



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa Investeeringud
maapiirkondadesse

Akrüülamiid toidus ja selle vähendamise võimalused

Sissejuhatus

Akrüülamiid on saasteaine, mis tekib toiduvalmistamise käigus nii tööstuslikes kui ka kodustes tingimustes peamiselt suure süsivesikutesisaldusega taimsete toitude kuumtöötlemisel, eelkõige röstimisel, küpsetamisel ja praadimisel. Akrüülamiidi leidub kartuli- ja teraviljatoodetes, eelkõige friikartulites, kartulikrõpsudes, küpsistes, leivatoodetes, hommikusöögihelvestes, aga ka kohvis. Märkimisväärseid akrüülamiidi sisaldusi ei ole leitud keedetud, aurutatud, mikrolaineahjus või muul viisil madalal temperatuuril valmistatud toitudes.

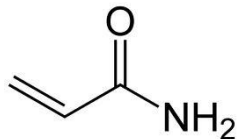
Toidu kaudu saadavale akrüülamiidile hakati suuremat tähelepanu pöörama 2002. aastal, kui avastati selle teke teatud süsivesikuterikastes toitudes, mida kuumutati temperatuuril üle 120 °C. Välja on pakutud mitmeid tekkemehhanisme, kuid peamiselt on tegemist Maillardi reaktsiooniga hüdrofiilse aminohappe asparagiini ja redutseerivate suhkrute (glükoos, fruktoos) vahel kõrgel temperatuuril toidu väikese niiskusesisalduse juures.

Kuna akrüülamiid on genotoksiline kantserogeen, tuleks hoida sellega kokkupuude nii väike, kui on mõistlikkuse piires võimalik (ALARA printsiip – *as low as reasonably achievable*). Akrüülamiidisisalduste vähendamiseks toidus on **komisjoni määrusega (EL) 2017/2158** kehtestatud riskivähendusmeetmed ja võrdlusväärtused. Rakendatud meetmete tõhususe jälgimiseks teostavad toidukäitlejad ja liikmesriikide pädevad asutused akrüülamiidisisalduste seiret. Kui seire käigus leitakse, et akrüülamiidisisaldus ületab konkreetse toidukategooria jaoks märgitud võrdlusväärtuse, tuleb toidukäitlejal läbi vaadata kohaldatavad riskivähendusmeetmed, kohandada tootmis- ja töötlemisprotsesse ning leida täiendavaid akrüülamiidi koguse vähendamise võimalusi.

Siinses teabematerjalis on antud ülevaade akrüülamiidi tekkest ja esinemisest toidus, sellega seotud terviseriskidest ning akrüülamiidisisalduse vähendamise võimalustest nii tööstuslikes tingimustes kui ka koduse toiduvalmistamise käigus.

Akrüülamiidi omadused ja leidumine

Akrüülamiid (CAS-i nr 79-06-01) on lõhnatu valge kristalliline tahke aine molekulaarse valemiga C_3H_5NO ja molaarmassiga 71,08 g/mol. See lahustub hästi vees ja alkoholides, vähesel määral mittepolaarsetes lahustites. Toatemperatuuril on akrüülamiid stabiilne ühend, kuid polümeriseerub kergesti sulamistemperatuurini 84,5 °C kuumutamisel või UV-kiirguse toimel.



Akrüülamiidi toodetakse tööstuslikult mitmel otstarbel, kuid enamik sellest kulub polüakrüülamiidi tootmiseks, milles võib olla monomeeri jääksisaldus < 0,1%. Polüakrüülamiid on imetajatele vähetoksiline ning seda kasutatakse eelkõige joogivee ja tööstusliku heitvee puhastamisel flokulandina. Akrüülamiidi ja polüakrüülamiide kasutatakse ka puidu- ja paberitööstuses, värvide sünteesil, kosmeetika- ja toidupakendite tööstuses, samuti pinnase tugevdajana tammide ja tunnelite ehitusel.

Akrüülamiidi ei peeta keskkonnas eriti püsivaks. Biolagunemine pinnases toimub peamiselt ensüüm-katalüüsitud hüdrolyüüsi teel, vees on ilmselt keskne roll mittebioloogilisel hüdrolyüüsil. Akrüülamiidi kontsentratsioon atmosfääris on väga väike, samas leidub seda märkimisväärsetes kogustes tubakasuitsus.

Akrüülamiidi toksiline toime

Akrüülamiidi neurotoksilisust, genotoksilisust, kantserogeensust ja reproduktiivtoksilisust on viimastel aastatel palju uuritud. Akrüülamiid imendub seedetraktist organismi kiiresti ja täielikult. Vees lahustuva ühendina jõuab see kõikjale organismi, sealhulgas rinnapiima ja läbib platsentat. Akuutne toime võib avalduda dooside korral üle 100 mg kehakaalu kg kohta ja väljendub närvisüsteemi häiretena (nõrkus, koordinatsioonihäired). Pikaajalise toime korral on loomkatsetes tuvastatud akrüülamiidi kantserogeensus ja mutageensus, mistõttu on IARC (International Agency for Research on Cancer) klassifitseerinud selle ühendi A2 klassi kuuluvaks ehk tõenäoliselt inimesele kantserogeenseks aineks. Küllastumata karbonüülühendina saab akrüülamiid reageerida bioloogiliste molekulide nukleofiilsete rühmadega. Ulatuslikud on reaktsioonid proteiinidega, mis võimaldab kasutada

reaktsiooniprojekte akrüülamiidi saadavuse biomarkeritena. Genotoksilisuse puhul omab tõenäoliselt põhirolli akrüülamiidi suure reaktsioonivõimega metaboliit epoksiid glütsiidamiid, mis võib seonduda DNA-ga. Nii akrüülamiid kui ka glütsiidamiid eritatakse organismist kiiresti.

Tekkemehhanismid ja esinemine toidus

Akrüülamiidi peamine tekkemehhanism toidus on vaba aminohappe asparagiini reaktsioon redutseerivate suhkrutega temperatuuril üle 120 °C. Seda protsessi tuntakse ka Maillardi reaktsiooni ehk mitteensümaatilise pruunistumise nime all. Reaktsiooni tulemusena tekkivad aroomi, välimuse ja tekstuuri muudatused on enamasti soovitud, samas tekib kõrvalsaadustena soovimatuid ühendeid, sealhulgas akrüülamiid. Peale Maillardi reaktsiooni on välja pakutud ka teisi mehhanisme, näiteks akrüülamiidi moodustumine asparagiini lagunemisel tekkivast 3-amino-propioonamiidist, rasvarikastes toitudes teke akroleiinist või akrüülhapest jm.

Akrüülamiidi moodustumisel on olulisim tegur temperatuuri ja küpsetusaja koostoime – teket soodustab kõrge temperatuur toidu madala niiskusesisalduse juures, mistõttu ei leia suuri akrüülamiidisisaldusi keedetud toitudes, vaid just spetsiifiliselt töödeldud, eelkõige küpsetatud, frititud või röstitud toodetes. Akrüülamiidi teket toidus mõjutab märkimisväärselt tooraine asparagiini ja redutseerivate suhkrute sisaldus, aga ka toidu retsept. Kuna lõpptulemust mõjutavaid tegureid on palju, võivad sarnaste toodete või sama toote eri partiide akrüülamiidisisaldused oluliselt varieeruda. Kuna akrüülamiidi teke on otseselt seotud toidu valmistusviisiga, siis mahe- ja tavatoodete akrüülamiidisisaldustes erinevusi ei ole.

Kartulitoodete akrüülamiidisisaldust mõjutab suuresti tooraine redutseerivate suhkrute sisaldus. Peale sordi on tähtis roll ka kartulimugulate säilitustemperatuuril. On näidatud, et hoiutemperatuuril alla 8 °C suureneb märkimisväärselt kartulite suhkrusisaldus ja sellest tulenevalt ka akrüülamiidi kontsentratsioon lõpptootes. Asparagiin on kartulimugulates domineeriv aminohape, moodustades tavaliselt kõigist aminohapetest umbes ühe kolmandiku. Kartuli asparagiinisisaldus oleneb nii kartulisordist kui ka kasvutingimustest. Kartulitoodete küpsetamisel on võrreldes küpsetusaja pikenemisega suurem efekt temperatuuril. Akrüülamiidisisaldus suureneb märkimisväärselt temperatuuril üle 195 °C. Olulisel määral sisaldavad akrüülamiidi ka bataadist valmistatud tooted, mis tuleneb maguskartuli veelgi suuremast algsest redutseerivate suhkrute sisaldusest võrreldes kartuliga.

Akrüülamiidi moodustumisel teraviljatoodetes on olulisimaks teguriks vaba asparagiini sisaldus tooraines, mis varieerub olenevalt konkreetsest teraviljast ja kasvutingimustest. Asparagiini kontsentratsioon nisus on tavaliselt vahemikus 75–2200 mg/kg, kaeras 50–1400 mg/kg, maisis 70–3000 mg/kg, rukkis 319–880 mg/kg ja riisis 15–25 mg/kg. Peale tooraine oleneb lõpptoote akrüülamiidisisaldus veel paljudest teguritest, kuna kasutatakse erinevaid retsepte, niiskustmeid ja küpsetustehnoloogiaid. Olulisimaks on ilmselt küpsetustemperatuuri ja toote niiskuse kombinatsioon. Kodusel leiva röstimisel suureneb akrüülamiidisisaldus olenevalt leiva algsest koostisest (nisupõhises leivas on väiksem sisaldus, rukkipõhises suurem, kartulileivas veel suurem). Röstleivalt tumedaks röstitud kihi eemaldamine vähendab akrüülamiidisisaldust märkimisväärselt, mis tõendab, et suur osa akrüülamiidist on röstitud toote pinnakihis.

Kohvis tekib akrüülamiid röstimise algetapis. Röstimise jätkudes hakkab sisaldus vähenema, jäädes vaid 20–30%-ni maksimaalsest tasemest. Kohvisortide vaheline asparagiini ja redutseerivate suhkrute sisalduste erinevus on väike, mõningal määral võib akrüülamiidi tekkida rohkem robusta sortide korral. Kohviasendajates moodustub akrüülamiid temperatuuril üle 120 °C. Kõrgemal temperatuuril ja pikema röstimisaja jooksul väheneb selle sisaldus kuni 30–40%-ni maksimaalsest tasemest. Kohvijoogi valmistamisel kandub akrüülamiid peaaegu täielikult üle jooki. Röstitud kohvi ja lahustuva kohvi puhul on ühes tassis joogis sisalduv akrüülamiidi kogus sarnane, kuid espressos võib see olla spetsiifilise ekstraktsiooniprotsessi tõttu väiksem.

Võttes arvesse akrüülamiidi moodustumise erinevaid mehhanisme ja soodustavaid tegureid, ei ole võimalik selle teket vältida. Seetõttu tuleb tähelepanu pöörata teguritele, millel on akrüülamiidi tekkes keskne roll, näiteks tooraine valik, hoiutingimused ja toiduvalmistusmeetodid ning nende oskusliku valikuga püüda lõpptoote akrüülamiidisisaldust vähendada.

Seadusandlik taust

Riskivähendusmeetmed ja võrdlusväärtused akrüülamiidisisalduse vähendamiseks toidus on kehtestatud komisjoni määrusega (EL) 2017/2158. Meetmeid peavad rakendama ettevõtted, kes tegelevad kartulipõhiste toodete, teraviljapõhiste toodete, kohvi, kohviasendajate või imikutoitude tootmisega, aga ka toitlustusettevõtted ja majutusasutused. Määruse kohaselt peavad toidukäitlejad riskivähendusmeetmete tulemuslikkuse kontrolliks võtma oma toodangust proove ja analüüsima nende akrüülamiidisisaldust, näitamaks, et sisaldus on allpool võrdlusväärtust. Meetmed hõlmavad nii tooraine valikut, säilitamist, transporti, retsepti

kui ka tootmisprotsesse. Dokumentis on sätestatud juhised proovide võtmiseks ja analüüsiks, sealhulgas proovide võtmise sagedus.

Akrüülamiidi võrdlusväärtused määratleti esimest korda Euroopa Liidus 2011. aastal varasemate seiretulemuste alusel ning neid on uuendatud 2013. ja 2017. aastal (tabel 1). Võrdlusväärtused ei ole terviseohutusel põhinevad piirnormid, vaid riskivähendusmeetmete tulemuslikkuse kontrollimiseks kasutatavad väärtused, mis põhinevad kogemusel ja toidugruppide akrüülamiidisisalduste andmetel. Võrdlusväärtust ei kasutata toote turule lubamise või mittelubamise üle otsustamiseks.

Tabel 1

Komisjoni määrusele (EL) 2017/2158 vastavad akrüülamiidisisalduse võrdlusväärtused

Tootegrupp	Võrdlusväärtus, µg/kg
Tarbimisvalmis friikartulid	500
Kartulikrõpsud toorest kartulist ja kartulitainast Kartulipõhised kreekerid Muud kartulitainast kartulitooted	750
Saia-leivatooted	
• nisupõhine saia-leivatoode	50
• saia-leivatoode, v.a nisupõhine saia-leivatoode	100
Hommikusöögihelbed (v.a pudrud)	
• kliitooted ja täisteraviljahelbed, eriseadmes kuumpressimisega paisutatud teravili	300
• nisu- ja rukkipõhised tooted ¹	300
• maisi-, kaera-, speltanisu-, odra- ja riisipõhised tooted ¹	150
Küpsised ja vahvlid	350
Kreekerid, v.a kartulipõhised kreekerid	400
Näkileib	350
Piparkoogid	800
Muud selle kategooria toodetega sarnased tooted	300

¹ Mitte-täisteratooted ja/või mitte-kliipõhised teraviljatooted. Kategoriseerimise aluseks on teravili, mida on kõige suuremas koguses.

Tootegrupp	Võrdlusväärtus, µg/kg
Röstitud kohv	400
Lahustuv kohv	850
Kohviasendajad <ul style="list-style-type: none"> üksnes teraviljast valmistatud kohviasendajad teravilja ja siguri segust valmistatud kohviasendajad üksnes sigurist valmistatud kohviasendajad 	500 ² 4 000
Imikutoit, imikutele ja väikelastele ette nähtud teraviljapõhised töödeldud toidud, v.a küpsised ja kuivikud ³	40
Imikutele ja väikelastele ette nähtud küpsised ja kuivikud ³	150

² Teravilja ja siguri segust valmistatud kohviasendajatele määratud võrdlusväärtuses võetakse arvesse nende koostisainete suhtelist osakaalu lõpptootes.

³ Nagu määratletud määruses (EL) nr 609/2013.

Määruse rakendamise hõlbustamiseks on välja antud juhenddokument „Eesti riigisisene juhenddokument Euroopa Komisjoni 2017. a 20. novembri määruse 2017/2158 rakendamiseks, millega kehtestatakse riskivähendusmeetmed ja võrdlusväärtused akrüülamiidisisalduse vähendamiseks toidus“.

Nõuded akrüülamiidisisalduse kontrolliks proovide võtmisele ja analüüsimeetoditele on kehtestatud [komisjoni määrusega \(EÜ\) 333/2007](#). Määruses on sätestatud proovivõtuga seotud põhimõisted, proovivõtumeetodid olenevalt toidu liigist ja partii suurusest, nõuded proovide laborisse toimetamiseks, laboriproovide ettevalmistamiseks, proovi analüüsiks ja analüüsitulemuste esitamiseks. Oluline on saada tootepartiist esinduslik laboriproov ja rakendada nii proovivõtul kui ka transpordil ettevaatusabinõusid, et vältida muutusi, mis võivad mõjutada saasteainete sisaldust ja analüüsitulemusi. Analüüse tegev labor peab olema akrediteeritud ja osalema asjakohastes pädevuskatsetes. Labor peab tagama, et proov ettevalmistuse ja analüüsi käigus täiendavalt ei saastuks. Komisjoni määruse (EÜ) 333/2007 nõudeid ei pea täitma toidukäitlejad enesekontrolli raames proovide võtmisel.

Komisjoni soovitus (EL) 2019/1888 kohaselt peaksid liikmesriikide pädevad asutused ja toidukäitlejad jälgima regulaarselt akrüülamiidisisaldust ka toidus, mis ei kuulu komisjoni määruses (EL) 2017/2158 nimetatud toidugruppidesse. Soovitusel on esitatud mitteamendav loetelu toidugruppidest/toitudest, mille suhtes võiks seiret teostada, sh kartulitoidud, erinevad pagaritooted, teraviljast suupisted, köögiviljakrõpsud, röstitud pähklid, õliseemned ja kakaooad, kuivatatud puuviljad, oliivid, karamelli- ja pähklikompvekid.

Arutlusel on kogu EL-i hõlmavate piirnormide kehtestamine teatud toidugruppide akrüülamiidisisaldusele.

Akrüülamiidi piirsisaldus joogivees on sätestatud **sotsiaalministri 24. septembri 2019. a määrusega nr 61**. Määruse kohaselt ei tohi akrüülamiidisisaldus joogivees ületada 0,10 µg/l. Piirsisaldus vastab monomeeri kontsentratsioonile vees, mis arvutatakse, lähtudes vastava polümeeri spetsifikatsioonist esitatud maksimaalsest migratsioonist kokkupuutel veega.

Analüüsimeetodid

Akrüülamiidisisaldust toidus analüüsitakse enamasti vedelikkromatograafiliste (LC) või gaaskromatograafiliste (GC) meetoditega, kasutades mass-spektromeetrilist (MS) või tandemmass-spektromeetrilist (MS/MS) tuvastamist. Gaaskromatograafiliste meetodite kasutamisel tuleb akrüülamiid derivatiseerida, näiteks broomimise abil. On avaldatud ka töid akrüülamiidi analüüsi kohta HPLC meetodil diodrividetektoriga, normaalfaasikromatograafilisel meetodil UV-detektoriga, gaaskromatograafilisel meetodil elektronhaardedetektoriga, ELISA (ensüümne immunosorbenttest) meetodil ning kapillaarelektroforeesi abil. Levinuimaks on siiski osutunud vedelikkromatograafilised määramismeetodid mass-spektromeetrilise tuvastamisega. Standardimisorganisatsioonid on välja andnud järgmised standardmeetodid: EVS-EN 16618:2015 „Food analysis - Determination of acrylamide in food by liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC-ESI-MS/MS)“, CEN/TS 17083:2017 „Foodstuffs - Determination of acrylamide in food and coffee by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)“, EVS-EN ISO 18862:2019 „Coffee and coffee products - Determination of acrylamide - Methods using HPLC-MS/MS and GC-MS after derivatization“.

Euroopa Toiduohutusameti (EFSA) teaduslik arvamus akrüülamiidi kohta

2015. aastal avaldas EFSA teadusliku arvamuse akrüülamiidi kohta toidus. Arvamus on käsitletud akrüülamiidi teket ja esinemist, toimet organismile, hinnatud saadavust toidu kaudu ja tehtud riskihinnang.

Hinnangus kasutati liikmesriikide 2010.–2013. aasta seireandmeid, kokku 7448 proovi akrüülamiidi analüüsi tulemusi. Lisaks saadi toiduliititudelt kokku 35 971 proovi andmed, peamiselt kartulikrõpsude akrüülamiidisisalduste kohta.

Toiduproovide akrüülamiidisisalduste ja tarbimismahtude põhjal hindas EFSA toidu kaudu saadavaid akrüülamiidi koguseid vanuserühmade kaupa¹. Tulemuste alusel puutusid sellega enim kokku imikud, väikelapsed ja muud lapsed, kes said toidu kaudu keskmiselt 0,5–1,9 µg akrüülamiidi kehakaalu kg kohta päevas (95. protsentiil oli 1,4–3,4 µg/kg). Imikud said suurima koguse imikutoitudest, sellele järgnesid muud kartulipõhised tooted. Ülejäänud lastel ja noorukitel andsid kuni poole kogu akrüülamiidi tarbimisest praetud kartulitooted. Noorukite, täiskasvanute ja vanemaealiste saadav keskmine akrüülamiidi kogus oli 0,4–0,9 µg kehakaalu kg kohta päevas, 95. protsentiil 0,6–2,0 µg/kg. Täiskasvanutel andsid suurima panuse praetud kartulitooted, leib ja kohv. Hinnati ka koduste toiduvalmistamisharjumuste mõju akrüülamiidiga kokkupuutele erinevate stsenaariumite alusel. Leiti, et erinevused leiva röstimise astmetes võivad toidust saadavat akrüülamiidi kogust mõjutada vaid kuni 8% ulatuses, samas kui kartulite küpsetamise erinevus võib suurendada akrüülamiidiga kokkupuudet kuni 80% võrra².

Loomkatsete tulemustest arvatud BMDL₁₀-väärtuste (*benchmark dose lower confidence limit*) ja akrüülamiidi saadavuse andmete põhjal arvutati eri vanuserühmadele ja rohkem kokkupuutuval rühmale (95. protsentiil) vastavad MOE-väärtused (*margin of exposure*). Loomkatsete tulemuste ja toidu kaudu saadavate akrüülamiidi hinnanguliste koguste alusel leitud neoplastiliste mõjude MOE-d jäid EFSA riskihinnangu kohaselt vahemikku 425 (keskmise tarbimismääraga täiskasvanute puhul) kuni 50 (kõrge tarbimismääraga väikelaste puhul). Genotoksiliste ja kantserogeensete ainete puhul loetakse väheohtlikuks MOE-väärtusi üle 10 000.

¹ Hindamisel kasutati akrüülamiidisisalduste alampiiri ja ülempiiri andmed.

² EFSA arvamus toodud andmete põhjal ei saa teha koduse toiduvalmistamise kohta lõplikke järeldusi.

Seega viitavad arvutatud MOE-d, et neoplastilise toime seisukohalt on akrüülamiid murettekitav.

Analoogse tulemuseni jõuti 2016. aastal Maaeluministeeriumi tellimusel koostatud eksperdiarvamuses „Akrüülamiidi saadavus Eestis turustatavatest väike-lastetoitudest“, mille käigus hinnati kuni 1-aastaste laste poolt kaubanduslikest imikutoitudest saadavaid akrüülamiidi koguseid³. Arvamuse koostamisel kasutati 2007.–2016. a Eestis tehtud seire andmeid, kokku 69 Eestis turustatava lastetoidu proovi analüüsi tulemusi. Vastavalt koostatud hinnangule oli lastetoitude tarbijate hulgas keskmine akrüülamiidi saadavus vahemikus 0,27–0,92 µg kehamassi kg kohta päevas, 95. protsentiil 1,33–2,52 µg/kg. Sarnaselt EFSA tulemustega olid ka Eestis akrüülamiidi neoplastilise toime MOE-väärtused alla 10 000, jäädes kuni 1-aastastel lastel vahemikku 213–1366 (sealjuures 95. protsentiil 73–257) ja olles seega murettekitavad.

Eestis tehtud seired

Eestis on proove analüüsitud Terviseameti Tartu laboris, kasutades Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt akrediteeritud meetodit T73-LC/MS/MS. Akrüülamiidi ekstrahatsiooniprotsess tehti QuEChERS-i (*Quick Easy Cheap Effective Rugged Safe*) meetodil, kus akrüülamiid ekstraheeriti proovist atsetonitriiliga naatriumkloriidi ja veevaba magneesiumsulfaadi juuresolekul. Proovi ekstrakt puhastati dispersiivse tahkefaas-sorbendi (PSA) ja veevaba magneesiumsulfaadi abil. Akrüülamiidisisaldus proovis määrati LC-MS/MS-meetodil. Sisestandardina kasutati D3-akrüülamiidi. Akrüülamiidi määramispiir (LOQ) toiduproovides oli 20 µg/kg, kohvis 50 µg/kg. Analüüsi laiendmääramatuseks U (k = 2, norm) oli 20%.

Eestis 2019.–2021. a analüüsitud seire proovide tulemused⁴ on koondatud tabelitesse 2–7, kus on esitatud proovide arvud sisalduste vahemike kaupa ning maksimaalsed ja keskmised tulemused konkreetse toidugrupi kohta. Analüüsiti nii Eesti kui ka teiste riikide tooteid. Analüüsitulemuste keskväärtuste leidmisel on kasutatud nn „*middle bound*“ lähenemisviisi – alla määramispiiri olevad tulemused on võetud arvesse poolena LOQ-väärtusest.

³ Hindamisel kasutati akrüülamiidisisalduste alampiiri ja ülempiiri andmed.

⁴ Põllumajandus- ja Toiduameti andmed.

Tabel 2**Akrüülamiidisisaldus kartuli- ja aedviljapõhistes toodetes
2019.–2021. a seire tulemuste andmetel**

Tootegrupp	Proovide arv	Proove kontsentratsioonivahemikus, µg/kg					Max sisaldus, µg/kg	Keskm. sisaldus, µg/kg
		< 100	101–500	501–750	751–1000	> 1000		
Friikartulid	52	10	32	6	3	1	1044	295
Bataadi-friikartulid	7	1	5	1	0	0	610	320
Kartulikrõpsud	25	2	9	10	2	2	1146	518
Aedviljapõhised krõpsud	11	0	6	2	0	3	1390	572
Muud kartulitooted	7	5	2	0	0	0	155	55

Tabel 3**Akrüülamiidisisaldus leiva-saiatoodetes
2019.–2021. a seire tulemuste alusel**

Tootegrupp	Proovide arv	Proove kontsentratsioonivahemikus, µg/kg				Max sisaldus, µg/kg	Keskm. sisaldus, µg/kg
		< 20	20–50	51–100	> 100		
Nisupõhised leiva-saiatooted	9	5	2	2	0	84	27
Leiva-saiatooted, v.a nisupõhised	57	9	16	22	10	285	66
Muud (tädistega leivad-saiad, saiakesed jms)	20	4	7	6	3	195	61

Tabel 4**Akrüülamiidisisaldused teraviljatoodetes (v.a leiva-saiatooted)
2019.–2021. a seire tulemuste alusel**

Tootegrupp	Proovide arv	Proove kontsentratsioonivahemikus, µg/kg				Max sisaldus, µg/kg	Keskm. sisaldus, µg/kg
		< 50	50–150	151–300	> 300		
Hommikusöögihelbed (v.a müsli ja pudrud)							
• Kliitooted ja täisteraviljahelbed, paisutatud terad	7	1	2	2	2	463	214
• Nisul ja rukkil põhinevad tooted	8	1	4	1	2	585	203
• Maisil, kaeral, speltanisul, odral ja riisil põhinevad tooted	15	4	9	2	0	274	100
Küpsised ja vahvlid, kreekerid	34	12	13	8	1	450	107
Näkileib	6	0	4	2	0	166	113
Piparkoogid	6	0	3	1	2	354	197
Müslid	15	7	7	1	0	204	59
Pudruhelbed, kama	4	2	2	0	0	76	47
Teraviljast suupisted	7	0	5	0	2	595	185

Tabel 5**Akrüülamiidisisaldus imikutoitutes 2019.–2021. a seire tulemuste alusel**

Tootegrupp	Proovide arv	Proove kontsentratsioonivahemikus, µg/kg				Max sisaldus, µg/kg	Keskm. sisaldus, µg/kg
		< 20	21–40	41–60	> 60		
Imikutele ja väikelastele mõeldud küpsised ja kuivikud	4	1	0	2	1	65	43
Imikutele ja väikelastele mõeldud teraviljapõhised töödeldud toidud, v.a küpsised ja kuivikud	45	24	16	5	0	55	22
Muud imikutoidud kui teraviljapõhised töödeldud toidud	15	8	7	0	0	40	21

Kuigi võrdlusväärtuste ületamist tuleb mõnede proovide korral ette, on aastate jooksul akrüülamidi kontsentratsioon töödeldud imikutoitutes näidanud selget langust: 2007.–2011. a oli analüüside tulemuste keskväärtus 71 µg/kg, 2014.–2015. a 40 µg/kg ja 2019.–2021. a 22 µg/kg.

Tabel 6**Akrüülamiidisisaldus kohvis 2019.–2021. a seire tulemuste alusel**

Tootegrupp	Proovide arv	Proove kontsentratsioonivahemikus, µg/kg				Max sisaldus, µg/kg	Keskm. sisaldus, µg/kg
		< 200	200–400	401–850	> 850		
Röstitud kohv	28	5	19	4	0	732	293
Lahustuv kohv	10	1	0	6	1	963	601
Kohviasendajad	1	0	0	0	1	2113	2113

Tabel 7**Akrüülamiidisisaldus muudes toodetes 2019.–2021. a seire tulemuste alusel**

Tootegrupp	Proovide arv	Proove kontsentratsioonivahemikus, µg/kg				Max sisaldus, µg/kg	Keskm. sisaldus, µg/kg
		< 20	20–100	101–300	> 300		
Oliivid	5	1	2	0	2	408	183
Röstitud päHKlid	17	1	10	5	1	525	125
Kuivatatud puuviljad	11	7	3	1	0	148	28

Meetmete rakendamine akrüülamiidiga kokkupuute vähendamiseks

Kuna akrüülamiid on genotoksiline kantserogeen, tuleks hoida sellega kokkupuude nii väike kui võimalik. Kuna asparagiin ja suhkrud on looduslikult paljude toitade koostises, siis ei ole akrüülamiidi teket võimalik täielikult vältida – eesmärk saab olla vaid sisalduse vähendamine, kusjuures tulemus sõltub väga olulisel määral tooraine varieeruvusest. Toiduvalmistamisel ei ole akrüülamiidi tekkes määrav küpsetusmeetod, -aeg ja -temperatuur omaette, vaid küpsetusaja ja temperatuuri kombinatsioon. Samas tuleb arvestada, et akrüülamiidisisalduse teadlik vähendamine, muutes toidu koostist ja/või tootmisprotsessi, võib mõjutada oluliselt toote toiteväärtust (nt vähenenud toitainete biosaadavus, muutunud aroom, maitse, tekstuur, kasulike ainete, nt antioksidantide kadu termilisel töötlemisel) ja ka toidu ohutust (ebapiisav kaitse mikroobse saastatuse eest, keemiliste saasteainete sisalduse võimalik suurenemine).

Akrüülamiidi vähendamise meetmete kavandamisel tuleb arvestada järgmisi asjaolusid:

- tagada tuleb, et meetmete tulemusena ei suureneks teiste toidu käitlemise käigus tekkivate saasteainete (N-nitrosoamiinide, polütsükliiliste aromaatsete süsi-vesinike, raskemetallide, kloropropanoolide, etüülkarbamaadi, furaani, heterotsükliiliste aromaatsete amiinide ja aminohapete pürolüsaatide) sisaldus;
- tagada tuleb lõpptoote mikrobioloogiline stabiilsus ja ohutus. Eelkõige on oluline jälgida lõpptoote niiskusesisaldust;

- kuna akrüülamiidi teke on otseselt seotud tootele iseloomuliku värvuse ja aroomiga, tuleb arvestada ka sellega, et toode oleks jätkuvalt tarbijale meelepärane;
- akrüülamiidi vähendamise meetmete rakendamisel ei peaks minema kompromissile toidu toiteväärtuses;
- akrüülamiidisisaldused võivad varieeruda isegi sama tootmisprotsessi piires samas ettevõttes, samade koostisosade ja retsepti korral. Seetõttu ei piisa akrüülamiidi vähendamismeetodite tõhususe hindamiseks ühekordsetest toodete analüüsides. Teravilja, kartulite ja kohviubade koostis varieerub olenevalt sordist, aastast, koristusajast, kliimatilistest tingimustest, pinnase koostisest ja agronoomilistest tövõtetest. Tooraine omadused sõltuvad ka hoiutingimustest ja algtöötlustest, nt jahvatamisest.

Järgnevalt on esitatud ülevaade võimalustest akrüülamiidisisalduste vähendamiseks tootegruppide kaupa.

Kartulitooted

Tooraine Võimalikult väikese redutseerivate suhkrute sisaldusega tooraine kasutamine:

- valida võimalikult väikese suhkrusisaldusega kartulisort;
- kasutada vaid täiskasvanud mugulaid;
- hoida kartuleid temperatuuril > 6 °C, kontrollida temperatuuri kartulite transportimisel, hoida jahedamas olnud kartuleid mõne nädala jooksul temperatuuril 12–15 °C;
- kasutada idanemist takistavaid preparaate.

Võimalikult väikese asparagiinisisaldusega kartulisortide kasutamine.

Eeltöötlus Koorimine võib vähendada lõpptoote akrüülamiidisisaldust.

Kartulitükkide kuju ja suurus:

- kartulikrõpsud – õhemate krõpsude korral piisab toote valmimiseks vähesemast soojusenergia hulgast (temperatuuri ja aja kombinatsioon), seega on lõpptoote akrüülamiidisisaldus väiksem;
- friikartulid – paksemad lõigud sisaldavad väiksema pindala/mahu suhte tõttu vähem akrüülamiidi.

Leotamine või blanšeerimine enne küpsetamist vähendab redutseerivate suhkrute sisaldust ettevalmistatud kartulite pinnakihis, mistõttu on akrüülamiidisisaldus lõpptootes väiksem.

Lisandid:

- mõnede maitseainete (nt paprika) lisamine võib anda tootele lisamaitset ja -värvust, mis muudab vähem küpsetatud heleda toote atraktiivsemaks;
- kartulitaignast toodetele väiksema akrüülamiidi tekkepotentsiaaliga koostisosade (nt teravilja) lisamine;
- asparaginaasi lisamine kartulitaignast toodetele võib vähendada akrüülamiidisisaldust, kuid tekitada ka kõrvalmaitse;
- katsetatud on aminohapete, kaltsiumisoolade ja sidrun- või askorbiinhappe lisamist, kuid need kipuvad jätma tootele ebameeldiva kõrvalmaitse.

**Valmistus-
protsess**

Küpsetamine:

- määrav tegur on temperatuuri ja küpsetusaja kombinatsioon. Kiire küpsetamine võimalikult madalal temperatuuril annab väiksema akrüülamiidisisalduse. Liiga madal temperatuur suurendab toote rasvasisaldust;
- kiire valmistoote jahutamine aitab vähendada akrüülamiidi teket;
- küpsetada maksimaalse aktsepteeritavat toodet andva niiskusesisalduseni. Liigne lõppniiskus avaldab mõju toote kvaliteedile, säilivusajale ja mikrobioloogilisele ohutusele;
- jälgida lõpptoote värvust – küpsetada kuldkollase värvuseni, tumedaks küpsenud tooted eemaldada sorteerimise teel.

Kodune friikartulite valmistamine:

- kuna eelküpsetatud friikartulitel tekib oluline osa akrüülamiidist lõppvalmistamise käigus, tuleb jälgida täpselt pakendil esitatud juhiseid;
- frittimisel küpsetada maksimaalselt temperatuuril 175 °C pakendil ettenähtud aja jooksul; ahjus valmistada temperatuuril 180–220 °C;
- küpsetada kuldkollase värvuseni, mitte üle küpsetada;
- väikeste koguste valmistamisel lühendada küpsetusaega.

Teraviljatooded

Tooraine

Võimalikult väikese asparagiinisisaldusega tooraine kasutamine:

- valida väikese asparagiinisisaldusega teraviljasort;
- nisu kasvupinnase vähenenud väävlisisaldus tekitab viljas suurema asparagiinisisalduse, ka rukki puhul on olulised vilja kasvutingimused, mitte niivõrd sort. Vältida liigset ja hilist lämmastikühenditega väetamist;
- seenhaigused suurendavad märkimisväärselt asparagiinisisaldust, mistõttu tuleb kasutada sobivaid taimekaitsemeetmeid;
- täisterajahu ja kliid sisaldavad rohkem asparagiini, mistõttu on täisteratoodetes akrüülamiidi moodustumine soodustatud.

Retsept

Retsepti muutmise:

- kergitusaine ammooniumvesinikkarbonaadi asendamine naatriumisooladega; samas jälgida, et lõpptoote naatriumisisaldus ei oleks liiga suur; asenduse tulemusena muutuvad ka toote organoleptilised omadused;
- redutseerivate suhkrute sisalduse minimeerimine, nt fruktoosi täielik või osaline asendamine glükoosiga, samas võib see anda heledama värvusega lõpptoote;
- jahusordi osaline või täielik asendamine – riisi- ja maisijahu tekitab vähem akrüülamiidi kui nisu-, rukki- või kaerajahu;
- täisterajahu ja kliide osakaalu vähendamine võib vähendada akrüülamiidisisaldust, kuid muudab oluliselt toote organoleptilisi omadusi ja toiteväärtust;
- fermenteeritud toodetes moodustub vähem akrüülamiidi, fermenteerimisaja pikendamine võib võimaldada akrüülamiidisisaldust vähendada.

Lisandid:

- asparaginaasi lisamine asparagiinisisalduse vähendamiseks; mõju oleneb oluliselt tootest;
- kaltsiumisoolade, glütsiini, orgaaniliste hapete lisamine – mõju ei ole alati ühene, võib põhjustada soovimatuid muutusi toote sensorsetes omadustes;
- röstitud pähklid (eriti mandlid) ja kuivatatud puuviljad (eriti ploomid) võivad suurendada toote akrüülamiidisisaldust.

Toote kuju:

- suurem toode (nt leivapäts) sisaldab väiksema pinna/ruumala suhte tõttu vähem akrüülamiidi;
- paksem näkileib sisaldab vähem akrüülamiidi, samas muutuvad toote omadused.

Akrüülamiidi teket võib mõjutada ka taigna seismise aeg enne küpsetamist.

**Valmistus-
protsess**

Küpsetamine:

- soojusenergia hulga optimeerimine. Küpsetada nii suure lõpptoote niiskusesisaldusele kui toote kvaliteedi seisukohast võimalik;
- mõne toote puhul on andnud tulemusi küpsetamine madalamal temperatuuril pikema aja vältel soovitud niiskusesisaldusele;
- vältida liigset leivakooriku pruunistumist, kasutades näiteks kaanega vorme või alanevat ahju temperatuuriprofiili;
- uued küpsetustehnikad, nt õhujugade või infrapunakiirguse kasutamine, auruküpsetus viimase 5 küpsetusminuti jooksul.

Kodune küpsetamine ja röstimine:

- nisupõhise leiva küpsetamisel kodus tekib akrüülamiidi vähe;
 - poest ostetud pooleldi valmisküpsetatud tooted ei sisalda rohkelt akrüülamiidi, kodune lõppküpsetus peab toimuma tootja juhiste kohaselt;
 - mitte üle küpsetada, samas jälgida, et toode ei küpseks liiga vähe, mis võib tekitada säilitamisel mikrobioloogilisi probleeme;
 - leiba tuleb röstita ühtlase kuldse värvitoonini; tõenäoliselt rohkem akrüülamiidi sisaldava tumeda osa võiks eemaldada.
-

Kohv ja kohviasendajad

Tooraine Sortide vaheline varieeruvus on väike, veidi suurem akrüülamiidi tekke võimalus on robusta ubadel.

Retsept Asparaginaasi lisamine võib vähendada akrüülamiidisisaldust, eelkõige auruga töödeldud robusta kohviubade korral. Araabika kohviubade töötlemine asparaginaasiga võib mõjutada negatiivselt toote maitset. Siguri töötlemine asparaginaasiga küll vähendab akrüülamiidisisaldust, kuid halvendab oluliselt toote kvaliteeti. Kohviasendajates siguri osakaalu alandamine vähendab akrüülamiidisisaldust, kuid võib muuta toote organoleptilisi omadusi.

**Valmistus-
protsess** Tumedamaks röstimine pikema aja jooksul madalamal temperatuuril vähendab akrüülamiidisisaldust. Tuleb jälgida, et pikema röstimise korral ei suureneks lõpptootes teiste saasteainete, nt furaani hulk. Röstitud kohvi pikemaajalisel säilitamisel akrüülamiidisisaldus väheneb.

Imikutoidud

Tooraine Kasutada võimalikult väikese asparagiini ja redutseerivate suhkrute sisaldusega toorainet.

Retsept Imikutoidu akrüülamiidisisalduse määrab olulisel määral toote retsept:

- täisteratoodetes tekib rohkem akrüülamiidi;
- redutseerivaid suhkruid sisaldavate komponentide (puuviljad, mesi, fruktoos) lisamine suurendab akrüülamiidisisaldust;
- maguskartulit ja kuivatatud ploome sisaldavad tooted võivad sisaldada suhteliselt rohkem akrüülamiidi.

Asparaginaasi lisamine võib vähendada akrüülamiidisisaldust teraviljapõhistes toodetes.

**Valmistus-
protsess** Termilise töötamise vähendamine (temperatuuri alandamine, töötusaja lühendamine) alandab akrüülamiidisisaldust. Igasuguseid muutusi tootmise temperatuurirežiimis tuleb hoolikalt kaaluda, et vältida mikrobioloogilisi riske.

Täpsemat teavet akrüülamiidisisalduse vähendamise meetmete kohta leiab dokumendist [FoodDrinkEurope_Acrylamide_Toolbox_2019.pdf](#). Toidukäitlejatele rakendamiseks ettenähtud riskivähendusmeetmed on esitatud komisjoni määruse (EL) 2017/2158 I ja II lisas.

Kokkuvõte

Akrüülamiid on genotoksiline kantserogeen, mis tekib toidus selle kuumutamisel temperatuuril üle 120 °C madala niiskusesisalduse juures Maillardi reaktsiooni käigus.

Seda leidub eelkõige redutseerivaid suhkruid ja aminohapet asparagiini sisaldavates toitudes, näiteks kartuli- ja teraviljapõhistes toodetes, aga ka kohvis ja imikutoitudes.

Akrüülamiidi teket toidus ei ole võimalik täielikult vältida, kuid see tuleks hoida sobilike meetmete rakendamisega nii madalal tasemel kui võimalik.

Peamine akrüülamiidi teket mõjutav tegur on küpsetustemperatuur kombinatsioonis küpsetusajaga. Peale selle avaldavad mõju toidu tooraine sort, kasvu- ja hoiustamistingimused, retsept ja töötlemismeetodid. Akrüülamiidisisaldused varieeruvad samalaadsetes toodetes väga suurel määral.

Eestis tehtud seire alusel on akrüülamiidi võrdlusväärtuste ületamisi leitud mõningates friikartulite, kartulikrõpsude, hommikusöögihelveste, leiva-saiatoodete, röstitud kohvi ja töödeldud imikutoitude proovides. Keskmised sisaldused jäävad nendes toidugruppides siiski võrdlusväärtustest oluliselt allapoole.

Akrüülamiidisisalduse vähendamiseks kartuli- ja teraviljatoodetes on esmane meede võimalikult madala temperatuuri ja lühema küpsetusaja kasutamine. Vältida tuleb toote üleküpsetamist.

Kasutatud kirjandus

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2015. Scientific Opinion on acrylamide in food. EFSA Journal 2015;13(6):4104, 321 pp. [Viide](#)

Komisjoni määrus (EL) 2017/2158, 20. november 2017, millega kehtestatakse riskivähendusmeetmed ja võrdlusväärtused akrüülamiidisisalduse vähendamiseks toidus. Vaadatud 22.02.2022. [Viide](#)

Eesti riigisisene juhenddokument Euroopa Komisjoni 2017. a 20. novembri määruse 2017/2158 rakendamiseks, millega kehtestatakse riskivähendusmeetmed ja võrdlusväärtused akrüülamiidisisalduse vähendamiseks toidus. Jaanuar 2021. Maaeluministerium. Vaadatud 22.02.2022. [Viide](#)

Komisjoni määrus (EÜ) 333/2007, 28. märts 2007, milles sätestatakse proovivõtu- ja analüüsimeetodid mikroelementide ja toidu töötlemisel tekkivate saasteainete sisalduse kontrolliks toiduainetes. Vaadatud 22.02.2022. [Viide](#)

Komisjoni soovitus (EL) 2019/1888, 7. november 2019 akrüülamiidi toidus esinemise jälgimise kohta. Vaadatud 22.02.2022. [Viide](#)

Acrylamide Toolbox 2019. FoodDrinkEurope. Vaadatud 23.02.2022. [Viide](#)

Codex Alimentarius Code of Practice for the Reduction of Acrylamide in Foods CAC/RCP 67-2009. Vaadatud 23.02.2022. [Viide](#)

European Potato Processors' Association (EUPPA). Goodfries.eu. Vaadatud 14.03.2022. [Viide](#)

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 64th meeting, Rome, 8-17 February 2005, Summary and Conclusions. Vaadatud 23.02.2022. [Viide](#)

International Programme on Chemical Safety, Poisons Information Monograph 652, Acrylamide. Ed. 1999. Vaadatud 23.02.2022. [Viide](#)

Eesti Vabariigi sotsiaalministri määrus nr 61 (2019) „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid“. Vaadatud 22.02.2022. [Viide](#)

Kunkulberga D., Gedrovica I., Ozolina V., Ciprovica I., Sterna V., Acrylamide Reduction Options in Rye Bread, FoodBalt 2014. Vaadatud 23.02.2022. [Viide](#)

Nelis K., Reinik M., Nurk E. Akrüülamiidi saadavus Eestis turustatavatest väikelastetoitudest. Eesti Põllumajandusministeriumi tellimusel koostatud ekspertiis. Tallinn 2016.

Maaeluministeriumi ja PRIA tellimusel ajakohastatud 2022. a. Teksti autor Mari Reinik. Rahastatud Euroopa Maaelu Arengu Põllumajandusfondist (EAFRD). Varalised õigused kuuluvad materjali tellijale. Kõik autoriõigused on kaitstud.