

## RASKMETALLID KARTULIS

H. Kärblane, L. Kevvai, J. Kanger

**SUMMARY: Heavy Metals in Potatoes.** *There are always heavy metals in smaller or larger quantities in potatoes. The content of these in the dry matter of potatoes grown in Estonia is characterised by data presented in Table 1. It can be seen that there is always a smaller degree of dangerous heavy metals (Pb, Cd, Hg) in potatoes than the maximum allowed grade in Estonia for table potatoes. The permitted grade for Pb is 3.0, for Cd 0.2 and for Hg 0.1 mg/kg in dry matter. Of the samples collected from 69 different Estonian regions only one contained more Cd than permitted, being 0.22 mg/kg in dry matter.*

*In potatoes there are also a few heavy metals (Mn, Zn, Cu, Co, Mo) that are seen as micro-elements. In no case is there a larger amount of these than allowed in food potatoes.*

*The content of heavy metals in different organs of the potato plant (roots, stalks, tubers) vary (Table 2). There are always more heavy metals in potato peel than in the inside of the tuber (Table 3).*

*The content of heavy metals in potatoes varies considerably (Table 1), being affected by the content of the corresponding heavy metal in the soil of the growing area, by the soil reaction, humus content, soil characteristics and fertilising. The variety of potato plays no role in the content of heavy metals.*

Kartul sisaldab suuremal või väiksemal määral raskmetalle. Viimastest loetakse pliid (Pb), kaadmiumi (Cd) ja elavhõbedat (Hg) ohtlikeks raskmetallideks, mangaani (Mn), vaske (Cu), tsinki (Zn), koobaltit (Co) ja molübdeeni (Mo) aga mikroelementidena käsitletavateks raskmetallideks. Vaadeldavate elementide väike sisaldus toidu ja söödana kasutatavates taimsetes produktides ei ole ohtlik. Mikroelementidena käsitletavaid raskmetalle peavad toidu- ja söödataimed sisaldama aga teatud optimaalsetes kogustes. Nende vähesus alandab toidu ja sööda bioloogilist väärtust. Nii ohtlike kui ka mikroelementidena käsitletavate raskmetallide liigne sisaldus taimedes näitab nende saastatust ja toiduks või söödaks kõlbmatust. Tervisliku toitumise seisukohalt on tarvis teada raskmetallide sisaldust nii toidukartulis kui ka söödana kasutatavas kartulis.

Enamiku raskmetallidest omastavad kartulitaimed mullast. Mida enam on üht või teist raskmetalli mullas, seda enam sisaldub neid ka kartulis. Kuid mitmel juhul mõjutab kartuli raskmetallide sisaldust ka õhu saastatus raskmetallidega. Kuna raskmetalle sisaldub Eesti põllu- ja aiamaalades laiaulatuses piirides ja et ka õhu saastatus on paikkonniti erinev, võib ka Eesti erinevates kohtades kasvanud kartuli raskmetallide sisaldus olla mitmesugune.

Et selgitada Eesti erinevates paikkondades kasvanud kartuli raskmetallide sisaldust ja selle alusel hinnata meil kasvanud kartuli raskmetallidega saastatust ning toidu ja söödana kasutamise kõlblikkust, aga ka Eestis kasvatatud kartuli vastavust Euroopa Liidus kehtestatud vastavatele nõuetele, korraldati põllumajandusministeeriumi tellimisel Eesti Maaviljeluse Instituudis (EMVI) vastav uurimus.

### Materjal ja meetodika

Metoodiliselt võib uurimistöö jagada viide ossa.

1. Eesti erinevatelt aladelt paariti mulla- ja kartuliproovide kogumine, neis raskmetallide sisalduse määramine ja analüüsitulemuste põhjal kogutud mulla- ja kartuliproovide saastusmäära hindamine. Selleks võeti spetsiaalraruutidel Eesti erinevate alade põldudel ja aedades kahest kõrvuti paiknevast kartulipesast mugulad ja samast kohast ka mullaproov raskmetallide sisalduse määramiseks. Kokku koguti 69 mulla- ja 69 kartuliproovi.

2. Kartulitaime erinevate organite või kartulimugula eri osade raskmetallide sisalduse erinevuste selgitamine. Selleks eraldati kartulitaime erinevad organid (juur, varred ja lehed ning mugulad) või mugula eri osad (koor, sisu) ja määrati neis raskmetallide sisaldus.

3. Kartuli raskmetallide sisalduse sõltuvuse selgitamine nende sisaldusest kasvukoha mullas. Selleks korraldati EMVI agroökoloogia sektori katseväljakul mikropõldkatsed, kus 30 cm kõrgused põhjata silindrid kaevati mulda ja täideti 25 cm ulatuses huumushorisoni mullaga. Vastavalt katse eesmärgile kasutati silindrite täiteks erinevate omadustega muldi.

Vastavalt väetistarbele anti foonväetisena mulda N-, P- ja K-väetisi. Happelise reaktsiooniga muldadel kasutati lubiväetisena keemiliselt puhast  $\text{CaCO}_3$  (kriiti).

Kuna mitme raskmetalli sisalduse erinevuste amplituud Eesti põllumuldade huumushorisonis on suhteliselt väike, siis mullas raskmetallide sisalduse suurema varieeruvuse saamiseks lisati mõnedes katsevariantides mulda erinevates kogustes raskmetalle.

Mikrolappidel (silindris) kasvatati kartulit, kaks taime lapil. Sügisel võeti kartul ja pärast kartuli koristamist ka mullaproovid. Määrati kartuli ja mulla raskmetallide sisaldus.

4. Raskmetallide sisalduse määramine taime- ja mullaproovides. Taimeosad puhastati mullast ja seejärel tavaliselt peenestati. Ainult proovides, mis olid ette nähtud raskmetallide sisalduse määramiseks mugula erinevates osades (koos ja sisu), kartul kooriti ja koored ning mugula sisu analüüsiti eraldi. Taime- ja mullaproovid kuivatati ja valmistati ette analüüsiks. Taime- ja mullaproovide raskmetallide sisaldus määrati kas Riikliku Taimekaitseameti Agrokeemiakeskuses või Soome Põllumajandusuurimiskeskuses. Riikliku Taimekaitseameti Agrokeemiakeskuses määrati Pb-, Cd- ja Hg-sisaldus mullas üldsisaldusena, mikroelementidena käsitletavate raskmetallide sisaldus aga liikuvate ühendite sisaldusena. Soomes määrati kõigi vaadeldavate raskmetallide (välja arvatud Hg) sisaldus mullas AAAC-EDTA meetodil.

Keemiliste elementide bioloogilise kontsentratsiooni koefitsiendi (BK) määramine. BK iseloomustab taime ja kasvukoha mulla ühe ehk teise keemilise elemendi kontsentratsiooni suhet ja see leiti järgmiselt:

$$BK = \frac{\text{elemendi sisaldus taime kuivaines, mg / kg}}{\text{elemendi sisaldus mullas, mg / kg}}$$

## Tulemused ja arutelu

### Raskmetallide sisaldus kartulis

Antud kirjutises mõistetakse kartuli all tavaliselt kartulimugulat. Kui aga käsitletakse kartulitaime erinevaid organeid ja nende raskmetallide sisaldust, on märgitud taime ühe ehk teise organi (juur, vars+lehed (pealsed), mugulad) nimetus.

Meil kasvatatava kartuli raskmetallide sisaldust iseloomustatakse Eesti erinevate alade kartulipõldudel ja aedadest kogutud 69 kartuliproovi raskmetallide sisalduse alusel.

Tabelis 1 on toodud kogutud kartuliproovide raskmetallide sisalduse varieeruvus ja ühe ehk teise raskmetalli keskmine sisaldus ( $\bar{x}$ ). Kartuli Pb-, Cd- ja Hg-sisaldust on võrreldud Riigi Tervisekaitsekeskuse poolt Eestis kasutatavale toidukartulile kehtestatud ühe ehk teise raskmetalli sisalduse maksimaalselt lubatud piirkontsentratsiooniga (LPK). Toidukartuli raskmetallide sisalduse LPK-deks on Eestis kehtestatud järgmised arvvaartused: Pb – 0,5, Cd – 0,03 ja Hg – 0,02 mg toormassi kilogrammis. Võttes kartulimugulate keskmiseks kuivainesisalduseks 20 %, oleks toidukartuli kuivaine vaadeldavate raskmetallide sisalduse LPK-d järgmised: Pb – 3,0, Cd – 0,2 ja Hg – 0,1 mg/kg.

**Tabel 1.** Raskmetallide sisaldus kartulis, mg/kg kuivaines  
**Table 1.** The content of heavy metals in potatoes, mg/kg dry matter

Kartuli päritolu <i>The origin of the potato</i>	n	Pb	Cd	Hg	Mn	Zn	Cu	Co	Mo
Aiast / <i>From the garden</i>									
varieeruvus / <i>stage of variety</i>	16	0,29...0,74	0,016...0,130	0,0100...0,0659	3,0...10,5	8,2...17,0	1,4...8,9	0,040...0,107	0,095...0,794
$\bar{x}$		0,54	0,066	0,0267	7,4	12,0	2,1	0,041	0,348
Põllult / <i>From the field</i>									
varieeruvus / <i>stage of variety</i>	53	0,25...1,46	0,011...0,220	0,0065...0,0700	3,1...14,0	4,3...19,4	0,5...5,7	0,028...0,116	0,033...1,607
$\bar{x}$		0,62	0,068	0,0327	6,3	9,9	2,4	0,065	0,382
neist / <i>of these</i>									
kamar-karbonaatmuldadel / <i>on sod-calcareous soil</i>									
varieeruvus / <i>stage of variety</i>	29	0,25...1,46	0,012...0,110	0,0065...0,0700	3,1...8,5	4,3...14,1	0,8...5,3	0,028...0,116	0,033...1,122
$\bar{x}$		0,61	0,061	0,0318	5,7	8,9	2,2	0,062	0,428
kamar-leetmuldadel / <i>on sod-podzolic soil</i>									
varieeruvus / <i>stage of variety</i>	24	0,25...0,81	0,011...0,220	0,0100...0,0667	3,7...14,0	4,8...19,4	0,5...5,7	0,036...0,105	0,095...1,607
$\bar{x}$		0,63	0,076	0,0339	7,0	10,4	2,7	0,068	0,327
Kõik kokku / <i>Total</i>									
varieeruvus / <i>stage of variety</i>	69	0,25...1,46	0,011...0,220	0,0065...0,0700	3,0...14,0	4,3...19,4	0,5...8,9	0,028...0,116	0,033...1,607
$\bar{x}$		0,60	0,069	0,0314	6,5	10,4	2,3	0,060	0,388

Toidukartuli mikroelementidena käsitletavate raskmetallide sisalduse LPK-sid ei ole Riigi Tervisekaitsekeskuse poolt kehtestatud. Mitmetes maades on ka toidukartuli ja köögiviljade mõnede mikroelementide sisaldusele kehtestatud LPK-d. Toidukartuli kuivaine Zn-sisalduse LPK-ks soovitatakse enamasti 50 mg/kg (Iljin, 1991; Instruksija..., 1994), Cu-sisaldusele aga 15 mg/kg (Sillanpää, 1990; Instruksija..., 1994).

Nende mikroelementide sisalduse hindamisel, milliste kohta ei ole kirjanduses õnnestunud leida toidukartuli maksimaalselt lubatavaid sisaldusi, võrdleme meil kasvanud kartuli mikroelementide sisaldust söödakartulis ühe ehk teise mikroelemendi optimaalse sisalduse või söötade kuivaine ühe ehk teise mikroelemendi sisalduse LPK alusel.

Söötade kuivaine optimaalseks Mn-sisalduseks loeb Oll (1974) 30...40, Minejev (1990) 40...60 ja Aleksejev (1978) ning Fedju ~~mg/kg 1989~~ <sup>kin</sup> 1989; Minejev, 1990; Sillanpää, 1990). Niisugase Co-sisalduse jaoks söödakartuli kuivaines sisalduda mangaani üle 60 mg/kg, sest mangaani liig söödas põhjustab ateroskleroosi (Aleksejev, 1978).

Koobalti optimaalseks sisalduseks söötade kuivaines loetakse 0,25...1,0 mg/kg (Fedju <sup>kin</sup> 1989; Minejev, 1990). Kui aga söödaratsiooni kuivaine Co-sisaldus langeb alla 0,035 mg/kg, hakkab loomade produktiivsus oluliselt langema (Minejev, 1990).

Söötade kuivaine optimaalseks Mo-sisalduseks loetakse 0,2...0,5 mg/kg (Fedju <sup>kin</sup> 1989; Minejev, 1990; Sillanpää, 1990). Molübdeeni liig nii toidus kui söödas mõjub kahjulikult ja 2,5 mg/kg ületav Mo-sisaldus sööda kuivaines mõjub juba toksiliselt. Seejuures on veised molübdeeni liia suhtes tundlikumad kui lambad ja hobused (Terling, 1971).

Tabeli 1 andmetest selgub, et Eesti erinevatelt aladelt kogutud kartuli kuivaines sisaldus pliid 0,25...1,46, keskmiselt 0,6 mg/kg. Seega ei ületanud kartuli Pb-sisaldus mitte ühelgi juhul toidukartuli LPK-d. Isegi pliiga saastatud mullal kasvanud kartuli kuivaine Pb-sisaldus ei ületa alati söögikartuli Pb-sisalduse LPK-d. Mikropõldkatsetes, kus kartuli kasvukoha mulla Pb-sisaldust suurendati plii täiendava muldaviimisega, ületas kartuli Pb-sisaldus LPK alles siis, kui mulla Pb-sisaldus ületas happelises saviliivmullas 140 mg/kg, karbonaatses liivsavimullas aga 180 mg/kg.

Kuigi kamar-karbonaatmullad osutuvad kamar-leetmuldadest tavaliselt pliirikkamateks, ei ole kamar-karbonaatmuldadel kasvanud kartul kamar-leetmuldadel kasvanust pliirikkam (tabel 1). Võrreldes aia- ja põllumuldade Pb-sisaldust, selgub et aiad on põllumuldadest Pb-rikkamad. Sellest võib oletada, et aias kasvanud kartul on põllul kasvanust Pb-rikkam. Tegelikult on pilt aga vastupidine: põllul kasvanud kartul on aias kasvanust Pb-rikkam. Tingitud on see sellest, et aiad on põllumuldade reaktsioon on põllumuldade omast paremini reguleeritud ja et aiad on põllumuldadest enamasti huumuserikkamad. Nagu hiljem näeme, omastavad taimed neutraalsetest ja karbonaatsetest ning huumuserikkamatest muldadest pliid vähem kui happelisematest ja väiksema huumusesisaldusega muldadest.

Kuigi kirjanduses (Scheffer, Schachtschabel, 1982; Minejev, 1990) väidetakse, et suurte magistraalteede ääres kasvanud kartul on sageli pliiga ohtlikult saastatud, ei ole meil ka magistraalteede ääres kasvanud kartul osutunud pliiga saastatuks. Vist on liiklustihedus meil olnud seni veel liiga väike.

Analüüsitud kartuliproovide kuivaines sisaldus kaadmiumi 0,011...0,220 mg/kg. Keskmiselt sisaldus seda aedades kasvanud kartulis 0,066, põllul kasvanus aga 0,068 mg/kg.

Eesti erinevatelt aladelt kogutud 69 kartuliproovist ainult ühes (Antslast pärinevas) ületas Cd-sisaldus toidukartuli Cd-sisalduse LPK-d, sisaldades kuivaines 0,22 mg/kg kaadmiumi, kusjuures selle kartuli kasvukoha muld ei olnud kaadmiumiga ohtlikult saastatud, sisaldades kilogrammis mullas ainult 1,8 mg Cd.

Ka mitmetes teistes maades on toidu- ja söödataimede kuivaine Cd-sisalduse LPK-ks kehtestatud 0,2 mg/kg. See on aga küllaltki madal piirmäär, millest tingituna paljudel juhtudel taimede Cd-sisaldus ületab selle elemendi maksimaalselt lubatava sisalduse ja seda isegi juhul, kui kasvukoha mulla Cd-sisaldus ei ületa mulla vastava elemendi sisalduse LPK-d (3 mg/kg). Tingituna sellest on soovitatud alandada mulla kaadmiumisisalduse LPK-d, alandades seda 2 milligrammi kilogrammis (Sauerbeck, Styperek, 1988) või köögiviljade kasvualadel isegi alla selle (Iljin, 1991).

Et söödana saaks kasutada ka kõrgema Cd-sisaldusega taimi, on mitmetes maades söödataimede Cd-sisalduse LPK-le kehtestatud kõrgemad näidud. Nii on Saksamaal veiste ja

lammaste toorsöötade kuivaine Cd-sisalduse lubatavaks piirmääraks 1 mg/kg, sigade sööda kuivaines 0,5...1 ja lindude omas 0,5 mg/kg (Minejev, 1990). Ka Pokrovskaja (1981) soovib söödataimede kuivaine Cd-sisalduse LPK lugeda 0,5 mg/kg.

Tähtis ei ole ainult toidutaimede kaadmiumisisaldus, vaid ka toiduga päevas või nädalas saadav kaadmiumikogus. Maaailma Tervishoiuorganisatsiooni poolt on 60 kg kehamassiga inimese nädalaseks Cd-koguseks lubatud 0,4...0,5 mg (Scheffer, Schachtschabel, 1982). Kui Eestis täiskasvanud inimene sööb nädalas keskmiselt 1,8 kg kartulit (~0,36 kg kuivainet) ja kui 1 kilogrammis kartuli kuivaines sisaldub 0,1 mg Cd, siis sellise kogusega saab ta nädalas 0,036 mg (päevas ~5 µg) kaadmiumi, mis moodustab nädalas lubatud kogusest ainult 8 %. Schefferi ja Schachtschabeli (1982) arvestuste kohaselt satub täiskasvanud inimese organismi toiduga päevas 30...67 µg kaadmiumi ning sellest saab ta 16 % kartuliga ja 13 % leivaga. Eestlane saab kartuliga päevas ainult 5 µg kaadmiumi. Seega ei tohiks kartuli Cd-sisaldus kahjustada sööja tervist isegi juhul, kui kartuli kuivaines on kaadmiumi 0,22 mg/kg.

Kartuli kuivaine **elavhõbedasisaldus** varieerub piires 0,0065...0,0700 mg/kg (tabel 1). Kuid samuti nagu pliid ja kaadmiumi sisaldus ka elavhõbedat kamar-leetmuldadel kasvanud kartulis enam kui kamar-karbonaatmuldadel kasvanus. Kuid alati oli kogutud kartuliproovide Hg-sisaldus väiksem kui LPK (0,1 mg/kg).

Üldse loetakse kartulit elavhõbedaga vähe saastatud kultuuriks. Kartulimugulate väike elavhõbedasisaldus on tingitud just sellest, et kartulitaimed omavad tugevat kaitsemehhanismi, mis takistab Hg tungimist juurtest teistesse taimeosadesse. Sõrini ja Obuhovskaja (1980) uurimuste kohaselt paikneb 95 % kartulitaimes sisalduvast elavhõbedast juurtes.

Et Eestis kasvanud kartul ei ole elavhõbedaga saastatud ja et Hg-sisalduselt vastab see täiesti Eestis kui ka Euroopa maades toidukartulile kehtestatud nõuetele, selgub ka nendest arvestustest, kus aluseks on võetud Maaailma Tervishoiuorganisatsiooni poolt täiskasvanud inimesele nädalas toiduga lubatav elavhõbeda kogus – 0,35 mg (Scheffer, Schachtschabel, 1982). Kui täiskasvanud inimene sööb nädalas keskmiselt 1,8 kg kartulit ja kui kartuli kuivaines sisaldub keskmiselt 0,0314 mg/kg elavhõbedat, satub kartuliga nädalas inimorganismi 0,0113 mg elavhõbedat, mis moodustab lubatud nädalanormist umbes 3 %. Isegi juhul, kui sööksime pidevalt Eestis kõige elavhõbedarikkamat kartulit (sisaldas kuivaines 0,0700 mg Hg/kg), saaks inimene kartuliga nädalas 0,0252 mg elavhõbedat, mis moodustaks lubatavast nädalakogusest ainult 7 %.

**Mangaanis**isaldus kogutud kartuliproovide kuivaines oli 3,0...14,0, keskmiselt 6,5 mg/kg (tabel 1). Seejuures oli kamar-karbonaatmuldadel kasvanud kartul kamar-leetmuldadel kasvanust Mn-vaesem. Vähe sisaldus mangaani ka aias kasvanud kartulis.

Eestis kasvanud kartul on suhteliselt Mn-vaene, sisaldades kuivaines seda keskmiselt 6,5 mg/kg. Soomes varieerub kartuli kuivaine Mn-sisaldus vahemikus 16...20 mg/kg, olles keskmiselt 18 mg/kg (Yläranta, Sillanpää, 1984).

Üldse on kartul üks Mn-vaesemaid toidu- ja söödataimi. Võrdluseks olgu toodud, et söögipeedi juurikate kuivaines sisaldus mangaani 32...97, silo kuivaines aga 88...97 mg/kg. Isegi teraviljade terades on seda sageli enam kui kartulis. Seejuures varieerub kartuli Mn-sisaldus suhteliselt väikestes piirides.

Et mangaan on vähetoksiline, ei ole toiduainete Mn-sisaldust seni normeeritud. Küll aga loetakse täiskasvanud inimese päevaseks Mn-vajaduseks 5...10 mg (Törling, 1971). Võttes täiskasvanud inimese aastas tarbitavaks kartulikoguseks 90 kg, saab inimene kartuliga päevas keskmiselt 0,5 mg mangaani. Järelikult on mangaani kartulis enam vähe kui palju. Sama võib öelda ka kartuli söödana kasutamisel. Zootehniliselt loetakse söötade kuivaine optimaalseks Mn-sisalduseks 20...60 mg/kg (Henning, 1972; Aleksejev, 1978). Seega Eestis kasvanud kartul ei vasta Mn-sisalduselt zootehnilistele nõuetele, sest temas on optimaalseks peetava sisalduse alampiirist vähem mangaani. A. Henningi (1972) andmetel vähendab Mn-puudus loomade inda ja suurendab abortide arvu.

Vähe sisaldub kartulis ka **tsinki**. Kogutud kartuliproovide kuivaines oli tsinki 4,3...19,4, keskmiselt 10,4 mg/kg (tabel 1). Aedades kasvanud kartul oli põllul kasvanust Zn-rikkam, sest keskmiselt sisaldus esimeses 12,0, teises aga 9,9 mg/kg tsinki. Võrreldes Soome kartuliga on meie kartul Zn-vaesem, sest Soome kartuli kuivaines sisaldub tsinki keskmiselt 18 mg/kg (Yläranta, Sillanpää, 1984).

Seega jääb Eestis kasvanud kartuli Zn-sisaldus toidukartuli Zn-sisalduse LPK-st (50 mg/kg) mitu korda väiksemaks.

Täiskasvanud inimese ööpäevaseks Zn-vajaduseks loetakse 10...15 mg (Töerling, 1971). Praeguse osatähtsuse juures toidus katab kartul väga väikese osa Zn-vajadusest. Meid lohutab aga see, et mitmetes toiduks kasutatavates taimedes (teravili, juurviljad) sisaldub tsinki mitu korda enam kui kartulis.

Söötade kuivaine optimaalseks Zn-sisalduseks loetakse 20...60 mg/kg (Fedjuškin, 1989). Seega osutub Eestis kasvanud kartul Zn-vaeseks söödaks ja ennem kannatavad loomad tsingi puuduse kui liia all. Tsingi vaegus põhjustab loomadel karvade väljalangemist ja isutust.

Söödataimede kuivaine maksimaalselt lubatavaks Zn-sisalduseks loetakse 300...400 mg/kg (Allaway, 1968). Sellise Zn-sisaldusega kartulit ei ole me saanud isegi tsinkväetistega rikkalikult väetatud põllult.

**Vaske** sisaldub kartuli kuivaines 0,5...8,9, keskmiselt 2,3 mg/kg, mis jääb oluliselt väiksemaks toidukartuli kuivaine Cu-sisalduse LPK-st (15 mg/kg) ning ka köögiviljade kuivaine Cu-sisalduse LPK-st, milleks Kiipli ja Orlova (1996) on toonud 33 mg/kg. Seega sisaldub kartulis vaske vähe ja praeguste toitumistavade juures katame kartuliga väikese osa täiskasvanud inimese ööpäevasest vasevajadusest, milleks Töerling (1971) loeb 2 g. Arvestama peab sedagi, et laste toiduratsioon peaks olema vaserikkam.

Võrreldes Soome kartuliga, mille kuivaines sisaldub vaske keskmiselt 5,4 mg/kg, on Eesti kartul peaaegu kaks korda vasevaesem.

Kartulit tuleb hinnata kui suhteliselt vasevaest sööta, sest söötade kuivaine optimaalseks Cu-sisalduseks loetakse 3...12 mg/kg (Fedjuškin, 1989). Seega ei tule karta kartuli liigset Cu-sisaldust, vaid ennem tuleb hoolitseda kartuli vasesisalduse suurendamise eest.

Vähe sisaldus kogutud kartuliproovides ka **koobaltit**, keskmiselt 0,060, varieerudes 0,028...0,116 mg/kg kuivaines (tabel 1). Seejuures on kamar-leetmuldadel kasvanud kartul kamar-karbonaatmuldadel kasvanust koobaltirikkam. Eriti vähe sisaldub koobaltit aga aias kasvanud kartulis, põllul kasvanust umbes kolmandiku võrra vähem.

Taimede väike Co-sisaldus ei häiri taimede kasvu, kuid alandab nende toidu- ja söödaväärtust. Liigne Co-sisaldus toidu- ja söödataimedes ei osutu inimestele ja loomadele eriti ohtlikuks ja tema liiast põhjustatud kahjustusnähud avalduvad harva. Seetõttu ei ole määratud ka toidu maksimaalselt lubatavat Co-sisaldust. Kuid väikestes kogustes on koobalt nii inimestele kui ka loomadele vajalik. Täiskasvanud inimese ööpäevaseks Co-vajaduseks loetakse 0,1...0,2 mg (Töerling, 1971). Ligemale viiendiku vajalikust Co-kogusest saab inimene kartulitoitudest.

Söötade optimaalse Co-sisalduse kohta on arvamused lahkuminevad, kuid valdavalt pakutakse söötade kuivaine optimaalseks Co-sisalduseks 0,1...0,2 mg/kg. Kui aga söödaratsiooni kuivaine Co-sisaldus langeb alla 0,07 mg/kg, alaneb loomade produktiivsus (Anspok, 1990). Järelikult osutub kartul Co-vaeseks söödaks ja koobalti puudus tuleb katta teiste, Co-rikkamate söötadega, näiteks jõusöötade ja liblikõieliste heintaimedega.

**Molübdeeni** sisaldub kartuli kuivaines 0,033...1,607, keskmiselt 0,388 mg/kg. Kui juba käsitletud raskmetalle sisaldus kamar-karbonaatmuldadel kasvanud kartulis vähem kui kamar-leetmuldadel, siis Mo-sisalduse puhul on pilt vastupidine (tabel 1).

Võrreldes Eestis ja Soomes kasvanud kartuli Mo-sisaldust, selgub, et meie kartulis on molübdeeni 2,8 korda enam kui Soome kartulis, sest Ylärinta ja Sillanpää (1984) andmetel sisaldub Soome kartuli kuivaines molübdeeni keskmiselt ainult 0,14 mg/kg.

Võrreldes teiste põllukultuuridega osutub kartul Mo-vaesemaks kultuuriks. Nii heintaimedes kui teraviljades on molübdeeni märksa rikkalikumalt. Eriti Mo-rikkasteks osutuvad liblikõielised taimed. Näiteks herne ja ristiku kuivaines võib Mo-sisaldus ulatuda 3...4 milligrammini kilogrammis.

Täiskasvanud inimese ööpäevaseks Mo-vajaduseks loetakse 0,5 mg (Töerling, 1971). Sellisest Mo-vajadusest katab eestlane väga väikese osa (umbes 2 %) kartuliroogadega saadava molübdeeni arvel.

Loomade sööda kuivaines peaks molübdeeni sisalduma 0,2...0,25 mg/kg. Seega kartuli-sööt rahuldab loomade Mo-vajaduse, kuid seejuures isegi Maardu ümbruskonnas kasvav Mo-rikas (sisaldas kuivaines kuni 1,607 mg/kg) kartul ei osutu loomadele toksiliseks, sest A. Henning (1972) loeb söödaratsiooni kuivaine maksimaalselt lubatavaks Mo-sisalduseks 5...10 mg/kg.

### Raskmetallide sisaldus kartulitaime erinevates organites ja mugula eri osades

Keemiliste ühendite omastamine taimede poolt on teatud määral reguleeritav protsess. See sõltub rakukesta ehitusest ja keemilisest koostisest. Raku membraan omab biokatalüütilist aktiivsust ning seega reguleerib ainete liikumist taimes. Toiteioonid liiguvad taimes kas transpiratsiooni- või assimilatsioonivoolu teede kaudu. Kuid nad võivad liikuda ka selleks mittespetsialiseerunud kudede kaudu. Siin eristatakse apoplasmaatilist või sümplasmaatilist teed (Aleksejev, 1987). Apoplasmaatilisel liikumisel võivad taimedesse sattuda ka juhuslikud, taimede kasvuks mittevajalikud ioonid. Sümplasmaatiline liikumine omab aga valivat iseloomu.

Nimetatud liikumiste osatähtsus erinevates taimedes kui ka ühe ja sama taime erinevates organites võib olla erinev. Sellest ongi tingitud asjaolu, et mullas teatud elemendi võrdse sisalduse juures sisaldub ühes taimes seda kas vähem või rohkem kui teises, aga ka see, et taime erinevate organite raskmetallide sisaldus on erinev.

Metallide ioonid liiguvad juurtest vegetatiivorganitesse peamiselt apoplasmaatilisel teel, sealt edasi assimilaate koguvatesse organitesse aga sümplasmaatilisel teel. Sümplasti bioloogiline filter takistab raskmetallide liikumist kartuli juurtest pealsetesse ja sealt edasi mugulatesse.

Määrates kartulitaime erinevate organite raskmetallide sisaldust, selgus (tabel 2), et vaadeldavate raskmetallide sisalduselt reastusid kartulitaime organid järgmiselt: juured > pealsed > mugulad.

Seega avaldub selgelt kaitsemehhanismi toime raskmetallide edasiliikumisel juurtest pealsetesse kui ka sealt edasi mugulatesse. Seejuures on kaitsemehhanismist tingitud raskmetallide taimes liikumise pidurduse ulatus erinevate raskmetallide puhul erinev. Suhteliselt hästi liiguvad kartulitaimes Mn, Cd ja Mo, milliseid sisaldub mugulates 2,42...3,22 korda vähem kui juurtes. Kõige enam erinevad mugulad ja juured Pb-sisalduselt, kus juurte Pb-sisaldus ületab mugulate oma 8,62-kordselt. Oluliselt on takistatud ka Hg ja Co edasiliikumine kartulitaime juurtest teistesse organitesse.

**Tabel 2.** Kartuli erinevate organite raskmetallide sisaldus, mg/kg kuivaines  
**Table 2.** The content of heavy metals in different organs of potato plants

	Juured /Roots	Varred / Stalks	Mugulad / Tubers
Pb	6,9	2,7	0,8
Cd	0,52	0,31	0,17
Hg	0,216	0,060	0,026
Mn	17,2	9,3	7,1
Zn	64,4	19,1	11,2
Cu	20,7	6,2	4,7
Co	0,531	0,172	0,067
Mo	0,73	0,31	0,22

Praktikas huvitab meid eelkõige mugulate raskmetallide sisaldus, sest kartulitaime teisi osasid toiduks ega söödaks ei kasutata.

Kartulimugul on omapärase ehitusega. Valminud mugulat katab korkkiht, mida nimetatakse mugula kooreks. Korkkiht koosneb 6...10 rakkude kihist. Korgi all on tärkliserikkad parenhüümtrakud. Nendele järgneb kiudsoonterikas kambiaalne kiht. Kiudsoonte kimbust seespool asuv mugula keskosa on täidetud õhukeseseinaliste tärkliserikaste parenhüümirakkudega. Tingituna mugula sellisest ehitusest on mugula koor sisust mineraalainete-, sealhulgas ka raskmetalliderikkam.

Selgitamaks raskmetallide sisaldust mugula sisus ja koores ning selle sõltuvust ühe ehk teise raskmetalli sisaldusest kasvukoha mullas, kasvatati kartulit raskmetallidega erinevalt saastatud muldadel. Saadud mugulad kooriti ja määrati raskmetallide sisaldus kooritud mugulas (mugula sisus) ja koortes. Tabelis 3 on kasvukoha mulla raskmetallide sisaldus Pb, Cd ja Hg kohta toodud üldsisaldusena, Zn, Mn, Cu, Co ja Mo puhul aga liikuvate ühendite sisaldusena.

**Tabel 3.** Raskmetallide sisaldus kooritud kartuli ja kartulikoorte kuivaines

**Table 3.** The content of heavy metals in the dry matter of the peeled potato and the potato peel

	Sisaldus mg/kg / Content mg/kg		
	mullas <i>in the soil</i>	kooritud kartulis <i>in the peeled potato</i>	kartulikoortes <i>in the potato peel</i>
Pb	14	1,3	3,1
	210	6,0	25,5
Cd	0,09	0,086	0,110
	0,13	0,100	0,127
Hg	0,036	0,033	0,070
	0,086	0,048	0,101
Zn	0,47	11,0	12,3
	0,70	15,8	18,9
Mn	132	8,9	10,8
	807	22,1	27,4
Cu	2,1	4,65	6,18
	7,5	8,70	12,88
Co	0,58	0,032	0,040
	1,78	0,130	0,160
Mo	0,08	0,266	0,481
	1,05	12,400	29,650

Analüüsitulemustest (tabel 3) selgub, et kartulikoortes on raskmetalle enam kui mugula sisus (kooritud kartulis). Seejuures sisaldub koortes pliid, kaadmiumi ja molübdeeni kaks ja enam korda, teisi vaadeldavaid elemente aga umbes 1,2 korda rohkem kui kooritud kartulis.

Esitatud andmetest selgub ka, et mitmete raskmetallide sisaldus kooritud kartulis ja kartulikoortes sageli erineb seda enam, mida saastatum on olnud kartuli kasvukoha muld ühe ehk teise raskmetalliga. Eriti kehtib see Pb, Hg ja Mo kohta. See aga viitab sellele, et mugula saastumine nimetatud elementidega võib toimuda ka difusiooni teel läbi mugula koore.

Et kartuli raskmetallide sisaldus tuuakse tavaliselt koorimata kartulimugulates, toiduks kasutatakse valdavalt aga kooritud kartulit, siis on toiduna kasutatava kartuli osa raskmetallide sisaldus 1,2...2,0 korda väiksem.



### Kartuli raskmetallide sisaldust mõjutavad tegurid

Tabeli 1 andmetest selgub, et raskmetallide sisaldus kartulis võib varieeruda laiades piirides. Järgnevalt vaatlemegi nimetatud varieeruvust põhjustavaid tegureid.

**Sort.** Et põldudel ja aedades kasvatatakse erinevaid kartulisorte, siis kartuliproovide kogumisel kerkis üles küsimus, kuivõrd sõltub kartuli raskmetallide sisaldus sordist. Sellele küsimusele vastuse saamiseks kasvatati ühel ja samal mullal erinevaid kartulisorte ja võrreldi nende raskmetallide sisaldust.

Analüüsitulemustest (tabel 4) selgub, et ühel ja samal mullal kasvanud erinevate kartulisortide mugulate raskmetallide sisaldus varieerus suhteliselt vähe. Seejuures ei olnud erinevused kindlasuunalised ega sordist olenevad. Igatahes mõjutas kasvukoha muld vaadeldavate elementide sisaldust mugulates märksa enam kui sort. Toodud seisukohta kinnitavad ka Minejevi (1990) uurimused.

Samuti nagu vaadeldavate elementide sisaldus kartulis, sõltus ka nende bioloogilise kontsentratsiooni koefitsient sordist vähe.

**Kasvukoha mulla raskmetallide sisaldus.** Kirjanduses on kasvukoha mulla raskmetallide sisalduse mõju kohta taimede raskmetallide sisaldusele seisukohad sageli vastukäivad. Kähari, Nissinen (1978), Kabata-Pendias, Pendias (1989) ja Sillanpää (1992) väidavad, et mullas ühe ehk teise raskmetalli sisalduse suurenemisel tõuseb vastava raskmetalli sisaldus ka taimedes. Kuid Blanton jt. (1975) väidavad, et raskmetallide sisaldus taimedes ei korreleeru nende sisaldusega kasvukoha mullas.

Uurimistöõ raames kogutud mulla ja kartuliproovide raskmetallide sisalduse korrelatsioonanalüüs näitas, et kartuli raskmetallide sisaldus sõltub vastava raskmetalli sisaldusest kasvukoha mullas. Seejuures võib see sõltuvus olla kord tugevam, kord nõrgem. Mullas ühe ehk teise elemendi sisalduse väikese varieeruvuse korral korreleerub vastava elemendi sisaldus kartulis suhteliselt nõrgalt selle sisaldusega kasvukoha mullas. Korrelatiivne seos raskmetallide sisalduse vahel mullas ja kartulis paranes, kui korrelatsioonianalüüsi lülitati paariti ka mikropõldkatsete muldade ja seal kasvanud kartuli vastavate raskmetallide sisaldused. Sellega laienes oluliselt ühe ehk teise raskmetalli sisalduse amplituud nii mullas kui kartulis. Sel juhul muutusid seosed vaadeldavate suuruste vahel täiesti usutavateks.

Eriti tugev (alati usutav) positiivne seos esines aga mulla ja kartuli raskmetallide sisalduse vahel mikropõldkatsetes, kus kõik mullaomadused jäid samaks, muutus ainult vaadeldava raskmetalli sisaldus mullas.

Katseandmete regressioonanalüüsi tulemustest järeldub, et mullas ühe ehk teise raskmetalli sisalduse suurenedes suureneb ka vastava raskmetalli sisaldus kartulis.

**Kasvukoha mulla reaktsioon.** Juba meie varasemad uurimused (Kärblane, Kevvai, 1993; Kevvai, Sippola, Kevvai, 1996) näitasid, et happelistel muldadel kasvanud taimed on valdavalt karbonaatsetel muldadel kasvanutest raskmetallirikkamad. Erandi selles osas moodustab Mo, mida happelistel muldadel kasvanud taimedes sisaldub karbonaatsetel muldadel kasvanutest vähem.

Selgitamaks mulla reaktsiooni mõju ohtlike raskmetallide sisaldusele kartulis, korraldati happelistel saviliivmullal mikropõldkatse, kus ühes katseseerias lubiväetisi ei antud, teises aga segati iga silindri mullaga 20 g keemiliselt puhast  $\text{CaCO}_3$ . Kummaski katseseerias oli 4 katsevarianti, kus mullas raskmetallide erineva sisalduse saamiseks lisati täiendavalt raskmetalle (Pb, Cd ja Hg). Mulla reaktsiooni ja raskmetallide sisaldust ning nende erinevustest tingitud kartuli raskmetallide sisalduse muutust iseloomustavad tabeli 5 andmed.

Saadud katseandmetest selgub, et lupjamise tulemusel muutus tugevalt happelise mulla reaktsioon nõrgalt happeliseks. Kuid juba selline mullareaktsiooni muutus mõjutas oluliselt vaatluse all olevate raskmetallide omastatavust kartulitaimede poolt ja sellest tulenevalt ka raskmetallide sisaldusest kartulis.

**Tabel 4.** Raskmetallide sisaldus erinevate kartulisortide mugulates, mg/kg kuivaines  
**Table 4.** The content of heavy metals in the tubers of different potato varieties

Kasvukoht ja muld <i>Growing place and soil</i>	Sort <i>Variety</i>	Pb		Cd		Hg		Mn		Zn		Cu		Co		Mo	
		M <sup>1</sup>	T <sup>1</sup>	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Jüri K <sup>'''</sup>	'Van Gogh'	8,2	0,63	0,16	0,15	0,0453	0,0100	310	5,1	7,6	10,5	2,5	2,0	0,60	0,044	0,076	0,160
	'Olev'	7,5	0,59	0,15	0,11	0,0500	0,0122	293	4,4	7,6	9,2	2,4	2,0	0,57	0,051	0,073	0,155
	'Ants'	8,3	0,64	0,16	0,10	0,0567	0,0130	304	5,3	7,5	10,1	2,5	2,1	0,60	0,042	0,074	0,165
	'Symfonia'	7,5	0,61	0,14	0,14	0,0589	0,0122	304	5,3	7,9	9,1	2,5	2,2	0,73	0,055	0,072	0,160
Viljandi Lk	'Van Gogh'	4,2	0,70	0,09	0,13	0,0333	0,0122	158	5,0	4,4	8,4	0,8	2,4	0,57	0,088	0,054	0,100
	'Olev'	4,2	0,68	0,09	0,10	0,0300	0,0100	167	5,3	4,4	10,1	0,8	2,5	0,53	0,072	0,062	0,110
	'Ants'	4,8	0,64	0,09	0,12	0,0286	0,0100	167	5,6	4,3	10,0	0,9	2,7	0,50	0,065	0,057	0,095
	'Symfonia'	4,6	0,59	0,07	0,11	0,0300	0,0122	153	5,3	4,2	9,4	0,9	2,5	0,50	0,061	0,053	0,095
Saku K <sup>'''</sup>	'Helena'	11,8	0,36	0,23	0,08	0,0367	0,0100	232	4,9	11,2	8,2	6,0	1,3	0,46	0,030	0,038	0,150
	'Berber'	11,5	0,49	0,23	0,10	0,0367	0,0117	232	5,4	11,2	11,3	6,6	1,3	0,46	0,032	0,038	0,156
Antsla Lk	'Helena'	5,3	0,88	0,09	0,10	0,0320	0,0127	165	8,5	1,8	4,0	1,5	1,6	0,50	0,078	0,060	0,140
	'Berber'	5,5	0,90	0,10	0,12	0,0317	0,0130	160	8,5	1,8	4,6	1,0	1,6	0,50	0,087	0,060	0,150

<sup>1</sup> M – mullas / in soil  
T – mugulas / in tuber

**Tabel 5.** Mulla reaktsiooni ja raskmetallide sisalduse mõju vastavate raskmetallide sisaldusele kartulis**Table 5.** The effect of soil reaction and content of heavy metals on the content of heavy metals in potatoes

Katseseeria Test series	Variant	Mulla Soil pH <sub>KCl</sub>	Mullas, mg/kg In soil, mg/kg			Mugulate kuivaines, mg/kg In the dry matter of the tubers, mg/kg		
			Pb	Cd	Hg	Pb	Cd	Hg
Lupjamata Non-limed	1	4,15	6,2	0,13	0,083	0,29	0,09	0,012
	2	4,12	105	3,00	1,513	0,42	0,42	0,014
	3	4,13	193	8,01	2,200	0,80	1,02	0,042
	4	4,17	307	11,50	3,033	1,23	1,26	0,051
Lubjatud Limed	1	5,90	6,9	0,13	0,072	0,27	0,09	0,008
	2	6,05	99	2,50	1,402	0,36	0,31	0,012
	3	6,09	177	5,50	1,775	0,72	0,57	0,017
	4	5,95	294	9,00	2,317	0,95	0,78	0,022

Kartuli raskmetallide sisalduse sõltuvust kasvukoha mulla pH-st selgitati ka kogutud taime- ja mullaproovide analüüsiandmete ning ka mikropõldkatsete vastavate katseandmete matemaatilisel läbitöötlusel (regressioonanalüüs). Selgus, et kasvukoha mulla pH arvulise väärtuse suurenedes vähenes oluliselt kartuli Pb-, Cd-, Hg-, Zn- ja Mn-sisaldus. Cu- ja Co-sisaldus küll vähenes, kuid märksa väiksemas ulatuses kui eespool nimetatud raskmetallide sisaldus. Molübdeeni liikuvus mullas ja sisaldus kartulis korreleerusid positiivselt mulla pH-ga.

**Kasvukoha mulla orgaanilise aine sisaldus.** Paljudel juhtudel mullas orgaanilise aine sisalduse suurenedes kartuli raskmetallide sisaldus väheneb. Eriti tuleb see ilmsiks kartuli Pb-, Mo-, Hg- ja Cd-sisalduse muutuses. Tingitud on see sellest, et mulla orgaaniline aine annab mitmete raskmetallidega raskestilahustuvaid kompleksühendeid ning seega alandab nende omastatavust taimede poolt.

Kasvukoha mulla orgaanilise aine sisalduse muutuse mõju kartuli Zn-, Cu- ja Co-sisaldusele ei olnud alati selgepiiriline. Orgaanilise aine vaestel muldadel (huumust alla 2 %) kaasnes mulla orgaanilise aine sisalduse suurenemisega sageli ka nimetatud elementide sisalduse suurenemine kartulis. Orgaanilise aine rikastel muldadel kutsus mulla orgaanilise aine sisalduse suurenemise esile vaadeldavate elementide sisalduse vähenemise taimedes.

Mulla orgaanilise aine sisalduse mõju kohta Mn liikuvusele mullas ja sisaldusele taimedes on kirjanduses vastakaid arvamusi. Nii väidab Kitajeva (1990), et mullas huumusesisalduse suurenedes liikuvate Mn-ühendite sisaldus väheneb. Sillanpää (1982) ja Kabata-Pendias, Pendias (1989) väidavad aga vastupidist. Ka meie uurimistulemustest ilmnes tendents, et mulla huumusesisalduse suurenedes suurenes ka kartuli Mn-sisaldus. Seletatav on see sellega, et huumuserikkamad põllumullad on paremini õhustatud. Õhustatud muldades Mn-ühendite liikuvus ja taimede poolt omastatavus paranevad.

Mulla lõimise. Taimede raskmetallide sisaldust mõjutab ka kasvukoha mulla lõimise. Et mulla lõimise on seotud mitmete teiste mullaomadustega, mis aga samuti mõjutavad raskmetallide liikuvust mullas ning seega ka nende omastatavust taimede poolt, siis ei avaldu mulla lõimise mõju taimede raskmetallide sisaldusele nii selgepiirilisel. Paistab siiski silma, et vaadeldavate raskmetallide sisalduselt (välja arvatud Mn) osutub keskmise raskusega muldadel kasvanud kartul nii kergetel kui ka rasketel muldadel kasvanutest rikkamaks. Seletatav on see sellega, et kerged mullad on üldiselt raskmetallivaesemad, sest nendes muldades on raskmetallid liikuvamad ja kergemini väljapestavad. Rasketes muldades annavad raskmetallid aga mitmesuguseid raskestilahustuvaid ja taimede poolt halvasti omastatavaid kompleksühendeid.

Liikuva (aktiivse) mangaani sisaldus mullas sõltub oluliselt mullas toimuvatest redoksreaktsioonidest. Viimased sõltuvad aga mulla õhustatusest. Õhustatud mullas on enam

kahevalentseid Mn-ühendeid ning sellistel muldadel kasvanud taimed sisaldavad enam mangaani.

**Kartuli väetamine.** Mitmed väetised sisaldavad suuremal või väiksemal hulgal raskmetalle, kuid nende hulk on seal enamasti väga väike ja nende üldsisaldus mullas muutub väetamisel niivõrd vähe, et muutuse ulatus jääb enamasti määramistäpsuse piiridesse. Kuid mitmed väetised, eriti lubi-, fosfor- ja orgaanilised väetised, mõjutavad raskmetallide liikuvust mullas, seda kas suurendades või vähendades. Seetõttu muutub väetamisel ka mõnede raskmetallide sisaldus kartulis (Kärblane, 1996).

Selgitamaks orgaaniliste, lubi- ja fosforväetiste toimet Pb-, Cd- ja Hg-sisaldusele kartulis, tehti Sakus EMVI katseaias happelise reaktsiooniga ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 4,5$ ) kamar-leetmullal mikropõldkatse. Katses kasutati sõnnikut koguses, mis vastas arvestusnormile kas 30 (1 annus) või 60 (2 annust) t/ha. Lubiväetist ( $\text{CaCO}_3$ ) anti kas ühe- või kahekordses annuses, mis oli arvestatud mulla hüdrolüütilise happesuse alusel. Ühekordne superfosfaadiannus vastas arvestusnormile 20 kg P ha kohta. Fosforväetiste toimet jälgiti NK-väetiste, sõnniku ja lubiväetiste toimet aga NPK-väetiste foonil.

Selgus (tabel 6), et nii superfosfaat,  $\text{CaCO}_3$  kui ka sõnnik alandasid uuritavate raskmetallide sisaldust kartulis. Seega oskuslik väetamine alandab mõnede raskmetallide sisaldust kartulis.

**Tabel 6.** Fosfor-, lubi- ja orgaaniliste väetiste mõju Pb-, Cd- ja Hg-sisaldusele kartuli mugulates, mg/kg kuivaines

**Table 6.** Pb, Cd and Hg content in potato tubers (mg/kg dry matter) grown on trial plots treated with phosphorus, lime and organic fertilizers

Väetised ja annused / Fertilizers and dose	Pb	Cd	Hg
Foon(F) / Background(B)	2,05	0,51	0,029
F + P / B + P	1,27	0,35	0,010
F + $\text{CaCO}_3$ (1) / B + $\text{CaCO}_3$ (1)	1,72	0,48	0,015
F + $\text{CaCO}_3$ (2) / B + $\text{CaCO}_3$ (2)	1,63	0,40	0,014
F + sõnnik (1) / B + manure (1)	1,62	0,42	0,012
F + sõnnik (2) / B + manure (2)	1,51	0,40	0,009

## Kokkuvõte ja järeldused

Kartulis leidub alati ka nii ohtlikeks peetavaid (Pb, Cd, Hg) kui ka mikroelementidena käsitletavaid (Mn, Zn, Cu, Co, Mo) raskmetalle, mille sisaldus ei tohi ületada toidu- ja söödakartuli maksimaalselt lubatavat kogust. Vastavatest uurimustest selgub, et meie põldudel ja aedades kasvanud kartulis sisaldub ohtlikeks peetavaid raskmetalle peaaegu alati vähem Eestis toidukartulile kehtestatud maksimaalselt lubatavast sisaldusest, milleks on Pb – 3,0, Cd – 0,2 ja Hg – 0,1 mg kuivaine kilogrammis. 69 analüüsitud kartuliproovist ainult ühes sisaldus kaadmiumi lubatust enam – 0,22 mg/kg (lubatud 0,20 mg/kg).

Ka mikroelementidena käsitletavaid raskmetalle on kartulis vähe. Mitte ühelgi juhul ei sisaldunud neid toidukartuli või söötade lubatavast või soovitatavast sisaldusest enam. Küll võis täheldada kartulis mikroelementide väikest sisaldust, mis sageli osutus söötade optimaalse sisalduse alampiirist väiksemaks.

Kartulitaimede erinevate osade raskmetallide sisaldus on erinev. Alati sisaldub neid juurtes enam kui pealsetes ja mugulates.

Kartulikoortes sisaldub kõiki vaadeldavaid raskmetalle enam kui kooritud kartulis: Pb, Cd ja Mo kaks ja enam korda, teisi vaadeldavaid raskmetalle aga umbes 1,2 korda enam.

Raskmetallide sisaldus kartulis varieerub laiades piirides, sõltudes vastava raskmetalli sisaldusest kasvukoha mullas, mulla reaktsioonist, huumusesisaldusest, lõimisest ja kartuli väetamisest.

Vähe mõjutab kartuli raskmetallide sisaldust aga sort.

## Kirjandus

- Aleksejev: Алексеев Ю. В. Качество растительной продукции. – Ленинград, 1978. – 256.
- Aleksejev: Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. – Ленинград, 1987. – 142 с.
- Allaway W. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. – Adv. in Agron. 2, p. 235...274, 1968.
- Anspok: Анспок П. И. Микроудобрения. – Ленинград, 1990. – 272 с.
- Blanton C. J., Desforjes C. E., Newland L. W., Ehlmann A. J. A survey of mercury distributions in the Terlingua area of Texas. – Trace Subst. in Environ Health, vol. 9, p. 139, 1975.
- Fedju □ Чудишкин Б. Ф. Минеральные удобрения с микроэлементами. – Ленинград, 1989. – 272 с.
- Henning A. Mineralstoffe. Vitamine. – Berlin, 1972. – 636 S.
- Илjin: Ильин В. Б. Загрязнение тяжёлыми металлами огородных почв и культур в городах Кузбаса. – Агрохимия, 7, с. 67...77, 1991.
- Instruktsija...: Инструкция по организации контроля за содержанием тяжёлых металлов и мышьяка в растениеводческой продукции. Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации. – М., 1994. – 18 с.
- Kabata-Pendias, Pendias: Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М., 1989. – 439 с.
- Kevvai L., Sippola J., Kevvai T. Eesti põllumuldade agrookeemilise seisundist. – Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi Toimetised 1. – Tartu, lk. 51...53, 1996.
- Kiipli T., Orlova K. Salakavalad metallid linnaaias. – Eesti Loodus, nr. 5/6, lk. 164...165, 1996.
- Kitajeva: Китаева Л.И. Связь между содержанием железа, цинка, марганца, количеством гумуса и кислотностью в почвах Пензенской области. – Почвоведение, с. 132...135, 1990.
- Kähäri J., Nissinen H. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. – Acta Agric. Scand. Suppl., 20, p. 26, 1978.
- Kärblane H., Kevvai L. Antropogeense tegevuse mõju pliisisaldusele mullas ja taimedes. – Agraar-teadus, nr. 4, lk. 390...404, 1993.
- Kärblane H. Orgaaniliste, fosfor- ja lubiväetiste toime raskmetallide sisaldusele taimedes. – Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi Toimetised 1. Tartu, lk 54...57, 1996.
- Minejev: Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. – М., 1990. – 287 с.
- Oll Ü. Veiste mineraalelementide tarbest. – Sotsialistlik Põllumajandus, nr. 1. lk. 22...27, 1974.
- Pokrovskaja: Покровская С. Ф. Загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами и его влияние на сельскохозяйственное производство. – Достижения с.-х. науки и практики, 8, 19...28, 1981.
- Sauerbeck D., Styperek P. Schwermetallakumulation durch Klärschlammanwendung Ergebnisse aus 25 langjährigen Feldversuchen. – VDLUFA – Schriftreihe. B. 23, S. 489, 1988.
- Scheffer F., Schachtschabel P. Lehrbuch der Bodenkunde. – Stuttgart, Enke, 1982. – 442 S.
- Sillanpää M. Micronutrients and the nutrient status of soils. – FAO Soils bulletin 48. Rome, 444 p., 1982.
- Sillanpää M. Micronutrient assessment at the country level: an international study. – FAO Soils Bulletin 63, Rome, 208 p., 1990.
- Sörin, Obuhovskaja: Зырин Н. Г., Обуховская П. Д. Ртуть в почвах и растениях. – Агрохимия, 7, с. 126...139, 1980.
- T □ Трунг В. В. Растительная диагностика и биологическое качество урожая. – Агрохимия, 3, с. 135...148, 1971.
- Ylärinta T., Sillanpää M. Micronutrient contents of different plants species grown side by side. – Annales agriculturae Fenniae, 23, p. 158...170, 1984.