

Kartulites sisalduvate glükoalkaloidide ning plii (Pb) ja kaadmiumi (Cd) saadavuse hindamine

Meie: nr 1.2-3/32

Töö teostajad:

Jüri Ruut, MSc

Mari Reinik, PhD

LABRIS, riskihindamise osakond

01.10.2021 – 09.10.2023

Sisukord

| | | |
|------|---|----|
| 1 | Ülesande püstitus..... | 2 |
| 2 | Mõisted..... | 3 |
| 3 | Kirjanduse ülevaade..... | 4 |
| 3.1 | Ohutegurite identifitseerimine | 4 |
| 3.2 | Ohutegurite iseloomustus | 5 |
| 3.3 | Glükoalkaloidide analüüsimeetodid..... | 7 |
| 3.4 | Kartulite glükoalkaloidide sisaldused | 8 |
| 3.5 | Glükoalkaloidide sisalduse piirväärtused | 9 |
| 3.6 | Säilitamise mõju glükoalkaloidide sisaldusele | 9 |
| 3.7 | Töötlemise mõju glükoalkaloidide sisaldusele | 10 |
| 3.8 | Kokkupuude kartulis sisalduvate glükoalkaloididega..... | 11 |
| 3.9 | Võtted kartulitest ja kartulitoodetest saadava glükoalkaloidide koguse vähendamiseks..... | 12 |
| 3.10 | Kokkupuude kartulis sisalduva plii ja kaadmiumiga | 13 |
| 4 | Eestis tarbitavatest kartulist saadavate glükoalkaloidide ja raskmetallidega seotud riskide hinnang | 14 |
| 4.1 | Uuringu ülesehitus..... | 14 |
| 4.2 | Analüüsitavaate proovide valik ja ettevalmistus | 14 |
| 4.3 | Analüüsimeetodid..... | 17 |
| 4.4 | Tooreste kartulite glükoalkaloidide sisaldused..... | 17 |
| 4.5 | Raskmetallide sisaldused kartuliproovides..... | 19 |
| 4.6 | Glükoalkaloidid töödeldud kartuli proovides | 20 |
| 4.7 | Akrüülamiidi sisaldused töödeldud kartuliproovides..... | 23 |
| 4.8 | Glükoalkaloidide ja akrüülamiidi sisaldused imikutoitudes..... | 24 |
| 4.9 | Saadavuse hindamiseks kasutatud andmed | 25 |
| 4.10 | Eesti tarbija kokkupuude kartulis leiduvate glükoalkaloididega | 31 |
| 4.11 | Eesti tarbija kokkupuude kartulis sisalduvate raskmetallidega | 35 |
| 4.12 | Määramatus..... | 38 |

| | | |
|---|------------------------|----|
| 5 | Kokkuvõte | 38 |
| 6 | Kirjandusallikad | 39 |

Lisa 1: Kartuliproovid, imiku- ja väikelapsetoitude proovid

Lisa 2: Glükoalkaloidide saadavus toitumisuuringu andmete põhjal

1 Ülesande püstitus

Küsimus:

Kartulites sisalduvate glükoalkaloidide ja raskmetallide saadavuse hindamine Eesti elanikkonnal.

Küsimuse esitaja:

Maia Radin, Maaeluministerium

Eesmärk:

Koostada usaldusväärsete ja esinduslike andmete alusel Eestis tarbitavates kartulites sisalduva glükoalkaloidide (α -solaniin ja α -sakoniin; võimalusel nende β ja γ vormid ning aglükoon solanidiin töödeldud kartulis) ja raskmetallide nagu Pb, Cd, Hg, As kohta saadavushinnang väikelastele (1 – <3 aastat), lastele (3 – <10 aastat), noorukitele (10 – <18 aastat), täiskasvanule (18 – <65 aastat) ja eakatele (65 – <75 aastat).

Saadavushinnangu koostamisel tuleks fookusesse võtta ca 3–5 Eestis enim turustatavat säilituskartuli sorti ning andmed huvipakkuvate ühendite kohta peaks olema kogutud nii koristatud koorimata töötlemata kartulite kui ka nende erineval viisil töödeldud (keedetud, ahjus küpsetatud, praetud nii koorega kui kooreta) kartuli, säilitatud kartuli (u 6 kuud nõ üle talve säilitatud) ja töödeldud säilitatud kartuli kohta. Hinnangusse tuleks hõlmata andmed lõplikult valminud mugulate kohta.

Saadud tulemused on olulised kartulite tarbimisest tuleneva võimaliku terviseriski täpsemaks määratlemiseks ning võimalike asjakohaste riskijuhtimismeetmete üle otsustamiseks Maaeluministeriumile nii riigi tasandil kui Eesti positsiooni kaitsmiseks EL tasandil.

2 Mõisted

Akrüülamiid (AA) - saasteaine, mis tekib toiduvalmistamise käigus peamiselt kõrge süsivesikute sisaldusega taimsete toitude kuumtöötlemisel kõrgel temperatuuril.

BfR - Saksamaa Riskihindamise Föderaalasutus (*Bundesinstitut für Risikobewertung*)

EFSA – Euroopa Toiduohutusamet

Glükoalkaloidid (GA) – looduslikult maavitsalistes leiduvad toksiinid. Antud töö raames käsitletakse kartuli glükoalkaloidide sisaldusena α -solaniini ja α -sakoniini summat.

LB (*lower bound*), MB (*medium bound*), UB (*upper bound*) stsenaarium – saadavuse hindamise lähenemised, kus LB korral loetakse analüüsitulemuste töötlemisel alla määramispiiri jäävad uuritava aine sisaldused nulliks, MB puhul kasutatakse väärtusi $(LOD+LOQ)/2$ (alla avastamispiiri tulemuste korral $LOD/2$), UB puhul võetakse alla LOQ või alla LOD väärtused võrdseks vastavalt LOQ ja LOD-ga.

LOQ (*limit of quantification*) – määramispiir

LOAEL (*lowest observed adverse effect level*) – väikseim täheldatava kahjuliku mõjuga aine doos

NOAEL (*no observed adverse effect level*) – aine doos, mille juures veel ei täheldata kahjulikku mõju

TWI (*tolerable weekly intake*) – lubatud (talutav) nädalas tarbitav kogus (mittetoitainelise aine hinnanguline kogus toidus või joogivees, mida kasutatakse toidu saasteainete korral (v.a pestitsiidide jäägid, veterinaarravimite jäägid) ja mida võib tarbida iganädalaselt kogu eluea vältel, ilma et see kahjustaks organismi; väljendatakse kehamassi kilogrammi kohta)

OECD – Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsioon

WHO – Maailma Terviseorganisatsioon

3 Kirjanduse ülevaade

3.1 Ohutegurite identifitseerimine

3.1.1 Glükoalkaloidid

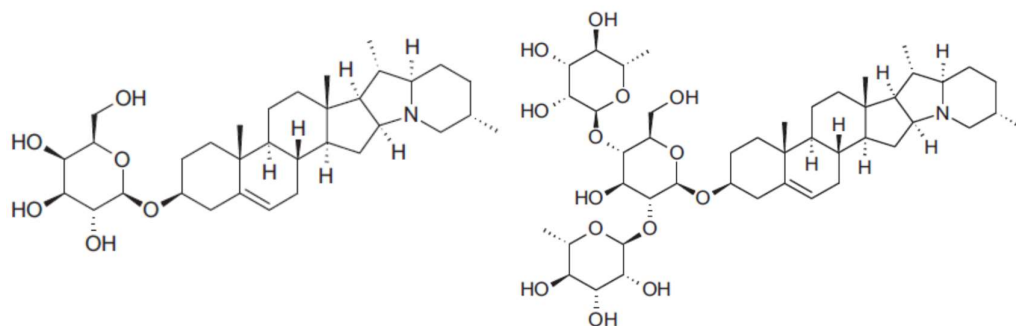
Glükoalkaloidid (GA) on looduslikud toksiidid, mida sisaldavad paljud maavitsalised (*Solanaceae*) ning mille ülesandeks on taime kaitsmine putukate, seente jne eest. Kõõgiviljadest kuuluvad maavitsaliste hulka näiteks kartul, tomat ja baklažaan, kuid viimastes on glükoalkaloidide sisaldus üsna väike.

Glükoalkaloidide näol on tegemist toksiliste steroidsete glükosiididega, millest kartulites on kõige tavalisemad α -solaniin ja α -sakoniin ning mis moodustavad ligi 95% glükoalkaloidide üldkogusest (Cuschieri and Calleja-Agius 2020).

Solaniin oli üks esimesi loodusest eraldatud alkaloidide (1820.a.), kuid alles 1954. aastal selgus, et kartulist saadud solaniin on tegelikult kahe glükoalkaloidi, α -solaniini ja α -sakoniini, segu. Sellest ajast saadik on isoleeritud vähemalt 90 glükoalkaloidi rohkem kui 300 maavitsaliste liigist.

Glükoalkaloidid koosnevad steroidset aglükoonist ja selle 3β -hüdrosürühma külge kinnitunud oligosahhariidsest külgehelist. Maavitsalistes esinevad glükoalkaloidid võib jagada kahte liiki: GA, mille steroidseks aglükooniks on solanidiin ning spirosolaantüüpi GA, millel on aglükooniks solasodiin, tomatidenool või tomatidiin (EFSA, 2020). α -Sakoniin ja α -solaniin koos 27 teise ühendiga kuuluvad perekondadest *Veratrum*, *Fritillaria* ja *Solanum* saadud solanidiinitüüpi steroidsete alkaloidide hulka, kus steroidi C_{27} -külgehelist on muundunud indolisidiintsüklikuks (Xiang *et al.*, 2022). Spirosolaanitüüpi steroidsete alkaloidide esineb sugukonnas *Solanaceae* ja *Liliaceae*, kartulis leidub neist γ -tomatiini (Xiang *et al.*, 2022). Baklažaan (*S. melongena*) sisaldab peamiselt α -solamargiini ja α -solasoniini, tomat (*S. lycopersicum*) on põhilisteks GA-deks α -tomatiin ja α -dehüdrotomatiin (EFSA, 2020).

Enamik glükoalkaloidide sisaldab külgehela süsivesikuna kas trisahhariidi (sakotriooosi või solatriooosi) või tetrasahhariidi (lükotetraooosi). Prefiks „alfa“ (α -) tähendab, et glükosiid esineb terviklikul kujul, prefiks „beeta“ (β -), „gamma“ (γ -) ja „delta“ (δ -) tähistavad glükoalkaloidide, mille süsivesikuahel on ensümaatilise või happelise hüdrolyüsi tõttu järjest lühemaks lõigatud (EFSA, 2020).



Joonis 1. α -solaniin (vasakul) ja α -sakoniin (EFSA, 2020)

3.1.2 Plii ja kaadmium

Plii (Pb) on looduses esinev metall, millel on perioodilisustabelis järjenumbriga 82 ning mille molekulmass on 207,2 g/mol. Selle laialdane tööstuslik kasutamine on viinud kõrgele sisaldusteni mullas, vees ja õhus. Plii võib olla nii orgaaniliste kui ka anorgaaniliste ühendite koostises, millest keskkonnas domineerib viimane. Peamised oksüdatsiooniastmed on +2 ja +4, valdavalt on +2 ühendid. Orgaanilised sünteetilised ühendid, nt alküülitud pliiühendid, on peamiselt olnud kasutusel kütuselisanditena. Alates pliiivabade kütuste laialdasemast kasutuselevõtust 1980-ndatel aastatel on Euroopas keskkonna pliiisisalduste tasemed oluliselt langenud. Oluliseks pliiisaaste allikaks on jäätmete põletamine. Plii akumulatsioon mullas ja pinnavees sõltub paljudest faktoritest, sh pH, mulla mineraalne ja orgaaniline koostis. Mullas sisalduv plii läheb üle toidutaimedesse (EFSA, 2010).

Kaadmium (Cd) on puhtal kujul pehme hõbevalge metall, perioodilisustabeli järjenumbriga 48 ja molekulmassiga 112,4 g/mol. Looduses esineb kaadmium anorgaaniliste ühenditena. Peamine oksüdatsiooniaste on +2. Looduslik kaadmium pärineb enamasti vulkaanilistest allikatest ja kivimite murenemisest. Inimtegevuse tulemusena on kaadmiumi sisaldused mullas, vees ja elusorganismides tõusnud. Kaadmium jõuab keskkonda saastunud veega ja jäätme põletuse tulemusena. Põllumajandusmaa võib saastuda väetamise, õhust sadenemise ja reoveesetete kasutamise kaudu. Mulla suuremate kaadmiumi sisaldustega kaasneb taimede ning kaudselt ka loomade poolt omastatud kaadmiumi kogus. Taimedesse jõudev kaadmiumi hulk sõltub taimeliigist, mulla pH-st ning muudest omadustest. Vees sisalduv kaadmium saastab eelkõige koorikloomi. Teatud seemned võivad koguda pinnasest suuri kaadmiumi koguseid (EFSA, 2012).

3.2 Ohutegurite iseloomustus

3.2.1 Glükoalkaloidide kahjulik mõju

Glükoalkaloidide kahjulik mõju hõlmab embrüotoksilisust, koliinesteraasi aktiivsuse pärssimist kesknärvisüsteemis ja teratogeensust (Sancer *et al.*, 2022).

EFSA saadavushinnangus (EFSA, 2020) käsitletud piiratud arvu uuringute kohaselt ei ole tõendeid kartulis sisalduva α -solaniini ja α -sakoniini ning nende aglükooni solanidiini genotoksilisuse kohta, kuid järelduste tegemiseks on andmeid liiga vähe. Ei leitud pikaajalise kroonilise toksilisuse/kantseroogeensuse uuringut kartuli, tomati või baklažaani glükoalkaloididele või aglükoonidele.

Solanidiin, tomatidiin ja solasodiin kutsusid annuses 2,4 mmol/kg 14 ööpäeva vältel esile nii tiinete kui ka mittetiinete hiirte maksa kaalu suurenemise (Xiang *et al.*, 2022).

α -Sakoniin avaldas konnadele teratogeenset toimet ja oli embrüotoksilisem kui α -solaniin. Nende kahe ühendi ainus erinevus on solanidiini 3-OH rühma küljes olevas süsivesik-külghelas, mis on oluline tegur teratogeensuse avaldumisel (Xiang *et al.*, 2022).

α -Sakoniin ja α -solaniin on nii hamstritel kui ka marmosettidel esile kutsunud neurotuubulite kahjustusi, mille raskusaste sõltus sellest, kui kaua emaslooma enne viljastumist idanenud vanade kartulitega toideti. On näidatud, et α -sakoniin ja α -solaniin kahjustavad loodet rohkem kui emaslooma (Cuschieri ja Calleja-Agius, 2020).

Inimestel avaldub kartulis sisalduvate glükoalkaloidide äge toksiline toime põletava tundena suus, oksendamise, kõhulahtisuse ja kõhuvaluna. Seda võib põhjustada glükoalkaloidide summaarne sisaldus 1 mg kehakaalu kg kohta. Oksendamine ja kõhulahtisus võivad omakorda põhjustada uimasust, apaatiat, segasust, nõrkust, nägemishäireid, pulsi kiirenemist ja nõrgenemist ning madalat vererõhku. Rasketel juhtudel võivad kaasneda neuroloogilised nähud (uimasus, apaatia, rahutus, värisemine, segasus, nõrkus ja nägemishäired) ning võib tekkida halvatus, hingamispuudulikkus, südamepuudulikkus, kooma ja surm. Glükoalkaloidide summaarset saadavust 3–6 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas loetakse potentsiaalselt surmavaks. Piiratud arvu vabatahtlikega tehtud uuringud on näidanud, et individuaalne tundlikkus kartuli glükoalkaloidide suhtes on erinev. On teatatud mõnest surmajuhtumist kartulimugulate, -lehtede või -marjade tarvitamisel (EFSA, 2020).

GA kahjuliku toime taga võib olla nende võime moodustada rakumembraanides komplekse 3β-hüdroksüsteroolidega, mille tulemusena tekivad rakumembraanide kahjustused.

3.2.2 Glükoalkaloidide võimalikud kasulikud toimed

On avaldatud mitmeid töid, kus mainitakse, et GA-d on *in silico*, *in vitro* ja *in vivo* uuringutes andnud paljulubavaid tulemusi võimalikuks kasutamiseks alternatiivmeetodina vähiravis (Winkiel *et al.*, 2022).

α-Solaniin kutsub valgu Bcl-2 ekspressiooni inhibeerimisega esile HEPG₂-rakkude apoptoosi (Xiang *et al.*, 2022) ja kontsentratsioonis 18,4 μM inhibeerib melanoomirakuliini A2058 migratsiooni (Abdelrahman *et al.*, 2021).

α-Sakoniin ja α-solaniin on näidanud ka malaariavastast toimet. α-Sakoniini suukaudsel sisestamisel annuses 7,5 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas vähenes parasiteemia 71,38% võrra (Xiang *et al.*, 2022).

α-Sakoniin ja α-solaniin inhibeerisid kontsentratsioonis 10,9–60 μM täielikult patogeensed tüved *Trichomonas vaginalis* G3, *Tritrichomonas foetus* C1 ja *Tritrichomonas foetus* D1 (Friedman *et al.*, 2020).

α-Sakoniin ja solanidiin ilmutasid põletikuvastast toimet, mis oli tingitud kanidiin A poolt indutseeritud interleukiin-2 ja interleukiin-8 tekke vähenemisest Jurkati rakkudes ja NO tekke vähenemisest LPS-stimuleeritud makrofaagides (Xiang *et al.*, 2022).

3.2.3 Plii ja kaadmium

Anorgaanilised pliiühendid on Rahvusvahelise Vähiuuringute Agentuuri (IARC) poolt klassifitseeritud A2 gruppi kui tõenäoliselt inimesele kantserogeensed ühendid (IARC, 2006). Plii akumulereb organismis, eelkõige luustikus, kust see vabastatakse järk-järgult erinevatel eluperioodidel. Plii mõjutab praktiliselt kõiki keha süsteeme, kuid kõige kriitilisemalt kesknärvisüsteemi, eelkõige aju arengut. Laste organismis imendub see suuremal määral võrreldes täiskasvanutega. Plii jõuab läbi ema organismi lootesse ning rinnapiima. Plii poolestusaeg veres ja luudes on vastavalt 30 päeva ning 10–30 aastat. Euroopa Toiduohutusameti (EFSA) saasteainete komitee määratles kõige kriitilisemad efektid, mille alusel viidi läbi ka riskihindamine: arenguga seotud neurotoksilisus lastel ning kardiovaskulaarsed toimed ja nefrotoksilisus täiskasvanutel (EFSA, 2010).

Plii korral on EFSA kasutanud võrdlusdoosi määra BMDL₀₁ (doos, mis 95% tõenäosusega suurendab tervisekahjustuse riski 1% võrra kontrollrühmaga võrreldes) 0,50 µg kehakaalu kilogrammi kohta ööpäevas arenguga seotud neurotoksilisuse jaoks (lastele) ja 1,50 µg kehakaalu kilogrammi kohta ööpäevas süstoolse vererõhu jaoks. Neerukahjustuste jaoks kasutati BMDL₁₀ 0,63 µg kehakaalu kilogrammi kohta ööpäevas (EFSA, 2010). EFSA riskihinnangu alusel olid suurimateks plii allikateks teraviljatooted, millele järgnesid kartulid, rohelistes aedviljad ja kraanivesi.

Selleks, et pliiga seotud risk poleks märkimisväärne, peaks MOE (*margin of exposure*), mis saadakse BMDL₀₁ jagamisel ööpäevas tarbitava kogusega kehakaalu kilogrammi kohta, olema vähemalt 10 (EFSA, 2010).

Kaadmiumi on IARC klassifitseerinud Grupp 1 kantserogeeniks töökeskkonna uuringute alusel (IARC, 1993).

Kaadmium on toksiline eelkõige neerudele, kuid võib põhjustada ka luude demineralisatsiooni ning statistiliselt on seostatud kaadmiumi suurenenud kopsu-, emakakeha-, põie- ja rinnavähi tekke riskiga. Kaadmiumi jaoks on EFSA arvanud lubatud (talutava) nädala koguse (TWI) 2,5 µg kehakaalu kilogrammi kohta (EFSA, 2012).

Toit on peamine kaadmiumi allikas mittedietsetajatel, moodustades umbes 90% kogu saadavusest. Peamisteks panustavateks toidugruppideks on teraviljatooted, aedviljad ja aedviljatooted ning tärkliserikkad mugulad (eelkõige kartulid) (EFSA, 2012).

Komisjoni määrus (EL) 2023/915 sätestab raskmetallidele, sh pliile ja kaadmiumile toidus piirnormid. Juur- ja mugulköögiviljadele on mõlema metalli jaoks üldjuhul piirnormiks 0,10 mg/kg. Piirnormi kohaldatakse kooritud kartulite suhtes (komisjoni määrus, 2023).

3.3 Glükoalkaloidide analüüsimeetodid

Minevikus on kasutatud glükoalkaloidide analüüsiks gravimeetrilisi ja kolorimeetrilisi meetodeid, mille kasutamisel pole võimalik eristada üksikuid ühendeid. Tänapäeval kasutatakse eelkõige kõrgefektiivset vedelikkromatograafiat (HPLC) MS-, MS/MS-, HRMS- või UV-detektoriga. Sõeluuringuteks saab kasutada immunoensüümmeetodit (ELISA) või õhukese kihi kromatograafiat (TLC).

Tavaliselt analüüsitakse glükoalkaloididest α -solaniini ja α -sakoniini. Mitmete haruldasemate GA-de määramisel on takistuseks sageli puhaste standardpreparaatide puudumine.

HPLC-MS-i kasutamine võimaldab lihtsustada proovi ettevalmistust, tundlikkus on 1–2 µg/l uuritavas lahuses (EFSA, 2020).

Enne GA-de analüüsi on oluline tagada analüütide stabiilsus. Proovide ettevalmistuse käigus võib glükosiidi kõrvalahel värsketes kartulites sisalduvate glükosidaaside toimel ensümaatilisel laguneda. Selle tulemuseks võib olla GA sisalduste alahindamine. Lagunemise vältimiseks on võimalik tükeldatud kartuleid vedela lämmastikuga töödelda ja lüofiliseerida külmuivatusmeetodil. Lüofiliseeritud proovidest ekstraheeritakse uuritavad ühendid happelises vesilahusega (nt äädikhappe lahus), mis sisaldab sobivat orgaanilist lahustit (nt metanooli või atsetonitriili). Proovid vajavad täiendavat puhastamist, nt tahke faasi ekstraksiooni teel (EFSA, 2020).

Glükoalkaloidide ekstraheerimiseks kartulist on kasutatud 300 MHz kuni 300 GHz mikrolaineid, seejuures saavutati 37% parem saagis kui tavapäraste tahke-/vedelfaasi meetodite

puhul. Optimaalne ekstraheerimine saavutati metanoolis 90 °C juures 10 minuti vältel (Kondamudi *et al.*, 2017).

3.4 Kartulite glükoalkaloidide sisaldused

Toiduohutuse seisukohalt on kõige olulisemad kartulis leiduvad glükoalkaloidid, millest suurema osa moodustavad α -solaniin ja α -sakoniin. Glükoalkaloide leidub kartuli mugulates, kooses, idudes, marjades, lehtedes ja õites (tabel 1). Sisaldus mugulates sõltub olulisel määral sordist, mugula suurusest ja küpsusest, kliimast, putukakahjustustest, mulla koostisest, väetiste kasutamisest ja kasvutingimustest. Glükoalkaloidide sisaldus kooses on 3–10 korda kõrgem kui mugula sisemuses. Kõige rohkem on glükoalkaloide idudes ja õites, kõige vähem kartuli südamikus. Kartulimarjades on glükoalkaloide umbes 10 korda rohkem kui mugulates (EFSA, 2020).

Kibe maitse tekib glükoalkaloidide summaarsel sisaldusel 140 mg märgkaalu kg kohta, põletav maitse sisaldusel üle 200 mg märgkaalu kg kohta (EFSA, 2020).

Solaniinisaldus suureneb peamiselt hoiutingimuste, eriti valguse ja temperatuuri mõjul. Pimedas on glükoalkaloidide moodustumise kiirus umbes 20% kiirusest valguse käes. Solaniini sisalduse suurenemine kartulikoortes on tihedalt seotud koorte rohelisteks muutumisega (klorofüllü sünteesiga). Need protsessid on teineteisest sõltumatud, kuid mõlemad aktiveeruvad valguse toimel (EFSA, 2020). Kartuli idanemisel võib solaniini sisaldus mugulas tõusta kuni 500 mg/100 g (Sancer *et al.*, 2022).

Kartuli GA sisaldust on püütud hinnata pinna värvuse ja klorofüllisisalduse põhjal. Kahe kartulisordi uurimisel leiti, et >200 mg/kg GA sisaldusega kaasnes ka kõrge klorofüllü sisaldus (Tilahun *et al.*, 2020).

Tabel 1. Glükoalkaloidide kogusisaldus kartulitaime (*Solanum tuberosum*) osades (EFSA, 2020).

| Taimeosa | Sisalduste vahemik (mg/kg, märgkaalu kohta) |
|--|--|
| Õied | 2150–5000 |
| Lehed | 230–1000 |
| Varred | 23–33 |
| Juured | 180–400 |
| Kibeda maitsega mugulad | 250–800 |
| Kogu mugul | 10–150 |
| Koore pealiskiht (<i>skin</i>) (2–3% mugulast) | 300–640 |
| Koor (<i>peel</i>) (10–12% mugulast) | 150–168 |
| Koorealune osa (<i>cortex</i>) | 125 |
| Viljaliha (<i>flesh</i>) | 12–100 |
| Südamik (<i>pith</i>) | ei leitud kuni 0,1 |
| Idud | 2000–7300 |

α -Solaniini ja α -sakoniini suhe kartulis võib sõltuvalt sordist ja taimeosast väga suurel määral varieeruda: kogu kartulimugulas võib see olla vahemikus 0,41 – 3,61, värskest korjatud kartulite kooses < 0,06 kuni 5,7. Pärast 20-päevast säilitamist oli suhe kooses väga muutlik, kuid oli näha selge trend α -sakoniini sisalduse suurenemise suunas (EFSA, 2020).

Täiendavate andmete saamiseks glükoalkaloidide sisalduse kohta soovitab BfR (2022) Saksamaal läbi viia glükoalkaloidide sisalduste seiret kaubanduslikus söögikartulis.

3.5 Glükoalkaloidide sisalduse piirnormid ja soovituslikud sisaldused erinevates riikides

Mitmed riigid on kehtestanud piirnormid või soovituslikud sisaldused glükoalkaloididele (EFSA, 2020):

- Ungari: 100 mg/kg toores koorimata kartulis;
- Soome: 200 mg/kg kartulis;
- Rootsi: 200 mg/kg toores koorimata kartulis;
- Taani: 200 mg/kg tuntud kartulisordid, 100 mg/kg uued kartulisordid;
- Holland: 100 mg/kg uued kartulisordid;
- Saksamaa: 100 mg/kg;
- Austrias puuduvad piirnormid, kuid on kehtestatud turustatavale kartulile miinimumnõuded: ei tohi esineda märgatavalt rohelisi mugulaid; I klassi kartulite korral on lubatud kerge roheline värvus mitte rohkem kui 1/8 pinnast; II klassi kartulite korral on lubatud kerge roheline värvus, mille saab eemaldada tavalise koorimisega;
- Kanada: 200 mg/kg värskes kartulis;
- OECD: 200 mg/kg.

BfR (2022) on leidnud, et kartuli glükoalkaloidide NOAEL on 0,5 mg kehakaalu kilogrammi kohta ööpäevas. NOAEL-i ületamise vältimiseks peab glükoalkaloidide sisaldus söödavas kartulis olema väiksem kui 100 mg/kg (märgkaalus).

Eestis piirnorme või soovituslikku sisaldust GA-le kehtestatud ei ole.

3.6 Säilitamise mõju glükoalkaloidide sisaldusele

Peamised tegurid, mis mõjutavad kartulimugulate glükoalkaloidide sisaldust säilitamisel, on säilitamise kestus, temperatuur, niiskus ja kokkupuude valgusega, aga ka mugulate kahjustused ja pakend, milles mugulaid säilitatakse (EFSA, 2020).

Üldiselt suureneb glükoalkaloidide sisaldus aja möödudes, ehkki on täheldatud ka sisalduse vähenemist. Mõne sordi puhul on säilitamine 4 °C juures suurendanud glükoalkaloidide sisaldust rohkem kui säilitamine 10 °C juures, mõnel juhul on mõju olnud ka vastupidine või erinevus puudus (EFSA, 2020).

Kokkupuude valgusega kutsub üldiselt esile glükoalkaloidide moodustumise, koguse suurenemist mõjutab valguse lainepikkus ja kartulisort. Suuremat mõju on täheldatud luminofoorlampide valgusel. Mõned sordid võivad olla valguse suhtes tundetud, mõned väga tundlikud (EFSA, 2020).

Kokkupuude valgusega võib esile kutsuda ka klorofüllü moodustumise ja kartulimugul muutub roheliseks. Kuna valgus kutsus esile ka glükoalkaloidide tekke, võib mugulate roheline värvus osutada glükoalkaloidide suurenenud sisaldusele, kuid otsesest seost rohelise värvuse intensiivsuse ja glükoalkaloidide sisalduse vahel pole leitud, nii et kahvaturoheliste mugulate

glükoalkaloidisisaldus võib olla suurem kui intensiivselt värvunud mugulatel (EFSA, 2020). Pole ka täpselt teada, milline on glükoalkaloidide valguse toimel moodustumise mehhanism ja milline on selle seos klorofüllil moodustumisega (Okamoto *et al.*, 2020).

On täheldatud, et mugulate vigastamine suurendab glükoalkaloidide sisaldust, vigastamine koos valgusega suurendab glükoalkaloidide sisaldust eelkõige vigastatud koha ümbruses (EFSA, 2020).

On leitud, et läbipaistmatus pakendis (paber, läbipaistmatu kile) olevates mugulates tekib vähem glükoalkaloide kui läbipaistvas pakendis (sinised polüetüleenkotid, läbipaistev kile) (EFSA, 2020).

3.7 Töötlemise mõju glükoalkaloidide sisaldusele

Tavaliselt süüakse kartulimugulaid mitte toorelt, vaid pärast töötlemist kodus või tööstuses või toitlustuses.

Kodused töötlemisviisid on järgmised:

- koorimine;
- keetmine, blanšeerimine või aurutamine veega;
- praadimine ja frittimine kuumas õlis;
- küpsetamine ahjus;
- kuumutamine mikrolaineahjus;
- tükkideks või viiludeks lõikamine enne kuumtöötlemist.

Toiduks mõeldud kartulite tööstuslik töötlemine hõlmab ülaltoodud meetodeid, lisaks võidakse kasutada muid meetodeid näiteks dehüdreeritud kartulihelveste ja –graanulite ning tärklise valmistamiseks.

Pole teada, millised on töötlemisel tekkivad glükoalkaloidide laguproduktid (EFSA, 2020).

Koorimine

Kuna suur osa glükoalkaloididest asub koore ja selle aluses kihis, vähendab koorimine glükoalkaloidide sisaldust mugulas. Vähenemine sõltub eemaldatud koore paksusest ja kasutatud võtetest. Glükoalkaloidide sisaldus koore erinevates osades on toodud tabelis 1.

Kodumajapidamises kooritakse kartulit tavaliselt (koorimis)noaga. Tööstuses toimub koorimine mehaaniliste koorimismasinatega, auruga koorimisega või leeliselise koorimisega, kus kartulimugula pinda töödeldakse enne koorimist söövitava lahusega.

Koorimine vähendab glükoalkaloidide sisaldust 25–75% võrra, keskmiselt 48% võrra (EFSA, 2020).

Keetmine, blanšeerimine või aurutamine veega

Keetmine, blanšeerimine või aurutamine veega võib glükoalkaloidide sisaldust vähendada, vähenemise määr sõltub kasutatud temperatuurist ja tooraine peenestusastmest.

Nii kooritud kui ka koorimata kartulite keetmisel läheb märkimisväärne osa glükoalkaloididest muutumatul kujul keeduvekke. Koorega keedetud kartulites on glükoalkaloidide sisaldus suurem kui kooreta keedetud kartulites. On ka teada, et koorega keetmisel suureneb glükoalkaloidide sisaldus koorealuses kihis, põhjuseks on glükoalkaloidide difusioon koorest.

Keetmisel ja teatud blanšeerimisviiside korral väheneb glükoalkaloidide sisaldus kooritud kartulites 5–65%, keskmiselt 33% võrra (EFSA, 2020).

Praadimine

Frittimisel õlis sõltub glükoalkaloidide vähenemise määr temperatuurist. On teada, et temperatuuril 150 °C (tüüpilisest frittimistemperatuurist madalamal) laguneb 5% glükoalkaloididest, 170 °C juures 21% ja 210 °C juures (tüüpilisest frittimistemperatuurist kõrgemal) 38%.

Suhe α -solaniin : α -sakoniin jääb vaatamata töötlemistemperatuurile ja -kestusele konstantseks. Kokkuvõttes on praetud kartulis glükoalkaloidide 20–90% vähem kui toores kooritud kartulis (EFSA, 2020).

Muud töötlemisviisid

Mikrolaineahjus töötlemisel on täheldatud glükoalkaloidide sisalduse vähenemist 3–45% võrra. Kuiva kartulipulbri kuumutamisel 2 tundi temperatuuril kuni 150 °C on leitud, et α -solaniini ja α -sakoniini sisaldus ei muutu. Temperatuuril üle 150 °C hakkavad mõlemad lagunema, kusjuures α -sakoniin on mõnevõrra püsivam kui α -solaniin.

Kooritud ja tükeldatud kartulite kuivatamine 120–160 °C juures vähendab glükoalkaloidide sisaldust lõppsaaduses (kuivatatud kartulitükid, -helbed või -pulber) 29–67% võrra.

Tööstuslikul mitmeastmelisel töötlemisel on glükoalkaloidide sisaldus vähenenud 83–98% võrra (EFSA, 2020).

Töötlemistegurid

Eelpooltoodud infot arvesse võttes on EFSA välja pakkunud töötlemisetappide jaoks välja järgmised töötlemistegurid:

koorimine 0,25–0,75;

praadimine või frittimine 0,1–0,8;

muud kuumtöötlemismeetodid 0,35–0,95 (EFSA, 2020).

3.8 Kokkupuude kartulis sisalduvate glükoalkaloididega EFSA saadavushinnangu kohaselt

EFSA avaldas glükoalkaloidide saadavushinnangu 2020.a. Kuna kõik toidu tarbimise andmebaasi tootekategooriad ei olnud kaetud glükoalkaloidide sisalduste andmetega, siis otsustati saadavuse hindamisel kasutada tooreste kartulite sisaldusi. Kõikide kartulite (nii suvised kartulid kui ka säilituskartulid) GA sisaldusi arvestades saadi keskmiseks UB sisalduseks 51,2 mg/kg, 95. protsentiili sisaldus oli 116,8 mg/kg. Minimaalsed ja maksimaalsed sisaldused olid vastavalt 1,1 ja 276,6 mg/kg.

Akuutset saadavust hinnati kasutades tõenäosuslikku lähenemist, arvestades vaid päevi, kus kartuleid tarbiti. Kuna tomatite ja baklažaanide kohta sisalduste andmed puudusid, ei võetud nendest saadavaid glükoalkaloidide arvesse.

Saadavushinnangus kasutati koorimist ja kuumtöötlemist arvestavaid töötlemisfaktoreid järgmiselt: koorimine 0,25–0,75, praadimine ja frittimine 0,1–0,8, muud kuumtöötlemismeetodid 0,35–0,95. Eeldati, et 90% kartulitest tarbitakse kooritult.

Glükoalkaloidide saadavuse hindamiseks arvutati keskmine ja 95. protsentiili akuutne saadavus UB lähenemisega erinevate tarbimisuuringute ja vanusegruppide lõikes. Keskmiseks UB

saadavuseks saadi 23,3 µg kehakaalu kg kohta päevas täiskasvanutel, samas 12–36 kuu vanustel lastel ulatus keskmine saadavus 174 µg-ni kehakaalu kg kohta. 95. protsentiil oli täiskasvanutel 78,3 µg ning 12–36-kuustel lastel 535,1 µg kehakaalu kg kohta.

Võrreldes kartuli glükoalkaloidide LOAEL väärtust 1 mg/kg päevas akuutse saadavusega leiti, et nooremate vanusegruppide kohta arvatud MOE-d osutavad, et saadavus on murettekitav kõrgeimate keskmiste saadavustega tarbimisuuringute korral ning 95. protsentiili jaoks kõikide tarbimisuuringute korral. Täiskasvanutel on murettekitavad MOE-d vaid 95. protsentiili saadavuste korral. Tarbimisuuringu vanuserühmade jaoks arvutati päevade osakaal, kus glükoalkaloidide saadavus võis olla nii suur, et MOE jäi alla 10. 12-36-kuustel lastel oli see 56% päevadest, 3-10-aastastel lastel 50% päevadest. Teistel vanusegruppidel oli MOE alla 10 22–40% uuringu päevadest (EFSA, 2020).

3.9 Võtted kartulitest ja kartulitoodetest saadava glükoalkaloidide koguse vähendamiseks

Esimeseks võimaluseks saadavat glükoalkaloidide kogust vähendada on tarbida madalama sisaldusega kartulisorte.

Kartuli sordiaretus ja -parandus on maha surunud kartulimugulates glükoalkaloide ekspresseerivat kodeerimispiirkonda StGAME9 (Shoji *et al.*, 2022). McCue *et al.* (2018) on välja pakkunud glükoalkaloidide ekspresseerivate geenide Sgt1 ja SGt2 vaigistamise RNA konstruktidega. Nakayasu *et al.* (2018) on geeni St16DOX muutmiseks CRISPR/Cas9 abil saanud α-solaniinivabad kartuliidud (*hairy roots*).

Tööstuslikult kasutatakse idanemise takistamiseks isopropüül-N-fenüülkarbamaati (IPC), isopropüül-N-(3-klorofenüül)karbamaati (CIPC). On kasutatud ka eteeni, nonanooli, malehüdrasiidi, karvooni, abstiishapet (ABA), indooläädikhapet, nelgipuuõli, mündiõli, vesinikperoksiidi ja 1,4-dimetüülaftaleeni (Singh and Lovedeep, 2009). Veel on pakutud idude tekke pärssimist hüdrofoobse nano-ränidioksiidiga, kiiritamisega, väävlit sisaldavate ühenditega (metioniini ja tiamiiniga) ning küüslauguga (EFSA, 2020).

BfR on kartulitest ja kartulitoodetest saadava glükoalkaloidide koguse vähendamiseks andnud välja järgmised soovitusel (BfR, 2022):

- Kartuleid tuleks hoida jahedas, pimedas ja kuivas kohas.
- Tarbimiseks ei sobi vanad, kuivanud, rohelised või tugevalt idanevad kartulid, aga ka kartulikoored ja peamiselt kartulikoortest koosnevad snäkid.
- Rohelised osad ja „silmad“ tuleks kartulitest koos rohke ümbritseva viljalihaga eemaldada.
- Kui tarbija tahab süüa kartulit koos koorega, sobivad selleks ainult kahjustamata värsked kartulid.
- Ei tohi süüa kibeda maitsega kartulitoite.
- Väikelapsed ei tohi süüa koorimata kartuleid.
- Kartulite keetmiseks kasutatud vett ei tohi uuesti kasutada.
- Kartulite frittimiseks kasutatavat rasva tuleb sageli vahetada.

3.10 Kokkupuude kartulis sisalduva plii ja kaadmiumiga EFSA saadavushinnangute kohaselt

EFSA on hinnanud plii saadavust toidust 19 Euroopa riigis 2010. aastal.

Plii sisaldused kartulis ja tärkliserikastes juurviljades olid järgmised: 0,0223–0,0345 mg/kg (LB ja UB stsenaariumi alusel), töötlemisfaktoritega korrigeeritult on LB vastavalt 0,0241 ja UB 0,0364 mg/kg.

Plii saadavuse hindamiseks arvutati keskmine saadavus täiskasvanutel lähtuvalt LB ja UB stsenaariumidest ning jäi vahemikku 0,36–1,24 µg kehakaalu kg kohta ööpäevas. Kõrgtarbijate (95. protsentiil) korral jäi saadavus vahemikku 0,73–2,43 µg kehakaalu kg kohta päevas. Väikelastel ja lastel olid saadavused märksa suuremad: 1–3-aastastel keskmiselt 1,10–3,10 µg (kõrgtarbijatel 1,71–5,51 µg), 4–7-aastastel mõningal määral väiksemad, keskmiselt 0,80–2,61 µg (kõrgtarbijatel 1,30–4,83 µg) kehakaalu kg kohta päevas. Suurima panuse andsid teraviljad, aedviljad ja kraanivesi. Märgiti, et riikide vahel ja ka riigisiselt olid varieeruvused toidukategooriates suured. Kartuli osakaal plii kogu saadavusest oli LB stsenaariumi alusel 8%, ja UB lähenemisega 6% (EFSA, 2010).

Kaadmiumi saadavus Euroopa elanikkonna hulgas on vastavalt EFSA 2012.a. hinnangule MB lähenemisel keskmiselt 2,04 µg ja 95. protsentiilil 3,66 µg kehakaalu kg kohta nädalas. Kõrgeim oli saadavus 1-3-aastastel lastel ja madalaim eakatel. Individuaalsed saadavused olid LB ja UB meetodikaid kasutades keskmiselt vahemikus 1,15–7,84, kõrgtarbijatel 2,01–12,1 µg kehakaalu kg kohta nädalas. Suurimad Cd sisaldused (üle 100 µg/kg) leiti vetikatoodetes, kakaos ja kakaotoodetes, koorikloomades, siseelundites, mereandides, seentes, õliseemnetes. Olulistes kogustes tarbitavad toidugrupid, nagu teraviljad ja teraviljatooted, aedviljad ja aedviljatooted ning tärkliserikkad viljad (13,2%) annavad saadavusse suurima panuse. Kartulist pärineb hinnanguliselt 13,2% kogu toidu kaudu saadavast kaadmiumi kogusest (EFSA, 2012).

4 Eestis tarbitavatest kartulist saadavate glükoalkaloidide ja raskmetallidega seotud riskide hinnang

4.1 Uuringu ülesehitus

Saadavushinnangu teostamiseks vajalik alginfo saadi järgmiselt:

- Selgitati välja 5 enim 2021.a. sügisel turustatud kartulisorti, millest võeti analüüsitavad proovid.
- Kuna Eestis analüüsivõimekus puudub, tuli kartuliproovide analüüsiks kasutada välislabori teenuseid. Glükoalkaloididest analüüsivad laborid valdavalt vaid α -solaniini ja α -sakoniini, ühegi labori akrediteerimisulatuses pole teisi isomeere, ehkki mõned laborid (nt University of Chemistry and Technology, Prague) suudavad tuvastada teiste glükoalkaloidide (β -sakoniini, solaniidiini, β -solaniini, γ -solaniini ja γ -sakoniini) olemasolu Kirjanduse andmetel on teisi isomeere alla 5%, seega praeguse info alusel pole nende analüüsimine hädavajalik.
- Glükoalkaloidide sisaldust määrati torestes koorimata kartulites, keedetud kooritud ja koorimata kartulites, ahjus küpsetatud kooritud ja koorimata kartulites ning kooritud kartulitest valmistatud praekartulites 2021.a. sügisel.
- 2022.a. kevadel analüüsiti glükoalkaloidide sisaldust ületalve hoitud torestes ning keedetud kartulites.
- 2022.a. sügisel võeti täiendavad kartuliproovid 2022.a. saagist, mida analüüsiti toorelt ja keedetult.
- Raskmetallide analüüsid tehti 2021.a. sügisel torestest kartulitest, kaadmiumi analüüsiti ka töödeldud kartuliproovides, arvestades raskmetallide analüüsitulemusi torestest kartulitest. Samadest praetud ja ahjukartulite proovidest analüüsiti akrüülamiidi sisaldust. Tulemusi saab edaspidi kasutada akrüülamiidi saadavushinnangus.
- Lisaks analüüsiti kartulit sisaldavaid imiku- ja väikelapsetoite glükoalkaloidide ja akrüülamiidi sisaldusele.
- Kartuli(toodete) tarbimisinfo saadi Tervise Arengu Instituudi poolt läbi viidud Eesti rahvastiku toitumise uuringust (TAI, 2014).

Analüüsitulemuste ja tarbitavate kartuli(toodete) koguste alusel arvutati:

- Glükoalkaloidide keskmine, 95. ja 99. protsentiili akuutne saadavus elanikkonna gruppide kaupa (ainult tarbijad, 1 päeva tarbimine);
- Plii ja kaadmiumi keskmine, 95. ja 99. protsentiili saadavus elanikkonna gruppide kaupa (kogu elanikkond, üle kõigi päevade).

4.2 Analüüsitavate proovide valik ja ettevalmistus

4.2.1 Kartulisortide valik

- Põllumajandus- ja Toiduametilt saadud 2020. ja 2021.a. seemnekartuli kasvupinna andmete alusel olid suurima mahuga sordid Laura, Gala, Tiina, Esmee ja Red Lady.
- Jaemüügis olevate sortide turu-uuringu alusel (5 suurt jaemüügiketti + Tartu turg) saadi 2021.a. sügisel kõige laiemalt müügil olevateks sortideks - Laura, Gala, Esmee, Colomba ja Red Lady. Osades kauplustes puudus lahtiselt müüdavate kartulite sordi kohta käiv info.
- Kasvatatavate sortide kohta ei õnnestunud saada infot tootjatelt: väljasaadetud päringutele vastuseid ei saadud. 10 kasvataja/ühistu kodulehtedel nimetati kõige sagedamini sorte Laura, Gala, Esmee, Vinetta ja Afra.
- Päringud saadeti välja ka hulгимüütajatele. Enamik neist ei vastanud, kuid vastajad mainisid, et nad ei ole sageli teadlikud, mis sorti kartulit nad vahendavad: sordi kohta käiv info on vaid „kartul punane“ ja „kartul kollane“.

- Statistikaameti andmetel on turustatava toidukartuli impordi osakaal 8,7%, samas kartulitoodetest imporditakse 82,3%. Toorest importkartulit tarbitakse eelkõige suveperioodil, seega neid ei analüüsitud.
- Eelneva info alusel otsustati analüüsiks võtta jaekaubanduses kõige sagedamini müüdavad sordid, st Laura, Gala, Esmee, Colomba ja Red Lady. Neist Gala ja Colomba on heleda koorega, Laura, Esmee ja Red Lady punase koorega.

4.2.2 Toore kartuli proovid

Valitud kartulisortide GA sisalduste uurimiseks võeti proovid lähtudes järgmistest põhimõtetest:

- proovid võeti erinevate jaekaubanduskettide kauplustest peamiselt Tartust, aga ka Tallinnast ja Pärnust, samuti Tartu turult, et haarata erinevate kartulikasvatavate toodangut;
- kuna kauplustele tarnivaid tootjaid on vähe, ja erinevates linnades müüdi samade tootjate kartuleid, võeti erinevatest jaemüügikettidest proovideks samade tootjate toodangut;
- kuna kartulite sortiment on erinevate linnade kauplustes ühesugune, siis 2022. aastal võeti proovid ainult Tartu linna kauplustest;
- kaupluste valiku määras suurel määral uuritavate kartulisortide olemasolu;
- proovideks võeti nii lahtiselt müüdavaid kui ka pakendatud, nii pesemata kui ka eelpestud kartuleid;
- proovi ei võetud, kui puudus info müüdava kartuli sordi kohta (sellest tingituna ei saanud peaaegu ühtegi proovi võtta Maxima ja Grossi Toidukaupade kauplustest ning mitmest küllastatud hulgilaost).

Proovivõtukohtade detailne info on Lisas 1.

2021.a. oktoobris võeti proovid Tartu, Tallinna, Pärnu, Põltsamaa kauplustest ning Tartu turult:

- igast sordist (Laura, Gala, Esmee, Colomba ja Red Lady) võeti 10 proovi, kokku 50 proovi;
- iga proovi kogus oli vähemalt 4 kilo;
- lahtiste kartulite hulgast valiti nn „keskmine proov“, võttes proovi hulka erineva suurusega mugulaid;
- proovide hulgas oli nii pesemata (eelkõige lahtiselt ja turul müüdavad kartulid) kui ka eelpestud kartuleid (eelkõige kile-, võrk- või paberkottidesse pakendatud kartulid);
- müügil olevate kartulite kvaliteet kõikus oluliselt: oli pealt roheliseks muutunud mugulaid ning vigastatud mugulaid; ilmselgelt söögiks kõlbmatuid kartuleid prooviks ei võetud;
- laboris jagati iga proov võimalikult ühtlaselt osadeks: toorelt analüüsiv, täiendavale töötlemisele minev ja ületalve säilitamisele kuuluv osa;
- toorelt analüüsimisele ja täiendavale töötlemisele minevad pesemata kartulid pesti jaheda veega;
- igast algsest proovist umbes pool (ca 2 kg) pandi paberkotti ning viidi säilitamisele;
- analüüsimisele minevad toore kartuli proovid (50 tk) hakiti väikseteks kuubikuteks, pakiti karpidesse ja külmutati laborisse saatmiseks;
- samadest proovidest tehti raskmetallide analüüsid (As, Cd, Hg, Pb).

2022.a. aprillis analüüsiti toore kartuli proove järgmiselt:

- 2021.a. sügisel võetud ja üle talve ca +6 °C juures külmkapis säilitatud proovidest moodustati sortide kaupa koondproovid (segati 10 ühe sordi proovi kokku), saadi 5 koondproovi;
- ilmselgelt söögiks kõlbmatud kartulid või nende osad, samuti idud, eemaldati;
- kuna säilitamine oli olulisel määral kartulite kvaliteeti halvendanud, võeti täiendavad proovid aprillis jaekaubanduses müügil olevatest kartulitest (st tegemist oli

tootjate/hulgimüüjate poolt paremates tingimustes ületalve hoitud kartuliga) – proovid saadi Laura, Gala, Colomba ja Red Lady sortidest, igäühest 3–6 erinevast kohast ostetud alamproovi, Esmee kartulit polnud kevadel müügil; igast sordist moodustati laboris koondproov;

- analüüsimisele minevad toore kartuli proovid (5 tk laboris säilitatud, 4 tk kevadel ostetud) hakiti väikseteks kuubikuteks, pakiti karpidesse ja külmutati laborisse saatmiseks. Kõik proovid jagati kolmeks paralleelprooviks ja analüüsiti eraldi.

2022.a. sügisel võeti proovid 2022.a. saagist:

- proovid võeti Laura, Gala, Colomba, Esmee ja Red Lady sortidest, igäühest 3–5 erinevast kohast ostetud alamproovi;
- analüüsimisele minevad toore kartuli proovid (5 tk) hakiti väikseteks kuubikuteks. Kõik proovid jagati kolmeks paralleelprooviks. Proovid valmistati ette külmkuivatusmeetodil.

4.2.3 Kartuliproovide eeltöötlus töötlemisviiside mõju uurimiseks

2021.a. sügisel võetud proovid valmistati töödelduna analüüsimiseks ette viiel viisil:

- kartulid kooriti tavapäraselt noaga ja keedeti (ca 20 min, vesi kattis kartuleid napilt, soola ei lisatud);
- samal viisil keedeti koorimata kartuleid;
- praetud kartulid valmistati kooritud kartulitest, mis lõigati õhukesteks lõikudeks min praeti vähese õliga pannil ca 20 min; osa kartulitest praadimise käigus pruunistus, kuid suurem osa jäi kollaseks;
- kooreta ahjukartul valmistati kooritud kartulitest, mis lõigati sarnase suurusega tükkideks (ca 50-grammised) ning küpsetati ahjus 35 min 200 °C juures; osa kartulitest pruunistus, osa jäi kollaseks;
- koorega ahjukartul (kauboikartul) – koorimata kartulitest lõigati sektorid (ca 4–8 sektorit kartuli kohta), küpsetati ahjus õlitatud küpsetuspaberi peal 35 min 200 °C juures;
- keedetud/küpsetatud proovid purustati ja segati kahvliga ühtlasema proovimassi saamiseks;
- igal töötlemisviisil valmistati proov ette iga sordi koondproovist kolmes korduses;
- iga töötlemisviisi koondproovist analüüsiti raskmetallidest ainult Cd sisaldust, kuna teiste raskmetallide sisaldus tooretel kartulites oli valdavalt alla määramispiiri;
- ettevalmistatud proovid külmutati laborisse saatmiseks;
- praetud, kooreta ahjukartuli ja koorega ahjukartuli proovid analüüsiti ka akrüülamiidi sisaldusele.

2022.a. proovide eeltöötlemine:

- valmistati ette analoogselt eelnenud aastaga koorega ja kooritud keedetud kartulite proovid sortide kaupa: laboris ületalve säilitatud kartulist 5 + 5 proovi, kevadel poest ostetutest 4 + 4 proovi, sügisel poest ostetutest 5 + 5 proovi;
- 2022.a. kartuliproove ei praetud ega küpsetatud, kuna 2021.a. analüüsitulemusi oli glükoalkaloidide sisalduste muutuste kohta järelduste tegemiseks piisavalt ja kõiki valmistusviise kaasates oleks proovide arv liiga suureks läinud;
- keedetud kartulid purustati ja segati kahvliga ühtlasema proovimassi saamiseks;
- kõik proovid analüüsiti kolmes paralleelis.

Lisaks analüüsiti 24 kartulit sisaldavat imiku- ja väikelapsetoidu proovi glükoalkaloidide ja akrüülamiidi sisaldusele. Proovide detailne info on Lisas 1.

4.3 Analüüsimeetodid

Kuna Eestis glükoalkaloidide ja akrüülamiidi analüüsi osas laborivõimekus puudus, kasutati välislaborite teenuseid

2021. ja 2022.a. kevadel ettevalmistatud kartuliproovid analüüsiti Eurofinsi laboris ID 0490L Eurofins Chemical Control S.r.l. (Cuneo).

LC/MS/MS meetod (testi kood ID01F) võimaldab määrata α -solaniini ja α -sakoniini sisaldust ja on akrediteeritud standardi EN ISO/IEC 17025 kohaselt. Määramispiir on 1 mg/kg, laiendmääramatus 20%.

Akrüülamiidi analüüsid kartuliproovides teostati samas laboris LC/MS/MS meetodil (testi kood ID796), mis on akrediteeritud standardi EN ISO/IEC 17025 kohaselt. Määramispiir on 20 μ g/kg, laiendmääramatus 21%. Meetodi saagis on 70–120%, mida ei ole arvesse võetud tulemuste väljendamisel.

Akrüülamiidi analüüsid imiku- ja väikelapsetoitudes teostati laboris LW 1977 Eurofins Food & Feed Testing Sweden (Lidköping) LC/MS/MS meetodiga (testi kood LP05E), mis on akrediteeritud standardi EN ISO/IEC 17025 kohaselt. Määramispiir on 10 μ g/kg, laiendmääramatus 20%. Meetodi saagis on 70-120%, mida ei ole arvesse võetud tulemuste väljendamisel.

2022.a. saagist võetud kartuliproovid analüüsiti Tšehhi laboris Department of Food Analysis and Nutrition University of Chemistry and Technology, Prague. Vastavalt standardile EN ISO/IEC 17025 akrediteeritud LC/MS/MS analüüsimeetod võimaldab määrata α -solaniini ja α -sakoniini sisaldust. Määramispiir on 5 mg/kg, laiendatud mõõtemääramatus 15%. Lisaks on meetodiga võimalik skriinida mõningate teiste glükoalkaloidide (β -sakoniini, solanidiini, β -solaniini, γ -solaniini ja γ -sakoniini) olemasolu.

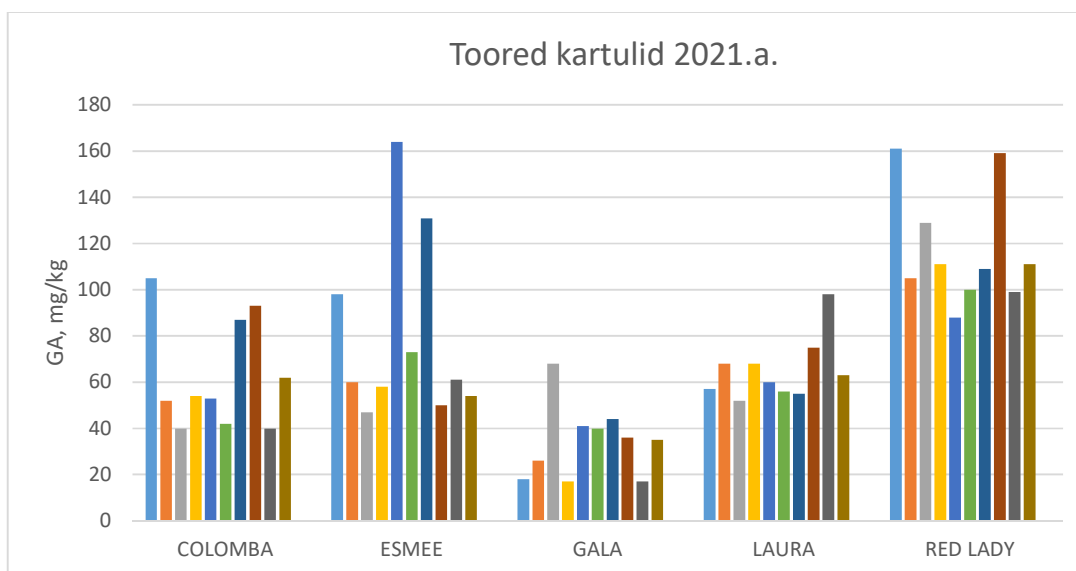
Raskmetallide analüüsid teostati Veterinaar- ja Toidulaboratooriumis. Akrediteeritud analüüsimeetodi SKI-TJ-201 ICP-MS määramispiirid on: As 0,01 mg/kg, Cd 0,007 mg/kg, Pb 0,01 mg/kg, Hg 0,004 mg/kg. Analüüsimeetodi laiendmääramatus on 20%.

4.4 Tooreste kartulite glükoalkaloidide sisaldused

2021.a. lõpus analüüsitud proovide tulemused näitasid, et uuringusse kaasatud kartulisortide keskmised glükoalkaloidide sisaldused varieeruvad, olles madalamad heleda koorega sortides (Gala ja Colomba) ja kõrgemad punase koorega sortides (Laura, Esmee, Red Lady). Sordisisene varieeruvus oli oluline, samas ei saa tuua välja ühest seost kartulite kvaliteediga. Kaks Esmee sordi proovi olid silmatorkavalt ebakvaliteetsete mugulatega, kuid vaid ühes neist oli GA sisaldus kõrge (164 mg/kg), teises pigem alla keskmise (58 mg/kg). Silmatorkavalt rohekad olid üle Colomba proovi mugulad, GA sisaldus oli neis antud sordi kõrgeim 105 mg/kg. Kokkuvõtte analüüsitulemustest on toodud tabelis 2.

Tabel 2. GA summaarsed keskmised sisaldused ja sisalduste vahemikud 2021.a. sügisel analüüsitud kartuliproovides

| Kartulisort | Keskmine GA sisaldus, mg/kg | GA sisalduste vahemik, mg/kg | Standardhälve, % |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| Colomba | 63 | 40–105 | 23,7 |
| Esmee | 80 | 47–164 | 39,3 |
| Gala | 34 | 17–68 | 15,8 |
| Laura | 65 | 52–98 | 13,5 |
| Red Lady | 117 | 88–161 | 24,9 |
| Sordid kokku | 72 | 17–164 | 36,4 |



Joonis 1. 2021.a. analüüsitud tooreste kartulite GA sisaldused sortide kaupa võetud proovide lõikes.

2022.a. kevadel analüüsiti külmkapis ca 6 °C juures 6 kuud säilitatud kartuleid uuesti. Muutused on kirjeldatud tabelis 3. Erinevad sordid on käitunud erinevalt: Colomba ja Esmee puhul muutust praktiliselt ei ole, Red Lady puhul jääb suurenemine alla 20%, kuid Laura ja Gala puhul on sisaldused praktiliselt kahekordsed.

Tabel 3. Laboris 2021/2022.a. ületalve hoitud kartulite GA sisaldused.

| Kartulisort | GA sisaldus 2021.a. sügisel, mg/kg | GA sisaldus 2022.a. kevadel peale säilitamist, mg/kg | Muutus, mg/kg |
|---------------------|------------------------------------|--|---------------|
| Colomba | 63 | 60 | -3 |
| Esmee | 80 | 79 | -1 |
| Gala | 34 | 58 | +24 |
| Laura | 65 | 137 | +72 |
| Red Lady | 117 | 135 | +18 |
| Sordid kokku | 72 | 94 | +22 |

Lisaks Veterinaar- ja Toidulaboris külmpapis säilitatule võeti samade sortide ületalve hoitud saagist 2022.a. kevadel uued proovid jaekaubandusest. Müügil oli viiest sordist neli (Colomba, Gala, Laura, Red Lady). Nende kartuliproovide GA sisaldused olid väikesed: keskmised sisaldused Colomba 17 mg/kg, Gala 21 mg/kg, Laura 34 mg/kg, Red Lady 27 mg/kg. Üheks põhjuseks võib olla asjaolu, et tootjatel on oluliselt paremad hoiutingimused võrreldes laboris säilitamisega. Arvesse võttes samadest kartulitest keetmise järgselt saadud GA sisaldusi, jääb kahtlus, et laboris on proovide ettevalmistuse käigus toimunud mõningane GA lagunemine.

2022.a. sügisel võetud kartuliproovide analüüsitulemused on toodud tabelis 4. GA sisaldused olid suuremad võrreldes eelneva aastaga. Proovid valmistati ette külmpuivatades, et vältida võimalikku GA sisalduste muutust enne analüüsi.

Kõikides proovides leiti lisaks α -solaniinile ja α -sakoniinile ka β -sakoniini. Teisi isomeere ei detekteeritud, ka β -sakoniini ei õnnestunud kvantitatiivselt määrata. Kõrgemad signaalid olid Laura ja Esmee proovides olid β -sakoniini signaalid ca 2,5 korda kõrgemad kui teistes sortides.

Tabel 4. 2022.a. saagist võetud kartuliproovide analüüsitulemused.

| Kartulisort | Keskmine GA sisaldus külmpuivatatud proovides, mg/kg |
|---------------------|---|
| Colomba | 128 |
| Esmee | 191 |
| Gala | 62 |
| Laura | 230 |
| Red Lady | 211 |
| Sordid kokku | 164 |

Proovide eeltötluse meetodite võrdluseks analüüsiti lisaks külmpuivatatud proovile sordist Colomba ka külmutatud tükeldatud proovi (analoog 2021.a. proovide ettevalmistusviisile) ning tervetest mugulatest koosnevat proovi. Külmutatud tükeldatud proovis saadi GA sisalduseks 110 mg/kg, tervetest mugulatest proovi puhul 98 mg/kg, mis olid külmpuivatatud proovi analüüsitulemusest vastavalt 14% ja 23% madalamad. Kuna tegemist oli vaid ühe testkatsega, siis otseseid järeldusi proovide ettevalmistusmeetodite erinevuse kohta teha ei saa.

Keskmised GA summa sisaldused toorestes kartulites arvestades kõiki analüüse olid: Colomba – 75 mg/kg, Esmee – 100 mg/kg, Gala – 40 mg/kg, Laura – 73 mg/kg, Red Lady – 136 mg/kg. Kõikide analüüsitud proovide keskmine GA sisaldus oli 86 mg/kg.

4.5 Raskmetallide sisaldused kartuliproovides

2021.a. võetud kartuliproovides (50 proovi) analüüsiti arseeni, elavhõbeda, kaadmiumi ja plii sisaldust. Kõikides proovides jäid arseeni ja elavhõbeda sisaldused alla määramispiiri, vastavalt < 0,01 mg/kg ja < 0,004 mg/kg. Sellest tulenevalt ei tehtud arseeni ja elavhõbeda kohta saadavushinnangut.

Pliid leiti viies Gala, kahes Colomba ja kahes Laura proovis vahemikus 0,01–0,02 mg/kg. Ülejäänud proovide puhul jäid sisaldused alla määramispiiri (< 0,01 mg/kg).

Kuna arseeni ja elavhõbeda sisaldused olid kõikidel juhtudel ja plii puhul enamikes proovides alla määramispiiri, siis töödeldud proove ei analüüsitud.

Kaadmiumi analüüsiti lisaks toore kartuli proovidele ka 25-s töödeldud proovis: 5 sorti, igauhest keedetud koorega ja kooreta, koorega ja kooreta ahjukartul, praetud kartul (tabel 5). Kaadmiumi sisaldused torestes kartulites olid alla määramispiiri (< 0,007 mg/kg) kolme Colomba proovi korral, 0,008–0,01 mg/kg neljal Colomba ja ühel Laura proovil, 0,011–0,020 mg/kg 26 proovis, 0,021–0,03 mg/kg 12 proovis ning 0,031–0,038 mg/kg neljas proovis (2 Laura, 1 Gala ja 1 Esmee proov). Keskmise kaadmiumi sisaldus analüüsitud kartulites oli UB stsenaariumi järgi 0,019 mg/kg.

Tabel 5. Kaadmiumi sisaldused analüüsitud proovides, mg/kg.

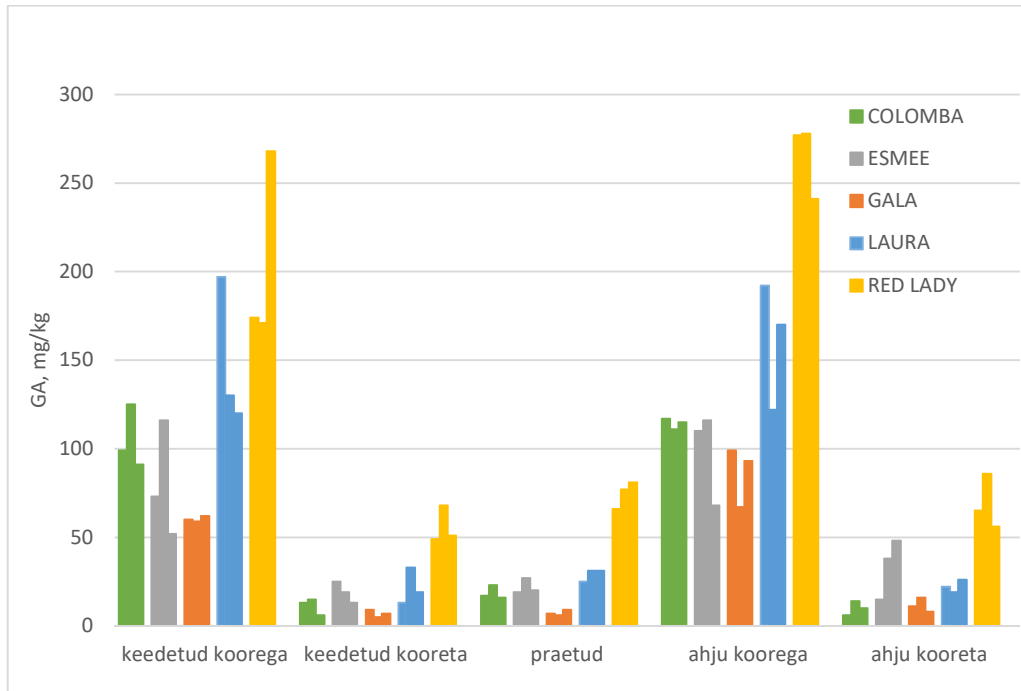
| Kartulisort | Toores (10 proovi keskmine) | Keedetud koorega | Keedetud kooreta | Praetud kooreta | Ahju koorega | Ahju kooreta |
|---------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|
| Colomba | 0,009 | 0,008 | 0,007 | 0,01 | 0,014 | 0,011 |
| Esmee | 0,019 | 0,018 | 0,013 | 0,026 | 0,025 | 0,021 |
| Gala | 0,021 | 0,022 | 0,02 | 0,027 | 0,036 | 0,033 |
| Laura | 0,022 | 0,029 | 0,025 | 0,031 | 0,037 | 0,039 |
| Red Lady | 0,016 | 0,016 | 0,015 | 0,02 | 0,024 | 0,02 |
| Sordid kokku | 0,018 | 0,019 | 0,016 | 0,023 | 0,027 | 0,025 |

4.6 Glükoalkaloidid töödeldud kartuli proovides

2021.a. sügisel võetud proovid valmistati ette kolmes paralleelis viiel erineval meetodil:

- koorega keedetud kartul;
- kooritud keedetud kartul;
- pannil praetud kooritud ja viilutatud kartul;
- ahjus küpsetatud koorimata kartul;
- ahjus küpsetatud kooritud kartul.

Analüüsitulemused on toodud joonisel 2 ja tabelis 6. On näha, et kooreta keedetud kartulites on sisaldused kõige väiksemad, praetud ja kooreta ahjukartulites on sisaldused lähedased, kuid 28% kõrgemad võrreldes keedukartuliga. Koorega ahjukartulites ületab GA sisaldus koorega keedetud kartulite sisaldust ca 20%. Koorega ja kooritult keedetud kartulites on sisalduste erinevus umbes 5-kordne.



Joonis 2. 2021.a. sügisel analüüsitud töödeldud kartuliproovid sortide lõikes.

Tabel 6. 2021.a. sügisel analüüsitud töödeldud kartuliproovide keskmised GA sisaldused.

| Kartulisort | Keskmise GA sisaldus, mg/kg | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|------------------|---------------|----------------|
| | keedetud koorega | keedetud kooritud | praetud kooritud | ahjus koorega | ahjus kooritud |
| Colomba | 105 | 11 | 17 | 117 | 10 |
| Esmee | 80 | 19 | 22 | 98 | 34 |
| Gala | 60 | 7 | 7 | 86 | 12 |
| Laura | 149 | 22 | 29 | 161 | 22 |
| Red Lady | 204 | 56 | 75 | 265 | 69 |
| Keskmine | 120 | 23 | 30 | 145 | 29 |

Samadest laborist ületalve hoidud kartulitest tehti 2022. a. kevadel keedetud kartuliproovide analüüsid (nii koorega kui kooreta). Tulemused on toodud tabelis 7.

Ületalve hoidud kartulite GA sisaldused koorega keedetud kartulites valdavalt tõusid: suurem tõus oli kõrgema GA sisaldustega sortides (Laura ja Red Lady). Kooritud kartulite korral ei olnud tendentsid selged, ilmselt tingituna väiksematest sisaldustest.

Tabel 7. 2022.a. kevadel analüüsitud laboris ületalve hoitud ja seejärel keedetud kartulite GA sisaldused võrreldes 2021.a. sügisel analüüsitudetega.

| Kartulisort | Keskmine GA sisaldus, mg/kg | | | |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | keedetud koorega 2021. a. | keedetud koorega 2022. a. | keedetud kooritud 2021. a. | keedetud kooritud 2022. a. |
| Colomba | 105 | 103 | 11 | 8 |
| Esmee | 80 | 104 | 19 | 17 |
| Gala | 60 | 75 | 7 | 25 |
| Laura | 149 | 203 | 22 | 30 |
| Red Lady | 204 | 279 | 56 | 56 |
| Keskmine | 120 | 153 | 18 | 26 |

Tabel 8. 2022.a. kevadel poest ostetud kartulite analüüsitulemused.

| Kartulisort | Keskmine GA sisaldus, mg/kg | |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | keedetud koorega 2022. a. kevad | keedetud kooritud 2022. a. kevad |
| Colomba | 39 | 10 |
| Gala | 53 | 7 |
| Laura | 101 | 10 |
| Red Lady | 129 | 19 |
| Keskmine | 80 | 11 |

Tabel 9. 2022.a. sügisel analüüsitud töödeldud kartuliproovide GA sisaldused.

| Kartulisort | Keskmine GA sisaldus, mg/kg | |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | keedetud koorega 2022.a. sügis | keedetud kooritud 2022.a. sügis |
| Colomba | 42 | 13 |
| Esmee | 144 | 33 |
| Gala | 45 | 16 |
| Laura | 117 | 17 |
| Red Lady | 241 | 66 |
| Keskmine | 118 | 29 |

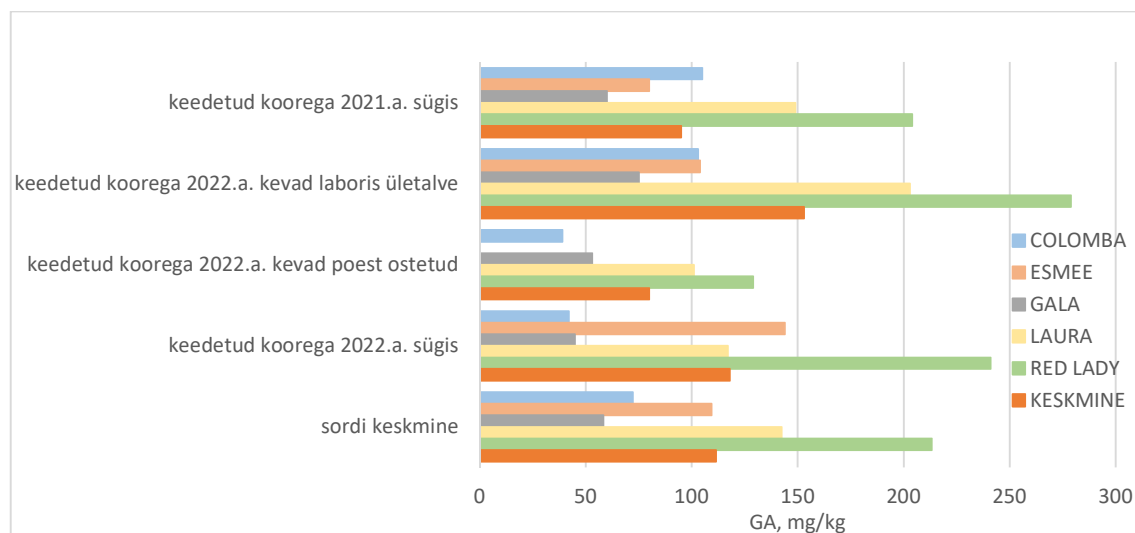
2022. aasta kevadel analüüsiti poest ostetud samade kartulisortide proovid keedetuna (koorega ja kooreta), va sort Esmee, mida kevadel müügil ei olnud. Analüüsitulemused on toodud tabelis 8.

2022.a. sügisel analüüsiti 2022. aasta saagi kartuleid keedetuna (koorega ja kooreta). Tulemused on esitatud tabelis 9.

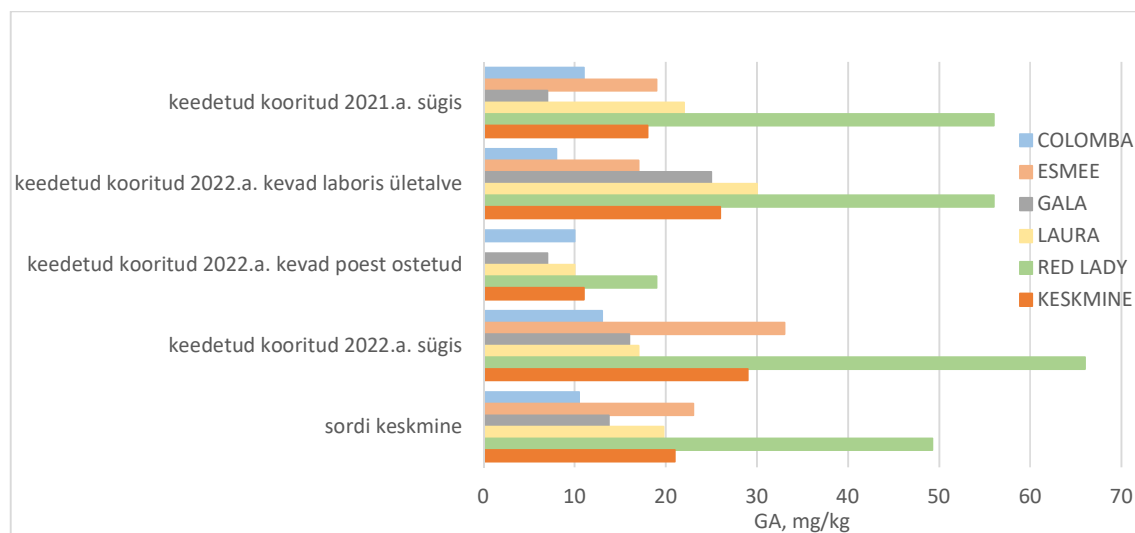
Esmee sordist valmistati ette täiendav proov, kus analüüsiti koorega keedetud ja peale keetmist kooritud kartuleid. GA sisalduseks saadi 74 mg/kg, mis tähendas 2-kordset sisalduse

väheneb võrreldes koorega kartuliga, kuid samas jäi sisaldus üle 2 korra suuremaks kartulitest, mis olid kooritud enne keetmist.

Koorega keedetud kartulite GA sisalduste kokkuvõte on toodud joonisel 3, kooritult keedetud kartulite kohta samad andmed joonisel 4. Mõlemal juhul eristub suurimate sisalduste poolest sort Red Lady, väikseimad sisaldused on sortides Colomba ja Gala. Keskmine GA sisaldus koorega keedetud kartulites oli 112 mg/kg, kooritult keedetud kartulites 21 mg/kg.



Joonis 3. Koorega keedetud kartulite GA sisaldused sortide lõikes.

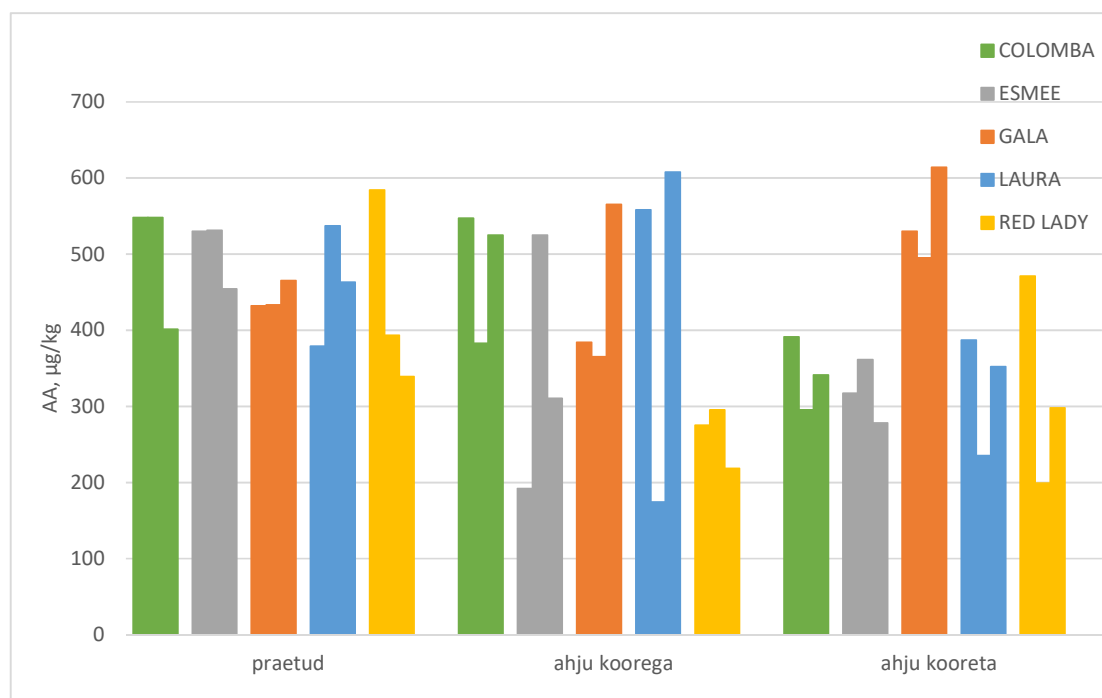


Joonis 4. Kooritult keedetud kartulite GA sisaldused sortide lõikes.

4.7 Akrüülamiidi sisaldused töödeldud kartuliproovides

Akrüülamiidi analüüsiks valmistati proovid ette kolmes korduses, mis analüüsiti eraldi. Kõikide proovide tulemused on toodud joonisel 5, keskmised sisaldused tabelis 10. Vaatamata sarnastele küpsetustingimustele on näha suuri kõikumisi paralleelproovide AA sisaldustes,

eelkõige ahjukartulite puhul. Keskmised sisaldused on suuremad heledakoorelistes sortides (Colomba ja Gala).



Joonis 5. Praetud ja ahjukartulite akrüülamiidi sisaldused võetud proovide lõikes.

Tabel 10. Akrüülamiidi sisaldused analüüsitud kartuliproovides.

| Kartulisort | Keskmine AA sisaldus, µg/kg | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| | praetud | koorega ahjukartul | kooritud ahjukartul | keskmine |
| Colomba | 499 | 485 | 342 | 442 |
| Esmee | 505 | 342 | 319 | 389 |
| Gala | 443 | 438 | 546 | 476 |
| Laura | 460 | 447 | 325 | 410 |
| Red Lady | 439 | 263 | 323 | 341 |
| Keskmine | 469 | 394 | 371 | 411 |

4.8 Glükoalkaloidide ja akrüülamiidi sisaldused imikutoitudes

Töö raames analüüsiti 24 kartulit sisaldavat jaekaubandusest ostetud imiku- ja väikelapsetoidu proovi. Analüüsitud proovide detailne info on esitatud Lisas 1.

Glükoalkaloidide sisaldus oli alla määramispiiri (< 1 mg/kg) üheteistkümnes proovis, 1–3 mg/kg kümnes proovis ja 5–10 mg/kg kolmes proovis.

Akrüülamiidi sisaldus jäi alla määramispiiri (< 10 µg/kg) seitsmes proovis, vahemikku 11–20 µg/kg kuues proovis, 21–30 µg/kg kuues proovis ning oli üle 30 µg/kg viies proovis. Kahe lihaga aedviljapüree proovi AA sisaldused olid silmatorkavalt suured: 95 ja 99 µg/kg.

4.9 Saadavuse hindamiseks kasutatud andmed

4.9.1 Klassifikaatorite vastavused

Glükoalkaloidide saadavuse uuringu lähteülesandes ettenähtud vanuserühmade jaotus on järgmine: väikelaps (1–2 aastat vana), laps (3–9 aastat vana), nooruk (10–17 aastat vana) ja täiskasvanu (18–64 aastat vana) ja eakas (alates 65 aasta vanusest). Toitumisuuringus olnud vanuserühmad võimaldavad seda jaotust suures osas järgida. Erandiks on toitumisuuringu vanuserühm „2–5 aastat“, mis hõlmab lähteülesande vanuserühmi „väikelaps“ ja „laps“. Seetõttu on toitumisuuringu vanuserühma „2–5 aastat“ vastena lisatud lähteülesande vanuserühm „väikelaps/laps“.

Lisaks lähteülesandes toodud vanuserühmadele hinnati glükoalkaloidide, plii ja kaadmiumi saadavust ka imikute vanuserühmas (kuni 12 kuu vanused).

Kuna toitumisuuringus 34 kandel puudusid kehakaalu andmed, siis asendati need tabelis 11 toodud vaikimisi kehakaaluga.

Glükoalkaloidide saadavuse uuringus tehti analüüsid järgmiste töötlusviiside korral: „toores“ (koorega), „keedetud koorega“, „keedetud kooreta“, „praetud“ (ilma kooreta), „küpsetatud koorega“ ja „küpsetatud kooreta“. Nende vastavus toitumisuuringus kasutatud töötlusviisidega on esitatud tabelis 12.

Tabel 11. Toitumisuuringu ja saadavuse hinnangu vanuserühmade vastavus ning vaikimisi kehakaalud.

| Toitumisuuringu vanuserühm | Lähteülesande vanuserühm | Vaikimisi kehakaal (kg) |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 7–11 kuud | Imik | 8,8 |
| 3–6 kuud | Imik | 6,7 |
| 1 aasta | Väikelaps | 11,9 |
| 2–5 aastat | Väikelaps/laps | 11,9 |
| 6–9 aastat | Laps | 23 |
| 10–13 aastat | Nooruk | 43,2 |
| 14–17 aastat | Nooruk | 57,4 |
| 18–24 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 25–29 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 30–34 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 35–39 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 40–44 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 45–49 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 50–54 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 55–59 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 60–64 aastat | Täiskasvanu | 70 |
| 65–69 aastat | Eakas | 70 |
| 70–74 aastat | Eakas | 70 |

Tabel 12. Toitumisuuringu ja saadavusuuringu töötlemisviiside vastavus.

| Toitumis- uuringu kood | Toitumisuuringu töötlusviis | Saadavusuuringu töötlusviis |
|---------------------------------------|--|--|
| 101 | kartul, söödud toorelt | Toores |
| 102 | kartul, aurutatud | Keedetud kooreta |
| 103 | kartul, keedetud (sh salatites, külmsuppides) | Keedetud kooreta |
| 104 | kartul, keedetud (kartulipudru/püree koostises) | Keedetud kooreta |
| 105 | kartul, keedetud/hautatud (suppide ja hautiste/pajaroogade koostises) | Keedetud kooreta |
| 106 | kartul, küpsetatud (sh ahju- ja vormiroogades) | Küpsetatud kooreta |
| 107 | kartul, praetud (sh panniroogades) | Praetud |
| 108 | kartul, lisatud kotlettide, kartulipannkookide jmt koostisse | Praetud |
| 109 | kartul, keedetud ja seejärel küpsetatud (sh ahju- ja vormiroogades) | Küpsetatud kooreta |
| 110 | kartul, keedetud ja seejärel praetud (sh panniroogades) | Praetud |
| 111 | kartul, keedetud ja lisatud kotlettide, kroketite jmt koostisse | Praetud |
| 112 | kartul, valmistusviis ebaselge (kuumtöödeldud roogade koostises) | Keedetud kooreta |
| 113 | friikartul, külmutatud pooltoode frititud (peamiselt kiirsöögikohast) | Praetud |
| 114 | friikartul, külmutatud pooltoode küpsetatud | Praetud |
| 115 | friikartul, külmutatud pooltoode praetud | Praetud |
| 116 | friikartul, külmutatud pooltoode kuumtöödeldud (valmistusviis ebaselge) | Praetud |
| 117 | friikartul, frititud (eelnev töötlus ebaselge) | Praetud |
| 118 | friikartul, küpsetatud (eelnev töötlus ebaselge) | Praetud |
| 119 | friikartul, valmistusviis ebaselge | Praetud |
| 201 | kartul koos koorega, keedetud (sh salatites, külmsuppides) | Keedetud koorega |
| 202 | kartul koos koorega, keedetud (kartulipudru/püree koostises) | Keedetud koorega |
| 203 | kartul koos koorega, keedetud/hautatud (suppide ja hautiste/pajaroogade koostises) | Keedetud koorega |
| 204 | kartul koos koorega, küpsetatud (sh ahju- ja vormiroogades) | Küpsetatud koorega |
| 205 | kartul koos koorega, praetud (sh panniroogades) | Keedetud koorega |
| 206 | kartul koos koorega, keedetud ja seejärel praetud (sh panniroogades) | Keedetud koorega |

4.9.2 Kartuli tarbimise andmed

Saadavuse hindamisel kasutatud kartuli(toodete) tarbimisandmed on saadud Eesti rahvastiku toitumisuuringust (Rahvastiku toitumisuuring, 2014 andmed, Tervise Arengu Instituut). Uuring hõlmas 5041 inimese toitumist kahel päeval.

Andmete töötlemiseks jagati uuringus osalejad kartulitarbijateks (need, kes söid kartulit vähemalt ühel uuringu päeval) ja kartuli mittetarbijateks (need, kes kummalgi uuringu päeval kartulit ei söönud; kas nad muudel päevadel kartulit tarbisid või mitte, pole teada).

Vastavalt uuringu tulemustele oli kartulitarbijaid tunduvalt rohkem kui mittetarbijaid (sõltuvalt vanuserühmast 82,7%–93,8% vs 6,2%–17,3%). Erandlik grupp on imikud, kus tarbijaid oli oluliselt vähem kui mittetarbijaid (39,5% vs 60,5%) (tabel 13).

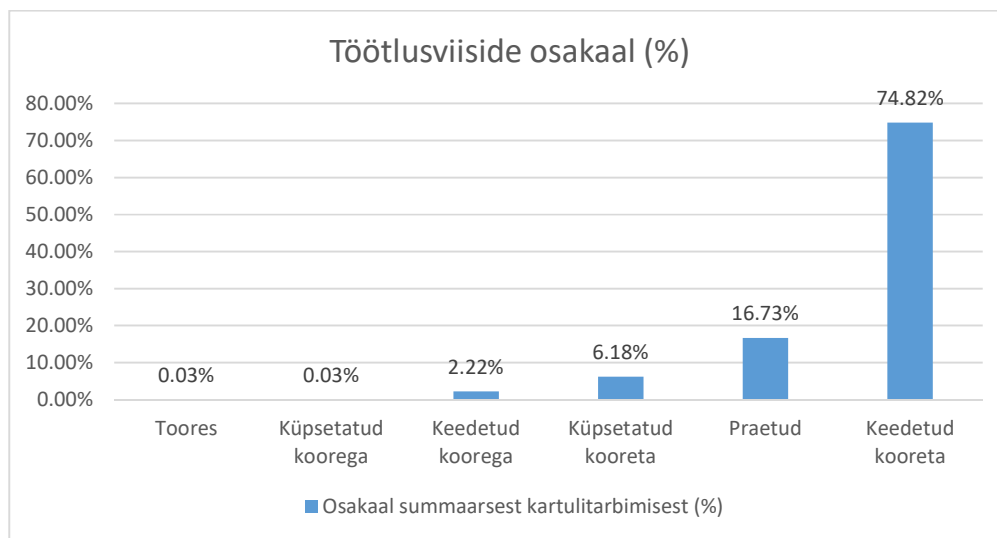
Kõigis vanuserühmades oli tarbijate arv piisav, et lisaks 95% protsentiilile välja arvutada ka 99% protsentiil (eeldab vähemalt 100 tarbijat).

Tabel 13. Toitumisuuringus osalenute jaotus vanusegruppide kaupa.

| Vanuserühm | Arv | Kartuli- tarbijaid | Kartuli mittetarbijaid ¹ |
|----------------|--------------|-----------------------|--|
| Imik | 511 (10,1%) | 202 (39,5%) | 309 (60,5%) |
| Väikelaps | 118 (2,3%) | 104 (88,1%) | 14 (11,9%) |
| Väikelaps/laps | 579 (11,5%) | 543 (93,8%) | 36 (6,2%) |
| Laps | 347 (6,9%) | 322 (92,8%) | 25 (7,2%) |
| Nooruk | 380 (7,5%) | 328 (86,3%) | 52 (13,7%) |
| Täiskasvanu | 2608 (51,7%) | 2156 (82,7%) | 452 (17,3%) |
| Eakas | 498 (9,9%) | 439 (88,2%) | 59 (11,8%) |
| Kokku | 5041 | 4094 (81,2%) | 947 (18,8%) |

¹ Kartuli mittetarbijateks loetakse toitumisuuringus osalejad, kes ei tarvitanud kartulit ühelgi päeval kahest päevast.

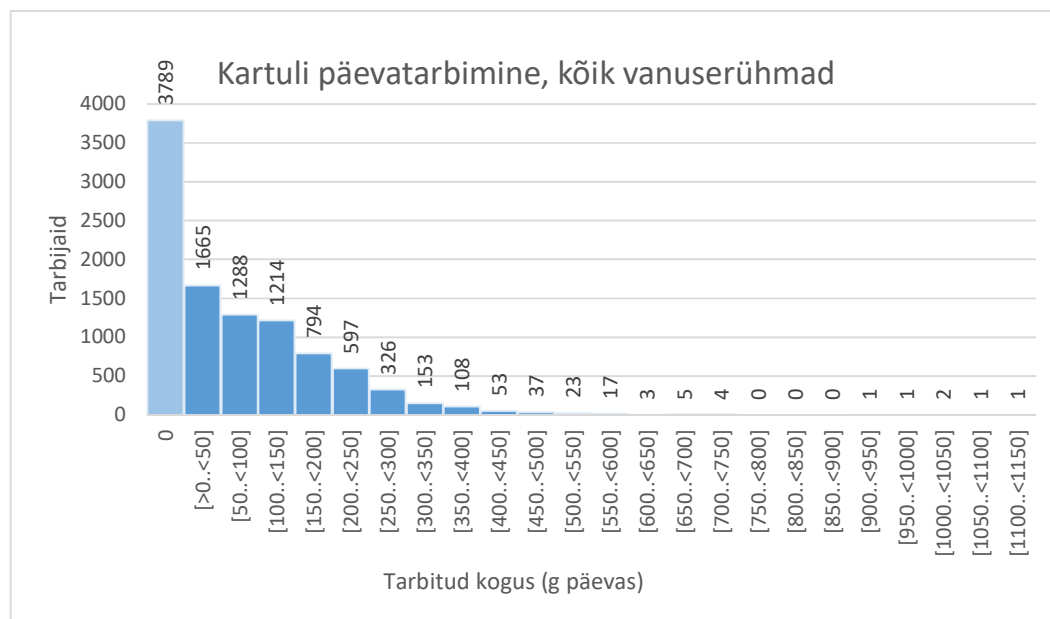
Joonis 6. Tarbitud kartuli töötlusviiside osakaal Toitumisuuringu andmete alusel.



74,8% kartulitest tarbiti kooreta keedetult (Joonis 6). Järgnes praetud kartul (16,7%), seejärel kooreta küpsetatud (6,2%) ja koorega keedetud (2,2%) kartul. Toorelt söödud kartuli osa on tühine (0,03%).

Kartuli päevatarbimise jaotuskõver (Joonis 7) on tugevalt positiivse (paremkaldelise) asümmeetriaga ning sisaldab suurel hulgal nulltulemusi. Nulltarbimise päevi on 3789 päeva ehk 37,6%, mistõttu jaotuskõvera maksimum (mood) on nulli juures. Üldiselt järgib sarnast mustrit ka tarbimine vanuserühmade kaupa.

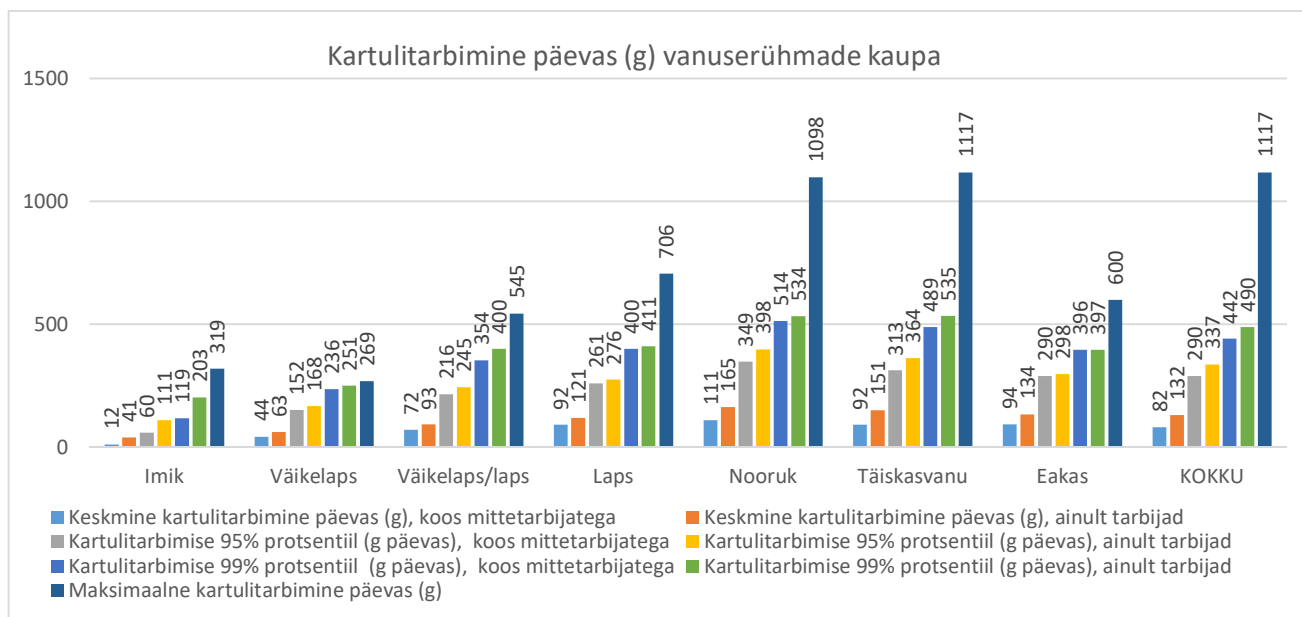
Joonis 7. Ööpäevase kartulitarbimise histogramm kõigi vanuserühmade jaoks. Iga toitumisuuringu päev on loetud eri päevaks.



Tõenäoselt tarbib kartulit suur osa Eesti elanikkonnast kahest päevast pikema perioodi, nt ühe nädala jooksul, seega nullpäevade kaasamine arvutustesse viiks nii keskmise kui ka 95% ja 99% protsentiilid mõnes vanuserühmas tunduvalt madalamaks. Jooniselt 8 on näha, et näiteks imikutel on keskmine kartulitarbimine nullpäevi kaasates 3,42 korda väiksem kui nullpäevadeta (12 g päevas vs 41 g päevas), kõigil vanuserühmadel kokku on erinevus 1,61 korda (82 g päevas vs 132 g päevas). Seetõttu eemaldati glükoalkaloidide saadavuse arvutustest nulltarbimisega päevad.

Jaotuskõvera positiivne asümmeetria tingib selle, et aritmeetiline keskmine on suurem kui mediaan, mida tuleks normaaljaotusest erineva jaotuse korral kasutada. Tulemuseks on tõenäoliselt saadud glükoalkaloidide ja raskmetallide koguse ülehindamine, kuid see välistab koguste süstemaatilise alahindamise.

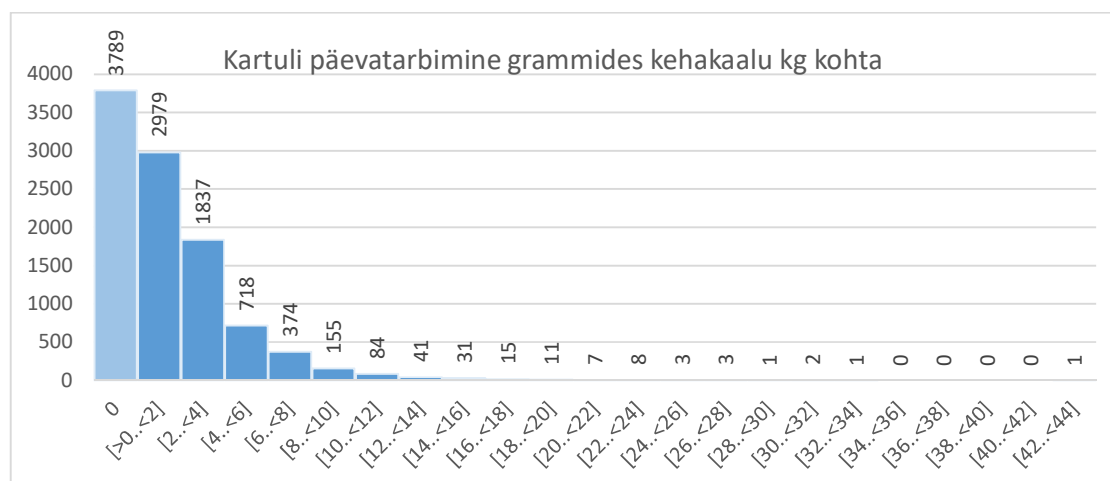
Joonis 8. Kartulitarbimine päevas vanuserühmade kaupa.



Keskmine kartulitarbimine kasvab vanuse tõustes: noorukitel (165 g päevas ainult tarbijatel) on see ligi neli korda suurem kui imikutel (41 g päevas ainult tarbijatel). Täiskasvanueas toimub keskmises tarbimises kerge langus (151 g päevas ainult tarbijatel), tuntavam langus tekib eakatel (134 g päevas ainult tarbijatel). Maksimumtarbimine on üldjuhul tunduvalt (noorukitel ja täiskasvanutel üle kahe korra) suurem 99% protsentiili tarbimisest, kuid siin on tegemist erandjuhtumitega.

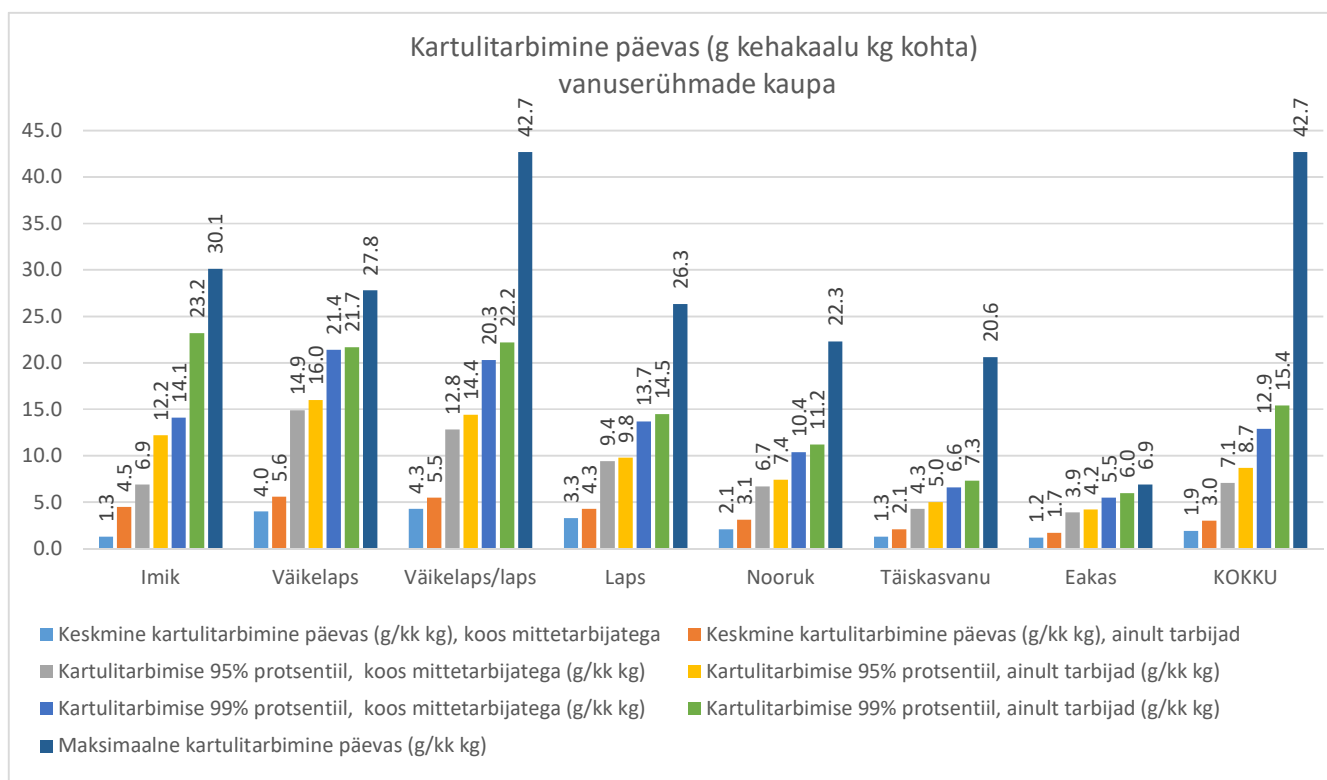
Saadavuse arvutamiseks tuleb päevas tarbitud kartulikogus teisendada töötlemisviiside kaupa koguseks kehakaalu kilogrammi kohta. Kuna joonise 6 järgi on domineerivaks töötlusviisiks on kooreta keetmine (74,8%), kooreta praadimine (16,7%) ja kooreta küpsetamine (6,2%), mille tulemuseks on sarnased glükoalkaloidide sisaldused, annab töötlusviiside järgi liigendamata kogus kehakaalu kilogrammi kohta piisavalt tõepärase jaotuse.

Joonis 9. Ööpäevase kartulitarbimise histogramm grammides kehakaalu kg kohta kõigi vanuserühmade jaoks. Iga toitumisuuringu päev on loetud eri päevaks.



Joonisel 9 olev jaotus sarnaneb joonisel 7 olevale jaotusele, samaks jäävad ka joonise 7 põhjal tehtud järeldused.

Joonis 10. Kartulitarbimine päevas (g kehakaalu kg kohta) vanuserühmade kaupa.



Tarbimise kehakaalu järgi normaliseerimisel nihkub tarbimise raskuspunkt noorematesse vanuserühmadesse (imik kuni väikelaps/laps) ja hakkab sealt vanuse suurenedes järjekindlalt vähenema. Kui absoluuttarbimist arvestades on joonise 10 järgi tarbimisrekord täiskasvanute käes (1117 g), siis kehakaalu järgi arvestades ületab vanuserühma „väikelaps/laps“

maksimumtulemus täiskasvanute maksimumi üle kahe korra (42,7 g kehakaalu kg kohta vs 20,6 g kehakaalu kg kohta).

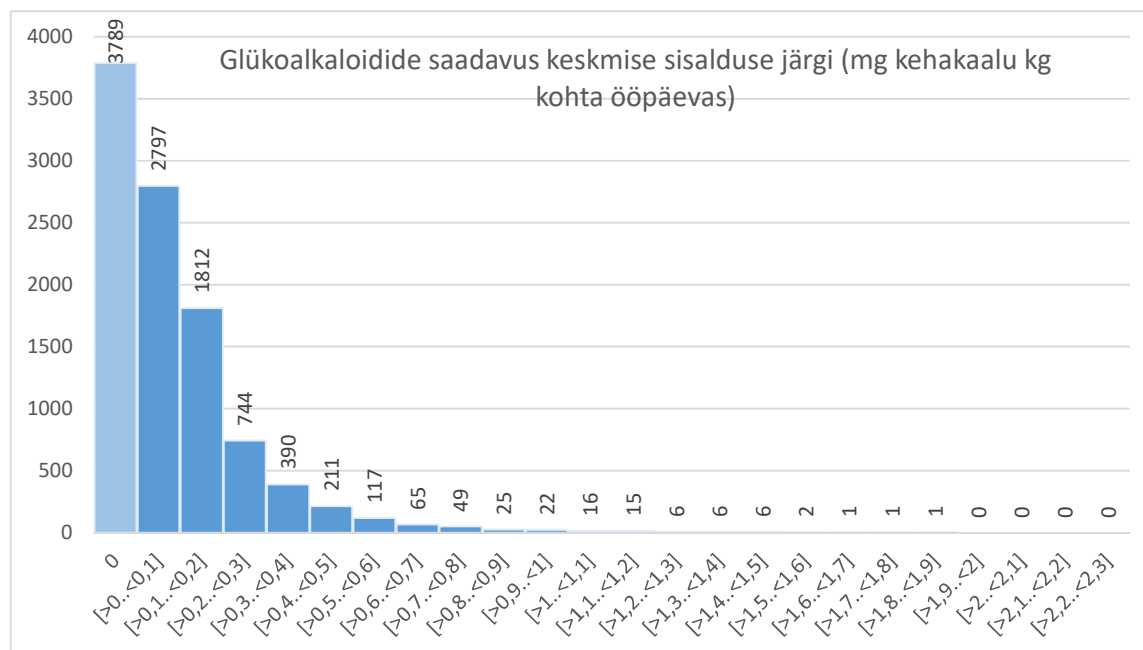
4.10 Eesti tarbija kokkupuude kartulis leiduvate glükoalkaloididega

Kartulis leiduvate glükoalkaloidide saadavuse arvutamiseks kasutati Tervise Arengu Instituudilt saadud Eesti toitumisuuringu andmebaasi väljavõtet.

Glükoalkaloidide saadavuse leidmiseks tehti järgmist:

- Toitumisuuringus leiduvad töötlemisviisid viidi vastavusse analüüsitud proovide töötlemisviisidega (p. 4.9.1 „Klassifikaatorite vastavused“). Kasutati kõige lähedasema töötlemisviisi sisaldusi: nt kartulipüree või supi tarbimisel saadav glükoalkaloidide kogus arvutati kooreta keedetud kartuli alusel, friikartulite korral kasutati kooreta praetud kartuli sisaldusi.
- Toitumisuuringu vanuserühmad viidi vastavusse lähteülesande vanuserühmadega (punkt „Klassifikaatorite vastavused“).
- Analüüsitud toitude/toodete sisaldusena kasutati analüüsitulemuste keskmist antud töötlemisviisi jaoks. Töötlemistegureid ei kasutatud, kuna toitumisuuringu andmed olid seotavad vastavalt töödeldud proovide analüüsitulemustega.
- Glükoalkaloidide akuutse toime väljaselgitamiseks leiti toitumisandmete alusel kartulit sisaldavatest toitudest saadud kartulikogused töötlemisviisi järgi eraldi tarbimispäevadena (toitumisuuring hõlmas kaht päeva). Kõiki uuringus osalejaid käsitleti kahe eraldiseisvate tarbimisjuhtudena: esimese tarbimisjuhuna arvestati esimesel päeval tarbitud kartulikogus, teise tarbimisjuhuna teise päeva kogus. Konkreetsete tarbimispäevade kasutamist saadavuse arvutamisel soovitab ka WHO akuutse saadavuse hindamiseks (WHO, 2020).
- Töötlemisviisile vastava sisalduse põhjal leiti glükoalkaloidide kogus tarbitud toidus.
- Toiduga saadud glükoalkaloidide kogused seoti tarbijaga ning tarbija kehakaalu põhjal arvutati välja glükoalkaloidide saadavus antud tarbimispäeval keskmise ning 95. ja 99. protsentiili sisaldusena.
- Arvutustes kasutati kõikide sortide keskmist glükoalkaloidide sisaldust: „toores“ 85,9 mg/kg; „keedetud koorega“ 117 mg/kg; „keedetud kooreta“ 23,0 mg/kg; „praetud kooreta“ 30,3 mg/kg; „ahjus küpsetatud koorega“ 145 mg/kg; „ahjus küpsetatud kooreta“ 29,3 mg/kg..

Joonis 11. Glükoalkaloidide saadavuse (mg kehakaalu kg kohta) histogramm koos mittetarbijatega, keskmise sisalduse järgi.

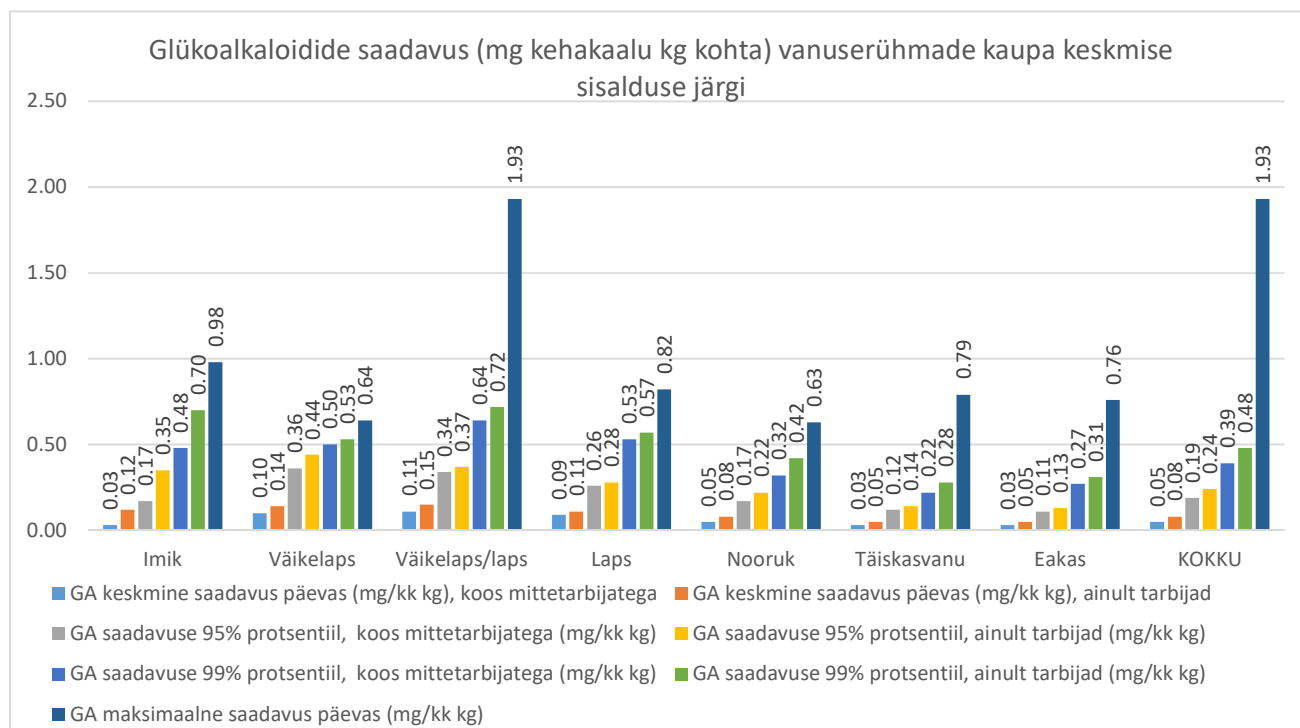


Glükoalkaloidide saadavuse jaotuskõver on tugevalt positiivse (paremkaldelise) asümmeetriaga ning sisaldab suurel hulgal nulltulemusi (joonis 11). Nulltarbimisega päevi on 3789 päeva (37,6%).

Kuna kartul on Eestis laialt tarbitav, siis suure tõenäosusega tarvitab suur osa elanikkonnast seda siiski pikema perioodi (nt ühe nädala) jooksul, seega nullpäevade kaasamine arvutustesse viiks nii keskmise kui ka 95% ja 99% protsentiilid mõnes vanuserühmas tunduvalt madalamaks.

Jaotuskõvera positiivne asümmeetria tingib ka selle, et aritmeetiline keskmine on suurem kui mediaan, mida tuleks normaaljaotusest erineva jaotuse korral kasutada. Tulemuseks on tõenäoliselt glükoalkaloidide saadavuse ülehindamine, kuid see välistab saadavuse süstemaatilise alahindamise.

Joonis 12. Glükoalkaloidide saadavus (mg kehakaalu kg kohta) vanuserühmade kaupa, keskmise sisalduse järgi.



Võttes glükoalkaloidide toksilisuse avaldumise piiriks (LOAEL) 1 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas (EFSA, 2020), jääb saadavus keskmise sisalduse korral kõigis vanuserühmades 99. protsentiili korral (0,28–0,72 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas) sellest allapoole. Ühe erandiga võib seda öelda ka maksimumtarbimise (0,63–0,98 mg/kehakaalu kg) kohta, erandiks on vanuserühmas „väikelaps/laps“ saadud maksimumkogus (1,93 mg glükoalkaloide kehakaalu kg kohta ööpäevas / 545 g kartulit ööpäevas).

Lisaks arvatati glükoalkaloidide saadavus kõige suurema glükoalkaloidide sisaldusega sordi (Red Lady) järgi (joonis 13). Arvutuse aluseks on järgmised glükoalkaloidide keskmised sisaldused: „toores“ 135,5 mg/kg; „keedetud koorega“ 213,5 mg/kg; „keedetud kooreta“ 47,9 mg/kg; „praetud kooreta“ 74,7 mg/kg; „ahjus küpsetatud koorega“ 265 mg/kg; „ahjus küpsetatud kooreta“ 69,0 mg/kg.

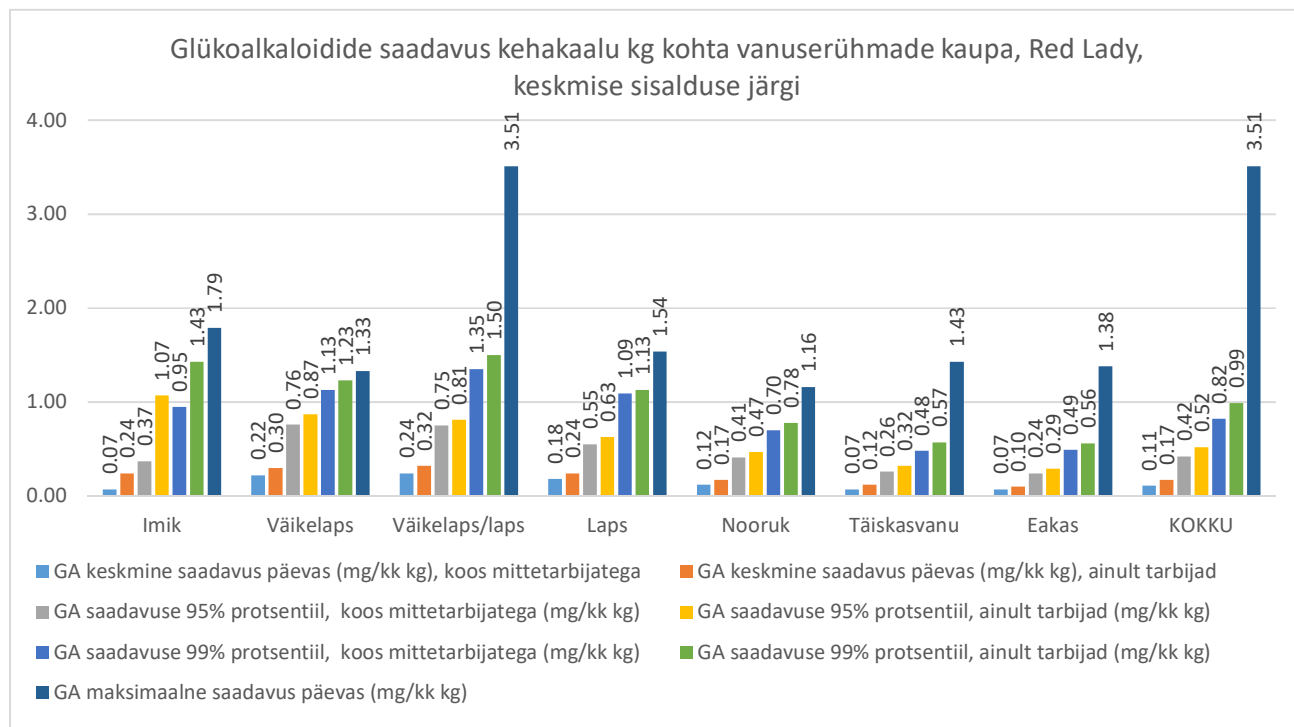
Ainult Red Lady tarbimisel on kõige silmatorkavam maksimaalne saadavus 3,51 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas vanuserühmas „väikelaps/laps“. See tähendab, et oldaks vahemikus, mida EFSA (2020) peab potentsiaalselt surmavaks (3–6 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas).

Glükoalkaloidide maksimaalne saadavus ületaks ainult Red Lady tarbimisel LOAEL-i piiri (1 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas) ka kõigis teistes vanuserühmades (1,16–1,79 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas). See tähendab, et nendel tarbijatel oleksid võinud ilmnedä glükoalkaloidide mürgituse tunnused.

Nooruktest nooremates vanuserühmades ületaks 99. protsentiili saadavus ainult Red Lady tarbimisel LOAEL-i piiri (1,13–1,50 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas), kuid 95. protsentiili saadavus jääks allapoole LOAEL-i (0,63–0,87 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas).

Alates noorukite vanuserühmast ei ületaks 99. protsentiili saadavus (0,56–0,78 mg kehakaalu kg kohta saadavus) ka ainult Red Lady tarbimisel LOAEL-i piiri.

Joonis 13. Glükoalkaloidide saadavus (mg kehakaalu kg kohta) vanuserühmade kaupa, Red Lady.



Saadavusarvutuste algandmed on toodud Lisas 2 „Glükoalkaloidide saadavus toitumisuuringu andmete põhjal“.

4.11 Eesti tarbija kokkupuude kartulis sisalduvate raskmetallidega

Raskmetallide saadavuse leidmiseks tehti järgmist:

- Toitumisuuringu vanuserühmad viidi vastavusse lähteülesande vanuserühmadega (punkt „Klassifikaatorite vastavused“).
- Raskmetallide sisaldus arvatati toore kartuli sisalduse alusel, töötlemistegureid ei rakendatud. Allapoole määramispiiri jäävad tulemused loeti võrdseks määramispiiriga (*upper bound* meetodika). See viib saadavuse ülehindamisele. Kaadmiumi ja plii sisaldus kartuliproovides on esitatud tabelis 14.
- Arvatati iga vanuserühma jaoks tarbitud kartulikogus grammides kehakaalu kilogrammi kohta päeva keskmise kogusena (tabel 15). Kuna kartuli tarbimise jaotuskõver on positiivselt asümmeetriline (joonis 7), viib keskmise kasutamine mediaani asemel saadavuse ülehindamisele.

Tabel 14. Kaadmiumi ja plii sisaldused kartuliproovides.

| Sort | Cd proovide arv | Cd keskmine sisaldus, UB (mg/kg) | Cd, UB standard-hälve (mg/kg) | Pb proovide arv | Pb keskmine sisaldus, UB (mg/kg) | Pb, UB standard-hälve (mg/kg) |
|--------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Colomba | 15 | 0,009 | 0,0022 | 10 | 0,010 | - |
| Esmee | 15 | 0,020 | 0,0055 | 10 | 0,010 | - |
| Gala | 15 | 0,023 | 0,0064 | 10 | 0,012 | 0,004 |
| Laura | 15 | 0,025 | 0,0097 | 10 | 0,011 | 0,003 |
| Red Lady | 15 | 0,017 | 0,0027 | 10 | 0,010 | - |
| Kokku | 75 | 0,019 | 0,0082 | 50 | 0,011 | 0,002 |

Tabeli 14 andmetest on näha, et kaadmiumi ja plii keskmine sisaldus kartulis (vastavalt 0,019 mg/kg ja 0,011 mg/kg) jääb tunduvalt allapoole komisjoni määrusega (EL) 2023/915 kehtestatud piirnormist 0,10 mg/kg, ka ei ületanud seda piiri ükski üksiktulemus.

Imikute puhul domineerivad juhud (71,7%, tabel 15), kus kartulit ei tarbitud ühelgi päeval. Selliste päevade kaasamine keskmise tarbitava kartulikoguse arvutamisse annab ligi kolm korda erineva tulemuse (1,3 g kartulit kehakaalu kilogrammi kohta päevas nullpäevi arvestades vs. 3,3 g kartulit kehakaalu kilogrammi kohta päevas nullpäevi arvestamata). Teistes vanuserühmades on selliseid juhtusid vähem (22,5%–38,7%) ja erinevus nullpäevade arvestamise ja mittearvestamise vahel on tunduvalt väiksem.

Edasistes arvutustes on võetud arvesse kõik tarbijad, ka need, kes vaadeldud päevadel kartulit ei tarvitanud.

Raskmetallide päevane keskmine saadavus arvatati tarvitatud kartulikoguse ja vastava raskmetalli üle kõigi sortide arvatatud keskmise sisalduse põhjal (tabel 14). Eeldati, et raskmetallide sisaldus kartuli töötlemisel ei muutu.

Kaadmiumi korral on saadavusarvutustes kasutatud lubatud (talutavat) nädala kogust (TWI) 2,5 µg kehakaalu kilogrammi kohta (EFSA, 2012) ja Cd keskmist sisaldust 0,019 mg/kg (tabel 16).

Tabel 15. Tarbitud kartulikogus kehakaalu kg kohta vanuserühmade kaupa raskmetallide kroonilise toime määramiseks.

| Vanuserühm | Kartuli tarbimine (g kehakaalu kg kohta päevas) | | | | | | |
|----------------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| | Keskmine. koos nullpäevadega | Keskmine. ilma nullpäevadeta | 95% protsentiil. koos nullpäevadega | 95% protsentiil. ilma nullpäevadeta | 99% protsentiil. koos nullpäevadega | 99% protsentiil. ilma nullpäevadeta | Maksimaalne |
| Imik | 1,3 | 3,3 | 3,8 | 6,0 | 7,1 | 10,9 | 23,5 |
| Väikelaps | 4,0 | 4,5 | 7,8 | 8,5 | 14,3 | 15,1 | 21,5 |
| Väikelaps/laps | 4,3 | 4,6 | 7,8 | 7,9 | 12,7 | 12,8 | 29,2 |
| Laps | 3,3 | 3,5 | 5,5 | 5,6 | 7,8 | 7,9 | 17,0 |
| Nooruk | 2,1 | 2,4 | 4,7 | 4,8 | 6,5 | 6,6 | 14,7 |
| Täiskasvanu | 1,3 | 1,5 | 2,7 | 2,9 | 4,4 | 4,6 | 12,5 |
| Eakas | 1,2 | 1,4 | 2,6 | 2,7 | 3,7 | 3,7 | 5,9 |

Tabel 16. Kaadmiumi saadavus kartuli tarbimisel

| Vanuserühm | Cd saadavus (μg kehakaalu kg kohta nädalas), koos nullpäevadega | | | | Cd, % TWI koos nullpäevadega | | | |
|----------------|---|-----------------|-----------------|-------------|------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| | Keskmine | 95% protsentiil | 99% protsentiil | Maksimaalne | Keskmine | 95% protsentiil | 99% protsentiil | Maksimaalne |
| Imik | 0,17 | 0,51 | 0,94 | 3,13 | 6,9 | 20,2 | 37,8 | 125,0 |
| Väikelaps | 0,53 | 1,04 | 1,90 | 2,86 | 21,3 | 41,5 | 76,1 | 114,4 |
| Väikelaps/laps | 0,57 | 1,04 | 1,69 | 3,88 | 22,9 | 41,5 | 67,6 | 155,3 |
| Laps | 0,44 | 0,73 | 1,04 | 2,26 | 17,6 | 29,3 | 41,5 | 90,4 |
| Nooruk | 0,28 | 0,63 | 0,86 | 1,96 | 11,2 | 25,0 | 34,6 | 78,2 |
| Täiskasvanu | 0,17 | 0,36 | 0,59 | 1,66 | 6,9 | 14,4 | 23,4 | 66,5 |
| Eakas | 0,16 | 0,35 | 0,49 | 0,78 | 6,4 | 13,8 | 19,7 | 31,4 |

Kaadmiumi keskmine saadavus vanuserühmade kaupa on vahemikus 0,16–0,57 μg kehakaalu kg kohta nädalas (6,4–22,9% TWI-st). 95% protsentiil on ligi 2 korda kõrgem keskmisest vahemikus 0,35–1,04 μg kehakaalu kg kohta nädalas (13,8–41,5% TWI-st). 99% protsentiil on vahemikus 0,49–2,01 μg kehakaalu kg kohta nädalas (19,7–80,3% TWI-st).

On näha, et isegi 99% protsentiil jääb tunduvalt allapoole TWI-d. Maksimaalne saadavus (iga vanuserühma suurim) on toodud vaid illustatsiooniks, selle põhjal ei saa järeldusi teha.

Plii korral on järgnevat arvutustes kasutatud täiskasvanute jaoks neerukahjustuste võrdlusdoosi määra BMDL₀₁ 0,63 µg kehakaalu kilogrammi kohta ööpäevas, laste korral arenguga seotud neurotoksilisuse võrdlusdoosi määra BMDL₀₁ 0,50 µg kehakaalu kilogrammi kohta ööpäevas (EFSA, 2010).

Selleks, et risk poleks märkimisväärne, peaks MOE (*margin of exposure*), mis saadakse BMDL₀₁ jagamisel ööpäevas tarbitava kogusega kehakaalu kilogrammi kohta, olema vähemalt 10 (EFSA, 2010).

Arvutustes kasutatakse plii keskmist sisaldust 0,011 mg/kg. Plii saadavuse tõlgendamisel tuleb silmas pidada, et Pb määramisel jäi 41 tulemust 50-st alla määramispiiri (0,01 mg/kg). Nende tulemuste korral kasutati *upper bound* (UB) lähenemist, mis viib saadavuse ülehindamisele.

Tabel 17. Plii saadavus kartuli tarbimisel.

| Vanuse- rühm | Pb saadavus (µg kehakaalu kg kohta päevas), koos nullpäevadega | | | | Pb MOE ₀₁ , koos nullpäevadega | | | |
|-----------------|--|-----------------|-----------------|-------------|---|-----------------|-----------------|-------------|
| | Keskmine | 95% protsentiil | 99% protsentiil | Maksimaalne | Keskmine | 95% protsentiil | 99% protsentiil | Maksimaalne |
| Imik | 0,014 | 0,042 | 0,078 | 0,259 | 35,7 | 11,9 | 6,4 | 1,9 |
| Väikelaps | 0,044 | 0,086 | 0,157 | 0,237 | 11,4 | 5,8 | 3,2 | 2,1 |
| Väikelaps/laps | 0,047 | 0,086 | 0,140 | 0,321 | 10,6 | 5,8 | 3,6 | 1,6 |
| Laps | 0,036 | 0,061 | 0,086 | 0,187 | 13,9 | 8,2 | 5,8 | 2,7 |
| Nooruk | 0,023 | 0,052 | 0,072 | 0,162 | 21,7 | 9,6 | 6,9 | 3,1 |
| Täiskasvanu | 0,014 | 0,030 | 0,048 | 0,138 | 45,0 | 21,0 | 13,1 | 4,6 |
| Eakas | 0,013 | 0,029 | 0,041 | 0,065 | 48,5 | 21,7 | 15,4 | 9,7 |

Plii keskmine saadavus vanuserühmade kaupa on vahemikus 0,013–0,047 µg kehakaalu kg kohta päevas (MOE₀₁ 10,6 kuni 48,5). 95% protsentiil on 2–3 korda kõrgem keskmisest vahemikus 0,029–0,086 µg kehakaalu kg kohta päevas (MOE₀₁ 5,8 kuni 21,7). 99% protsentiil on vahemikus 0,041–0,157 µg kehakaalu kg kohta päevas (MOE₀₁ 3,2 kuni 15,4).

Plii keskmise saadavuse MOE on peaaegu kõigis vanuserühmades vähemalt 10. Arvestades määramispiirist allapoole jäänud tulemusi võib väita, et tõenäoliselt ka siin on MOE üle 10. 95. ja 99. protsentiilide korral on MOE üle 10 täiskasvanute ja eakate vanuserühmas, 95. protsentiili korral imikute vanuserühmas.

Kokkuvõttes võib öelda, et uuritud proovides ei kujuta kaadmiumi ja plii sisaldused keskmise ning täiskasvanutel ja eakatel ka 99. protsentiili tarbimise korral märkimisväärset terviseriski.

4.12 Määramatus

Saadavushinnangu tulemustele avaldab mõju hulk määramatusi:

- Analüüsiti vaid 5 kartulisorti, mille hulgas ei pruugi olla kõrgeimate ega ka madalaimate sisaldustega sordid.
- Uuringusse ei kaasatud suviseid varaseid kartuleid, importkartuleid ning ebastandardse (väikeseid, valmimata jm) suurusega kartuleid.
- Glükoalkaloidide sisaldus kartulites sõltub väga paljudest keskkonnafaktoritest: ilmastikutingimustest, pinnasest, koristusajast, säilitustingimustest ja -ajast jms, mida antud uuringus pole olnud võimalik registreerida.
- Glükoalkaloidide sisaldused võivad varieeruda oluliselt aastate lõikes.
- Analüüsitulemusi võib mõjutada proovide ettevalmistusviis laborisse saatmiseks (tükeldamine, külmutamine, külmuivatamine), proovide säilitamise ja transportimise viis, samuti proovide käsitlemine laboris.
- Saadavuse arvutamisel kasutati 2014. a. toitumisandmeid. Käesolevaks ajaks võib olla mõningaid muutusi tarbimismustrites (tarbitavad kogused, kartuli töötlemisviisid, koorega söödavate kartulite osakaal), millega töös pole arvestatud.
- Arvutustes kasutati tarbitud tootele kõige lähedasema töötlemisviisiga saadud glükoalkaloidide sisalduse tulemusi, mis ei pruugi alati vastata tegelikele sisaldustele.

Kõik loetletud määramatused võivad avaldada mõju nii saadavuse üle- kui ka alahindamise suunas. Alla avastamis- või määramispiiri olnud analüüsitulemuste tõlgendamisel kasutatud *upper bound* (UB) lähenemine annab pigem ülehinnatud tulemused.

Toitumise andmebaasist on väljavõte ainult kartulit sisaldavate toitude kohta, mistõttu töös arvatud raskmetallide saadavus on vaid osa üldisest saadavusest, kaasatud ei ole muud olulisel määral panustavad toidud.

5 Kokkuvõte

- Glükoalkaloidide saadavuse hindamiseks andmete saamiseks analüüsiti kokku 257 kartuliproovi. Proove koguti 2021. a. sügisel, 2022. a. kevadel ja sügisel.
- Analüüsimiseks valiti 5 jaekaubanduses ja turgudel 2021. a. sügisel enim müüdud kartulisorti, neist 2 heleda koorega (Colomba ja Gala) ning 3 punase koorega (Laura, Esmee ja Red Lady).
- Lisaks toorestele kartuliproovidele valmistati analüüsimiseks ette viiel viisil töödeldud proovid sortide kaupa: kooritult keedetud kartulid, koorega keedetud kartulid, kooritult praetud kartulid, kooritud ahjukartulid, koorega ahjukartulid.
- Keskmised glükoalkaloidide sisaldused toorestes kartulites arvestades kõiki analüüse olid sortide lõikes: Colomba - 75 mg/kg, Esmee – 100 mg/kg, Gala – 40 mg/kg, Laura - 73 mg/kg, Red Lady – 136 mg/kg. Keskmise GA sisaldus oli 86 mg/kg. 2022.a. saagi kartulite glükoalkaloidide sisaldused olid kõrgemad võrreldes 2021.a. saagiga.
- Glükoalkaloidide sisaldused koorituna töödeldud kartulites (keedetud, praetud, ahjukartul) olid lähedased, vastavalt 23 mg/kg, 30 mg/kg ja 29 mg/kg. Samuti olid sarnased koorega keedetud kartulite ja koorega ahjukartulite sisaldused, vastavalt 120 mg/kg ja 145 mg/kg.
- Glükoalkaloidide keskmiseks saadavuseks üle kõigi vanusegruppide saadi 0,08 mg, 95. protsentiili korral 0,24 mg, 99. protsentiilil 0,48 mg ööpäevas kehakaalu kg kohta.
- Võttes glükoalkaloidide toksilisuse avaldumise piiriks (LOAEL) 1 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas (EFSA, 2020), jääb saadavus keskmise sisalduse korral kõigis

vanuserühmades 99. protsentiili korral (0,28–0,72 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas) sellest allapoole. Sama saab öelda ka maksimumtarbimise (0,63–0,98 mg/kehakaalu kg kohta) osas, va vanuserühmas „väikelaps/laps“ saadud maksimumkogus, mis oli 1,93 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas.

- Eraldi arutati saadavus kõrgeima glükoalkaloidide sisaldusega sordi Red Lady kohta. Ainult Red Lady tarbimisel on maksimaalne saadavus 3,51 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas vanuserühmas „väikelaps/laps“, olles vahemikus, mida EFSA (2020) peab potentsiaalselt surmavaks (3–6 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas). Maksimaalne saadavus ületaks ainult Red Lady tarbimisel LOAEL-i ka kõigis teistes vanuserühmades (1,16–1,79 mg kehakaalu kg kohta ööpäevas). See tähendab, et nendel tarbijatel oleksid võinud ilmnedä glükoalkaloidide mürgituse tunnused.
- Kaadmiumi keskmine saadavus vanuserühmade kaupa on vahemikus 0,16–0,57 µg kehakaalu kg kohta nädalas (6,4–22,9% TWI-st). Nii 95% kui 99% protsentiili saadavused jäävad tunduvalt allapoole TWI-d.
- Plii keskmine saadavus vanuserühmade kaupa on vahemikus 0,013–0,047 µg kehakaalu kg kohta päevas (MOE₀₁ 10,6 kuni 48,5). 95. ja 99. protsentiili jaoks on MOE laste vanusegruppides küll alla 10, kuid arvestades, et suur osa analüüsitulemustest oli alla määramispiiri ja arvutustes kasutatid *upper bound* (UB) lähenemist, on tegemist saadavuse ülehindamisega.
- Elavhõbeda ja arseeni sisaldused jäid uuritud proovides alla määramispiiri, mistõttu saadavushinnangut nende jaoks ei tehtud.

6 Kirjandusallikad

Abdelrahman, Kamal S., Heba A. Hassan, Salah A. Abdel-Aziz, Adel A. Marzouk, Atsushi Narumi, Hiroyuki Konno, and Mohamed Abdel-Aziz. 2021. “JNK Signaling as a Target for Anticancer Therapy.” *Pharmacological Reports* 73 (2): 405–34.
<https://doi.org/10.1007/s43440-021-00238-y>.

BfR, 2022. „Solanine in Potatoes: Green and Strongly Germinating Potato Tubers Should Be Sorted out.“
https://www.bfr.bund.de/en/press_information/2018/15/solanine_in_potatoes_green_and_strongly_germinating_potato_tubers_should_be_sorted_out-204286.html. Viimane külastus: 09.08.2022.

Cuschieri, Andrea and Jean Calleja-Agius. 2020. “Wnt/PCP Signalling Cascade Disruption by JNK Inhibition as a Potential Mechanism Underlying the Teratogenic Effects of Potato Glycoalkaloids.” *Molecular Biology Reports* 47 (11): 9235–38.
<https://doi.org/10.1007/s11033-020-05921-6>.

EFSA. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA Journal* 2010; 8(4):1570. [151 pp.].
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>

EFSA. Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal* 2012;10(1):2551. [37 pp.]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551>.

EFSA. 2019. Dujardin B and Kirwan L. Technical report on the raw primary commodity (RPC) model: strengthening EFSA’s capacity to assess dietary exposure at different levels of

the food chain, from raw primary commodities to foods as consumed. EFSA supporting publication 2019;EN-1532. 30 pp. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2019.EN-1532>
EFSA. 2020. EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain). Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Wallace H, Brimer L, Cottrill B, Dusemund B, Mulder P, Vollmer G, Binaglia M, Ramos Bordajandi L, Riolo F, Roldan-Torres R and Grasl-Kraupp B. 2020. Scientific Opinion–Risk assessment of glycoalkaloids in feed and food, in particular in potatoes and potato-derived products. EFSA Journal 2020;18(8):6222. 190 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6222>

Friedman, Mendel, Christina C. Tam, Luisa W. Cheng and Kirkwood M. Land. 2020. “Anti-Trichomonad Activities of Different Compounds from Foods, Marine Products, and Medicinal Plants: A Review.” BMC Complementary Medicine and Therapies 20 (1): 271. <https://doi.org/10.1186/s12906-020-03061-9>.

IARC (International Agency for Research on Cancer). 1993. Beryllium. Cadmium. Mercury and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. vol. 58. Lyon. France. 444 pp. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol58/volume58.pdf>.

IARC. 2006. Inorganic and Organic Lead Compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human. 87. 519. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Inorganic-And-Organic-Lead-Compounds-2006>

Komisjoni määrus (EÜ) nr 915/2023. 25. aprill 2023, milles käsitletakse teatavate saasteainete piinorme toidus ja millega tunnistatakse kehtetuks määrus (EÜ) nr 1881/2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0915>

Kondamudi, Narasimharao, Jacob Smith and Owen McDougal. 2017. “Determination of Glycoalkaloids in Potatoes and Potato Products by Microwave Assisted Extraction.” American Journal of Potato Research 94 (2): 153–59. <https://doi.org/10.1007/s12230-016-9558-9>.

McCue, Kent F, Andrew Breksa, Ana Vilches and William R. Belknap. 2018. “Modification of Potato Steroidal Glycoalkaloids with Silencing RNA Constructs.” American Journal of Potato Research 95 (1): 9–14. <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9609-x>.

Nakayasu, Masaru, Ryota Akiyama, Hyoung Jae Lee, Keishi Osakabe, Yuriko Osakabe, Bunta Watanabe, Yukihiro Sugimoto. et al. 2018. “Generation of α -Solanine-Free Hairy Roots of Potato by CRISPR/Cas9 Mediated Genome Editing of the St16DOX Gene.” Plant Physiology and Biochemistry. Genome Editing Technologies for Plant Physiology. 131 (October): 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.026>.

Okamoto, Haruko, Laurence J. M. Ducreux, J. William Allwood, Pete E. Hedley, Alison Wright, Vidyanath Gururajan. Matthew J. Terry and Mark A. Taylor. 2020. “Light Regulation of Chlorophyll and Glycoalkaloid Biosynthesis During Tuber Greening of Potato *S. Tuberosum*.” Frontiers in Plant Science 11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00753>.

Sancer, Okan, Uğur Şahin, Meryem Ateş and Sibel Yünlü. 2022. “Evaluation of Genotoxic and Apoptotic Effects of Sprouted Potato.” Potato Research. June 2022. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09560-1>.

Shoji, Tsubasa, Naoyuki Umemoto and Kazuki Saito. 2022. “Genetic Divergence in Transcriptional Regulators of Defense Metabolism: Insight into Plant Domestication and Improvement.” Plant Molecular Biology 109 (4): 401–11. <https://doi.org/10.1007/s11103-021-01159-3>.

Singh, Jaspreet and Kaur Lovedeep. 2009. Advances in Potato Chemistry and Technology - 1st Edition. Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/advances-in-potato-chemistry-and-technology/singh/978-0-12-374349-7>.

Tilahun, S., An, H.S., Solomon, T., Baek, M.W., Choi, H.R., Lee, H.C., Jeong, C.S. 2020. Indices for the Assessment of Glycoalkaloids in Potato Tubers Based on Surface Color and Chlorophyll Content. Horticulturae 6. 107. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040107>

Winkiel, M.J., Chowański, S., Słocińska, M. 2022. Anticancer activity of glycoalkaloids from Solanum plants: A review. Frontiers in Pharmacology 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2022.979451/full>

World Health Organization and Food and Agriculture Organization. 2020. “Principles and Methods for the Risk Assessment of Chemicals in Food.. Chapter 6 : Dietary Exposure Assessment of Chemicals in Food.” In Principles and Methods for the Risk Assessment of Chemicals in Food. Environmental Health Criteria 240. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572408>.

Xiang, Mei-Ling, Bin-Yuan Hu, Zi-Heng Qi, Xiao-Na Wang, Tian-Zhen Xie, Zhao-Jie Wang, Dan-Yu Ma, Qi Zeng and Xiao-Dong Luo. 2022. “Chemistry and Bioactivities of Natural Steroidal Alkaloids.” Natural Products and Bioprospecting 12 (1): 23. <https://doi.org/10.1007/s13659-022-00345-0>.