zinku dietou nebo při převaze takových složek stravy, které snižují biologickou využitelnost zinku. To může být nebezpečné zejména v dětském věku [2]. Nedostatek zinku má pak za následek zpomalený růst a nedostatečný vývoj mužských pohlavních orgánů. Dalšími příznaky jsou ztráta chuti, změny na kůži, vypadávání vlasů a nehtů [28].

Zinek je ve vyšších dávkách toxický. Perorální podání 2 g zinku a vyšších množství ve formě $ZnSO_4$ způsobí bolesti břicha, nevolnost a zvracení [24]. Přijetí tak vysoké dávky potravou je ale zcela vyloučeno. Dlouhodobý příjem desetinásobku až třicetinásobku doporučené denní dávky (tj. 100 - 300 mg) vede k některým změnám krevního obrazu, které jsou typické při deficitu mědi. Zinek je totiž antagonistou mědi [2].

4 KADMIUM A ZINEK V POTRAVINÁCH

4.1 Kadmium

Obsah kadmia v potravinách je malý a velmi proměnlivý. Přehled uvádí příloha P I [2].

U potravin rostlinného původu je obsah kadmia závislý především na obsahu tohoto prvku v půdě. Relativně vysokými koncentracemi se vyznačují některé druhy zeleniny (špenát, hlávkový salát, mrkev), jedlé houby a olejnatá semena (např. mák obsahuje 0,04 - 1,96 mg.kg⁻¹ kadmia). I když u obilovin se udávají dosti vysoké maximální hodnoty, ve většině vzorků obilí nepřesáhnou koncentrace kadmia hodnotu 0,1 mg.kg⁻¹ [2].

Z potravin živočišného původu mají nejvyšší obsah kadmia vnitřnosti. Zvláště v ledvinách může dosáhnout až jednotek mg.kg⁻¹. Maso, vejce, mléko a mléčné výrobky obsahují jen stopy tohoto prvku [2].

Na celkovém příjmu se podílí i obsah Cd v pitné vodě. V povrchových i pitných vodách je koncentrace kovu v rozmezí 1 až 10 µg.l⁻¹. Vzhledem k tomu, že kadmium je stejně jako ostatní kovy absorbováno v sedimentech na dně, jeho obsah ve vodě obvykle nepřekročí limit 0,01 mg Cd.l⁻¹, doporučený Světovou zdravotnickou organizací (WHO) [8].

Tolerovaná denní dávka kadmia činí 67 - 83 µg při tělesné hmotnosti 70 kg [15]. Skutečné denní dávky kadmia se pohybují od 10 µg (Švédsko 1983) do 33 µg (USA 1985) [20].

4.2 Zinek

Zinek je obsažen ve většině potravin, ale ve velmi rozdílném množství. Přehled uvádí příloha P II [2]. Neobyčejně bohaté na zinek jsou především potraviny živočišného původu. Týká se to hlavně vnitřností, svaloviny, ryb, sýrů a vajec. Tuk je na zinek mimořádně chudý, s rostoucím obsahem tuku jeho obsah v potravinách klesá [12].

Rostlinné potraviny jsou naproti tomu vesměs špatnými zdroji zinku. Resorpce zinku je u potravin živočišného původu bohatý na protein dobrá a u rostlinných potravin bohatých na vlákninu špatná. Proto je nebezpečí nedostatku zinku při nízké spotřebě masa a mléka velmi vysoké. Vegetariáni, kteří dávají přednost čistě rostlinné stravě, by měli do svých jídel zařadit také potraviny bohaté na zinek. Naproti tomu vegani, kteří se živí výhradně rostlinnou stravou a odmítají veškeré živočišné produkty (tedy i mléko, sýry, vejce), mají jen málo možností opatřit si zinek z přirozených potravin. Jim se doporučuje doplňkové přijímání zinkových preparátů [12].

4.3 Legislativní požadavky

Vyhláška č. 305 Ministerstva zdravotnictví ze dne 6. května 2004, kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách [7].

Tabulka č. 5: Nejvyšší přípustné množství kadmia v potravinách [7]

Potravina	NPM mg.kg⁻¹
mléko	0,01
vejce	0,02
luštěniny	0,2
chléb, pečivo	0,1
dětská a kojenecká výživa	0,1
nealkoholické nápoje	0,05
pivo	0,05
víno	0,05

Tabulka č. 6: Nejvyšší přípustné množství zinku v potravinách [7]

Potravina	NPM mg.kg⁻¹
ovocné šťávy	5,0

ZÁVĚR

Potraviny jsou základním zdrojem obživy lidí, protože dodávají energii a základní živiny jako jsou bílkoviny, tuky, sacharidy a minerální látky. Je tedy důležité dodržovat zdravotní nezávadnost potravin, kterou se zabývají určité právní normy.

Základním zdrojem vstupu kadmia do potravinového řetězce je aplikace fosforečných hnojiv, výroba železa, oceli a spalování fosilních paliv. Do organismu kadmium vstupuje z okolního prostředí nejčastěji potravou, kouřením, dýcháním a pitnou vodou. Z potravin jsou rizikovým faktorem především vnitřnosti nebo ryby, které byly kontaminovány kadmii při svém růstu. Vejce, mléko a mléčné výrobky obsahují jen malé množství kadmia. Rizikové mohou být i zemědělské plodiny pěstované na kontaminované půdě. Kadmium se ukládá v ledvinách a játrech, kde se váže na protein metalothionein, jehož primární funkcí je udržení homeostázy těžkých kovů v živých organismech. Kadmium je vzácný prvek, který nemá esenciální podobu v žádném živém organismu, proto je i jeho malá koncentrace pro organismus toxická. Tolerovaná denní dávka kadmia činí 67 - 83 μg při tělesné hmotnosti 70 kg.

Zinek patří mezi prvky, které mají významný vliv na správný vývoj všech živých organismů rostlinných i živočišných. Účastní se přes 200 enzymatických procesů v organismu. V potravě jsou hlavními zdroji zinku játra, tmavé maso, mléko, vaječné žloutky a mořští živočichové. Z rostlinných produktů jde především o celozrnné cereálie, fazole, ořechy a dýňová semena. Příjem zinku v potravě naší populace odpovídá požadavkům organismu v rozsahu jeho základní i fyziologicky zvýšené potřeby. Pestrá smíšená strava je proto dostatečným zdrojem zinku. Případný nedostatek zinku zahrnuje poruchy růstu, narušení imunitních funkcí, poruchy reprodukce, komplikace v těhotenství, poruchy kůže i tzv. psychomotorické problémy včetně poruch smyslového vnímání.

Vzájemná chemická podobnost kadmia a zinku působí problémy, protože kadmium může snadno vstupovat do různých enzymatických reakcí místo zinku a následné biochemické pochody neproběhnou nebo probíhají jiným způsobem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GREENWOOD, N. N. a A. EARNSHAW. Chemie prvků, svazek 2. Praha: Informatorium, 1993, 1635 s. ISBN 80-85427-38-9.
- [2] VELÍŠEK, Jan. Chemie potravin 2. Tábor: OSSIS, 1999, 304 s. ISBN 80-902-3912-9.
- [3] CIBULKA, Jiří a kolektiv. Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře. Praha: Academia, 1991, 427 s. ISBN 80-200-0401-7.
- [4] REMY, Heinrich. Anorganická chemie: II. díl. Praha: SNTL, 1972, 831 s.
- [5] TICHÝ, Miloň. Toxikologie pro chemiky: toxikologie obecná, speciální, analytická a legislativa. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2004, 119 s. ISBN 80-246-0566-X.
- [6] LANGMAIER, Ferdinand. Nauka o zboží. 3. nezměněné vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004, 144 s. ISBN 80-731-8173-8.
- [7] Vyhláška č. 305/2004 Sb. ze dne 6. května 2004, kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách
- [8] BENCKO, Vladimír. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. 2. přepr. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, 1995, 282 s. ISBN 80-716-9150-X.
- [9] KRIŠTOFOVÁ, Dana. Kovy a životní prostředí: environmentálně nebezpečné složky elektroodpadu. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2005. ISBN 80-248-0740-8.
- [10] HADAČ, Emil. Ekologické katastrofy. Praha: Nakladatelství Socialistické akademie ČSSR, 1987, 216 s. ISBN 40-017-87.
- [11] PROKEŠ, Jaroslav. Úvod do toxikologie. Praha: 1. Lékařská fakulta Praha, 2005.
Dostupné z: <http://soudni.lf1.cuni.cz/Data/files/skripta2005.doc>
- [12] HANKEOVÁ, Eva a Ernst WEGNER. Zinek: nová vitalita pro vaše tělo. Překlad Zlata Kufnerová. Praha: Ivo Železný, 2001, 114 s. ISBN 80-240-1847-0.
- [13] JANČA, Jiří. Co nám chybí: kovy, jiné prvky a vitamíny v lidském těle. 2. rozš. vyd. Praha: Eminent, 1998, 123 s. ISBN 80-900-1762-2.
- [14] ODSTRČIL, Jaroslav a Milada ODSTRČILOVÁ. Chemie potravin. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2006, 164 s. ISBN 80-701-3435-6.

- [15] SATARUG, Soisungwan, Scott H. GARRETT, Mary Ann SENS a Donald A. SENS. Cadmium, Environmental Exposure, and Health Outcomes. *Environmental Health Perspectives*. 2009-10-05. ISSN 0091-6765. DOI: 10.1289/ehp.0901234. Dostupné z: <http://www.ehponline.org/ambra-doi-resolver/10.1289/ehp.0901234>
- [16] CADMIUM: Working Towards a Sustainable Future. Cadmium exposure and human health [online] [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.cadmium.org>
- [17] Wikipedia: otevřená encyklopedie. Zinek [online] [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zinek>
- [18] Wikipedia: otevřená encyklopedie. Kadmium [online] [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kadmium>
- [19] VANĚK, Václav. Výživa polních a zahradních plodin. Praha: Profi Press, 2007, 167 s. ISBN 978-80-86726-25-0.
- [20] Gastro News. Těžké kovy v životním prostředí a jejich vliv na lidský organismus [online] [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://hygienu.gastronews.cz/tezke-kovy-v-zivotnim-prostredi-a-jejich-vliv-na-lidsky-organismus>
- [21] SWERDEL, Mavis R. a Robert J. COUSINS. Induction of Kidney Metallothionein and Metallothionein Messenger RNA by Zinc and Cadmium. 1982. Dostupné z: <http://jn.nutrition.org/content/112/4/801.full.pdf>
- [22] BELITZ, H., W. GROSCH a P. SCHIEBERLE. Food chemistry. Berlin: Springer, 2009, 1070 s. ISBN 9783540699347.
- [23] HAMBIDGE, K. Michael a Nancy F. KREBS. Zinc Deficiency: A Special Challenge. 2007. Dostupné z: <http://jn.nutrition.org/content/137/4/1101.full.pdf+html>
- [24] PLUM, Laura M., Lothar RINK a Hajo HAASE. The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2010, s. 1342-1365. ISSN 1660-4601. DOI: 10.3390/ijerph7041342. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1660-4601/7/4/1342/>
- [25] NEXARS: Ve zdraví je budoucnost. Zinek [online] [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.nexars.com/cs/zinek.php>

- [26] ALISSA, Eman M. a Gordon A. FERNS. Heavy Metal Poisoning and Cardiovascular Disease. *Journal of Toxicology*, 2011, s. 1-21. ISSN 1687-8191. DOI: 10.1155/2011/870125. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/jt/2011/870125/>
- [27] VOET, E., J. GUINÉE, H. UDO DE HAES a J. C. BERGH. Heavy metals: a problem solved?: Methods and models to evaluate policy strategies for heavy metals. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, 242 s. ISBN 07-923-6192-X.
- [28] SARKAR, Bibudhendra. Heavy metals in the environment. New York: Marcel Dekker, 2002, 725 s. ISBN 08-247-0630-7.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a kol.	A kolektiv
aj.	A jiné
Ala	Alanin
AMK	Aminokyselina
atd.	A tak dále
č.	Číslo
ČR	Česká republika
dm	Decimetr
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
FAO	Organizace pro výživu a zemědělství
g	Gram
GIT	Gastrointestinální trakt
Glu	Kyselina glutamová
Gly	Glycin
IAA	Kyselina indolyloctová
JECFA	Společný výbor expertů FAO/WHO pro potravinářská aditiva
kg	Kilogram
Lys	Lysin
m	Metr
mg	Miligram
ml	Mililitr
např.	Například
NPM	Nejvyšší přípustné množství
Obr.	Obrázek
ppm	Částic na jeden milion

PVC	Polyvinylchlorid
RNA	Ribonukleová kyselina
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
tj.	To je
tzv.	Tak zvané
USA	Spojené státy americké
Val	Valin
WHO	Světová zdravotnická organizace
µg	Mikrogram

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Změny koncentrací Cd v Grónském ledu a sněhu od r. 1800 do r. 1995	15
Obrázek č. 2: Expozice kadmia pro člověka z různých zdrojů.....	21
Obrázek č. 3: Průměrný měsíční příjem kadmia pro širokou veřejnost.....	22
Obrázek č. 4: Omezený růst, žloutnutí listů kukuřice při nedostatku Zn	28
Obrázek č. 5: Mírné příznaky kadeřavosti chmele na listech	28

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Vybrané vlastnosti kadmia.....	14
Tabulka č. 2: Vybrané vlastnosti zinku	25
Tabulka č. 3: Vliv zvýšené nabídky P na příjem Zn kukuřicí	26
Tabulka č. 4: Obsah zinku v cereálních výrobcích a jeho poměr k fytové kyselině	31
Tabulka č. 5: Nejvyšší přípustné množství kadmia v potravinách	34
Tabulka č. 6: Nejvyšší přípustné množství zinku v potravinách	34

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: Obsah kadmia ve vybraných potravinových surovinách a potravinách

PŘÍLOHA P II: Obsah zinku ve vybraných potravinových surovinách a potravinách

**PŘÍLOHA P I: OBSAH KADMIA VE VYBRANÝCH
POTRAVINOVÝCH SUROVINÁCH A POTRAVINÁCH**

Potravina	Cd [mg.kg⁻¹]	Potravina	Cd [mg.kg⁻¹]
Maso vepřové	0,001-0,01	Hrách	0,01-0,03
Maso hovězí	<0,001-0,01	Fazole	0,003-0,02
Maso kuřecí	0,001-0,005	Sója	0,04-0,09
Játra vepřová	0,025-0,10	Zelí	0,01-0,017
Játra hovězí	0,03-0,17	Květák	0,002-0,02
Ledviny vepřové	0,07-0,52	Špenát	0,01-0,35
Ledviny hovězí	0,06-2,0	Hlávkový salát	0,002-0,16
Ryby mořské	0,001-0,07	Rajčata	0,002-0,05
Ryby sladkovodní	0,001-0,005	Mrkev	0,003-0,16
Mléko plnotučné	<0,0001-0,001	Hrášek	0,001-0,03
Tvaroh	<0,002	Cibule	0,004-0,05
Sýry	0,005-0,02	Brambory	0,002-0,06
Jogurt	0,001-0,003	Houby	0,01-0,33
Vežce slepičí	0,001-0,01	Jablka	0,001-0,002
Pšenice	0,02-0,35	Pomeranče	0,001-0,007
Mouka pšeničná	0,01-0,09	Banány	<0,002
Chléb celozrnný	0,02-0,05	Jahody	0,001-0,03
Rýže loupaná	0,004-0,14	Hrozny	0,001-0,002
Žito	0,004-0,04	Arašídny	0,01-0,51
Ječmen	0,004-0,04	Čaj černý	0,005-0,12
Oves	0,004-0,07	Káva pražená	0,003-0,007
Kakao	0,095-0,17	Čokoláda mléčná	0,005-0,01

**PŘÍLOHA P II: OBSAH ZINKU VE VYBRANÝCH
POTRAVINOVÝCH SUROVINÁCH A POTRAVINÁCH**

Potravina	Zn [mg.kg ⁻¹]	Potravina	Zn [mg.kg ⁻¹]
Maso vepřové	17-40	Sója	29-67
Maso hovězí	30-43	Zelí	1,5-2,9
Maso kuřecí	8,1-12	Květák	3,2-7,8
Játra vepřová	56-112	Špenát	4,3-13
Ryby	3,3-27	Hlávkový salát	3,3-9,0
Mléko plnotučné	3,4-4,7	Rajčata	1,2-4,8
Tvaroh	13-14	Mrkev	2,5-5,9
Sýry	36-44	Hrášek	11-15
Jogurt	5,3-5,6	Cibule	3,1-5,2
Vejsce slepičí	13-15	Brambory	1,7-4,9
Vaječný bílek	2,0	Jablka	0,2-4,9
Vaječný žloutek	38	Pomeranče	0,9-1,2
Pšenice	26-38	Banány	0,01-0,33
Mouka pšeničná	8-36	Jahody	1,1-1,9
Chléb celozrnný	13-29	Vlašské ořechy	24
Rýže loupaná	10-15	Čaj černý	23-38
Hrách	20-49	Káva pražená	6,1-8,0
Čočka	28-32	Čokoláda mléčná	18-19
Fazole	21-38	Mateřské mléko	1,2