

Akrilamidi u pekarskim proizvodima

Beljan, Sabrina

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:947406>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Nutricionizam

Sabrina Beljan

6975/N

AKRILAMIDI U PEKARSKIM PROIZVODIMA

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Procesi pripreme hrane

Mentor: doc. dr. sc. *Marija Badanjak Sabolović*

Zagreb, 2017.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski sveučilišni studij Nutricionizam

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo

Laboratorij za procesno-prehrambeno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Akrilamidi u pekarskim proizvodima

Sabrina Beljan, 0130271501

Sažetak: Potrošnja pekarskih proizvoda vrlo je velika te značajno pridonosi dnevnom unosu potencijalno kancerogenog spoja akrilamida u organizam. Akrilamid se u pekarskim proizvodima stvara tijekom toplinskog procesa kao posljedica Maillard-ovih reakcija između reducirajućih šećera i aminokiseline asparagina pri temperaturama iznad 120°C. Cilj ovog završnog rada je prema dostupnoj literaturi proučiti mehanizam nastajanja akrilamida u određenim pekarskim proizvodima, čimbenike koji utječu na njegovo stvaranje, unos i djelovanje u organizmu, kao i mogućnosti reduciranja njegova sadržaja u gotovom proizvodu. Prema objavljenim rezultatima znanstvenih istraživanja moguće je smanjiti količinu nastalog akrilamida u pekarskim proizvodima uz zadržavanje njihovih poželjnih senzorskih svojstava.

Ključne riječi: akrilamid, Maillard-ove reakcije, pečenje, pekarski proizvodi

Rad sadrži: 26 stranica, 14 slika, 2 tablice, 55 literaturnih navoda, 0 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: doc. dr. sc. *Marija Badanjak Sabolović*

Pomoć pri izradi: doc. dr. sc. *Marija Badanjak Sabolović*

Datum obrane: 18. rujna 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

University undergraduate study Nutrition

Department of Food Engineering

Laboratory for Food Processes Engineering

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

Acrylamides in bakery products

Sabrina Beljan, 0130271501

Abstract: Bakery products are widely consumed; therefore these products significantly contribute to the total daily intake of potential carcinogen compound – acrylamide. Acrylamide is formed in bakery products during thermal process as a consequence of the Maillard reactions where reducing sugars react with asparagine amino acid at temperatures above 120°C. Based on published literature data, the aim of this bachelor thesis is to study formation mechanism of acrylamide in bakery products, factors involved in his formation, dietary exposure as well as possibilities to reduce its content in final product. According to the published results of scientific researches it is possible to reduce the acrylamide content in bakery products whilst retaining their desirable sensory properties.

Keywords: acrylamide, bakery products, baking, Maillard reactions

Thesis contains: 26 pages, 14 figures, 2 tables, 55 references, 0 supplements

Original in: Croatian

Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: PhD *Marija Badanjak Sabolović*, Assistant Professor

Technical support and assistance: PhD *Marija Badanjak Sabolović*, Assistant Professor

Defence date: September 18th 2017

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Pekarski proizvodi.....	2
2.1.1. Promjene u pekarskim proizvodima tijekom termičke obrade.....	2
2.2. Što je akrilamid?	5
2.3. Mehanizam stvaranja akrilamida	6
2.3.1. Čimbenici koji utječu na stvaranje akrilamida u pekarskim proizvodima	9
2.4. Akrilamidi u pekarskim proizvodima	11
2.5. Prehrambeni unos akrilamida	14
2.6. Djelovanje akrilamida u ljudskom organizmu.....	15
2.7. Metode smanjivanja količine akrilamida u pekarskim proizvodima	17
3. ZAKLJUČAK.....	21
4. POPIS LITERATURE	22

1. UVOD

Akrlamid, kemijski je spoj koji prirodno nastaje u namirnicama s visokim sadržajem škroba uslijed termičke obrade pri visokim temperaturama, pri čemu posljedično dolazi do promjene boje, okusa i teksture same namirnice. Jedna od skupina namirnica u kojima je primijećena značajnija količina akrilamida jesu pekarski proizvodi. Pekarski proizvodi obuhvaćaju namirnice čiji je osnovni sastojak brašno te su podvrgnute procesu pečenja, kao na primjer kruh, razna peciva, kolači, krekeri, pite, kroasani i brojni drugi proizvodi. Budući da je akrilamid klasificiran kao potencijalno kancerogeni spoj, njegovo otkriće u raznim grupama prehrambenih proizvoda te učestalost konzumiranja predstavlja opravdanu zabrinutost za zdravlje ljudi. Zbog toga se sve više razvijaju metode kojima bi se smanjila količina akrilamida u hrani, pa samim time umanjio i rizik od štetnih utjecaja na zdravlje. Svrha ovog završnog rada jest prema dostupnoj literaturi prikazati rezultate znanstvenih istraživanja o prisustvu akrilamida u pekarskim proizvodima, mehanizmu stvaranja i čimbenicima koji utječu na njegovo stvaranje te metodama smanjivanja količine akrilamida u pekarskim proizvodima.

2. TEORIJSKI DIO

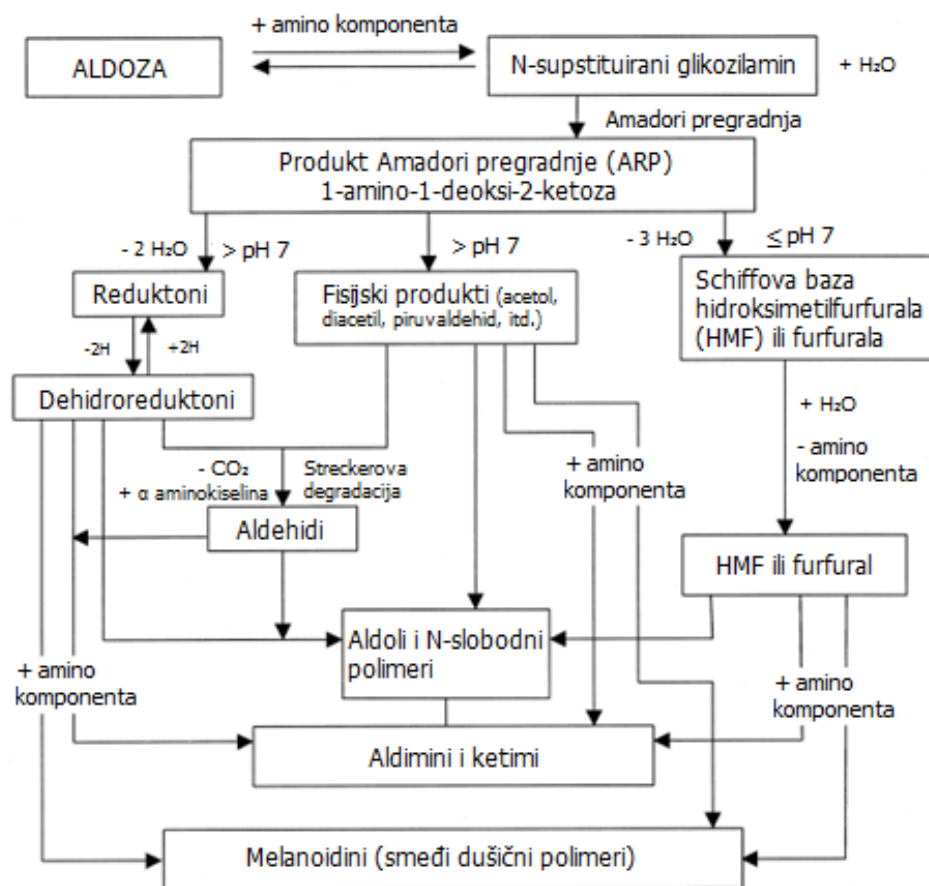
2.1. Pekarski proizvodi

Proizvodi u kojima brašno predstavlja osnovni sastojak te su podvrgnuti procesu pečenja, nazivaju se pekarski proizvodi. Pekarski proizvodi su kruh, peciva, kroasani, pite, keksi, kolači i brojni drugi proizvodi pri čemu svi variraju u sastavu i proizvodnim postupcima. Pečenje je proces termičke obrade gdje se toplina izravno primjenjuje na prehrambeni proizvod te se postižu temperature i do 260 °C. Zbog visokih temperatura koje se upotrebljavaju tijekom pečenja te niske razine vlage, toplinska obrada pekarskih proizvoda pokreće niz kemijskih reakcija između sastojaka hrane koje utječu na kvalitetu gotovog proizvoda. Posljedice tih kemijskih reakcija uglavnom su poboljšanja teksturalnih i organoleptičkih svojstava hrane. Međutim, mogu se pojaviti i neželjene posljedice, poput prirodnog nastajanja potencijalno toksičnih produkata, koje također mogu utjecati na konačni okus i izgled namirnice. Pečenje se može definirati kao proces koji formira osnovu od brašna i vode, odnosno tijesto, u namirnicu s jedinstvenim senzorskim značajkama. Prema tome, izgled i boja površine pekarskih proizvoda općenito je vrlo važan parametar kvalitete o kojem ovisi odluka potrošača o prihvaćanju proizvoda, budući da je povezan s okusom i razinom zadovoljstva (Pedreschi i sur., 2006). Vezano uz kvalitetu pekarskih proizvoda, iako tipične karakteristike ovise o samom proizvodu, boja površine, zajedno s teksturom i okusom, čini glavne značajke s obzirom na sklonost potrošača, pa se mogu koristiti za procjenu završetka pečenja (Abdullah, 2008). Štoviše, regulativni propisi također mogu utvrditi određene parametre u ovom aspektu, primjerice, u Argentini, korica kruha mora biti ujednačene zlatno-žute boje (ANMAT, 2004). Stoga, razumijevanje razvijanja boje na površini proizvoda vrlo je bitna odrednica pekarske industrije.

2.1.1. Promjene u pekarskim proizvodima tijekom termičke obrade

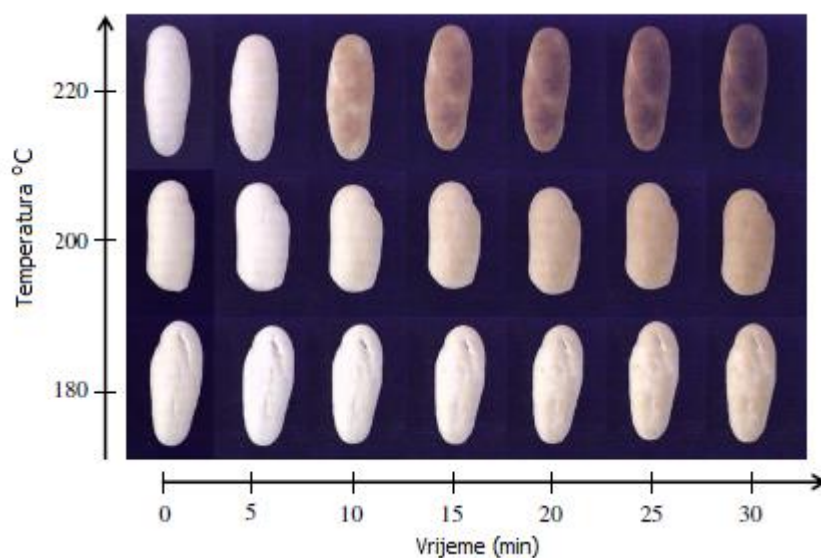
Pečenje je složen proces koji uključuje niz fizikalnih, kemijskih i bioloških promjena poput isparavanja vode, stvaranja poroznih struktura, ekspanzije volumena, denaturacije proteina, želatinizacije škroba, stvaranja kore i druge (Mondal i Datta, 2008). Posljedica gore navedenih promjena je razvijanje određenih karakteristika pekarskih proizvoda - boje, oblika, veličine i teksture pri čemu boja površine proizvoda bitno utječe u procjeni kvalitete same namirnice. Tijekom pečenja, na površini pekarskih proizvoda razvija se smeđa boja što je

rezultat neenzimskih kemijskih reakcija prisutnih obojenih spojeva (Purlis, 2010). Maillard-ove reakcije i reakcija karamelizacije najvažniji su procesi koji se odvijaju tijekom proizvodnje pekarskih proizvoda (Capuano i sur., 2008). Smeđi produkti Maillard-ovih reakcija, melanoidini, javljaju se tamo gdje se reducirajući šećeri i aminokiseline, proteini i/ili drugi spojevi s dušikom zagrijevaju pri određenim temperaturama. Proces karamelizacije obuhvaća kompleksne grupe reakcija koje se javljaju zbog izravnog zagrijavanja ugljikohidrata, posebice saharoze i reducirajućih šećera (BeMiller i Whistler, 1996). Maillard-ove reakcije odvijaju se u uvjetima koji odgovaraju srednjem sadržaju vlage, temperaturi iznad 50 °C, pH području od 4 do 7 (Kroh, 1994). Shema Maillard-ovih reakcija prikazana je na slici 1. Karamelizacija, ovisno o izravnoj degradaciji šećera, zahtijeva snažnije uvjete, kao što su temperature iznad 120 °C, područje pH između 3 i 9 te niski aktivitet vode (A_w) (Kroh, 1994). Za vrijeme pečenja, škrob i saharoza mogu biti hidrolizirani do reducirajućih šećera koji zatim dalje mogu sudjelovati u obje reakcije, pa se obično Maillard-ove reakcije i reakcija karamelizacije mogu pojaviti istodobno (Villota i Hawkes, 2007).



Slika 1. Shema Maillard-ovih reakcija (Hodge, 1953)

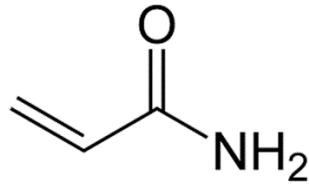
Zbog kemijskih značajki (tj. reaktanata i produkata) Maillard-ovih reakcija i reakcije karamelizacije, važnost razvoja boje tijekom pečenja ne odnosi se samo na senzorske značajke poput formiranja poželjne nijanse boje i okusa, već i na promjene vezane uz nutritivni sastav. U tom smislu, Maillard-ove reakcije narušavaju sadržaj i bioraspoloživost aminokiselina i proteina (Morales i sur., 2007), a to je povezano sa stvaranjem štetnih spojeva kao što su akrilamid i hidroksimetilfurfural (HMF) (Stadler i sur., 2002). Nastajanje akrilamida započinje kondenzacijom reducirajućih šećera i aminokiseline asparagin u prvoj fazi Maillard-ovih reakcija (De Vleeschouwer i sur., 2009). Stvaranje akrilamida u snažnoj je korelaciji s temperaturom i vremenom pečenja, količinom prisutnog asparagina i reducirajućih šećera te počinje pri temperaturi od 120-130 °C (Ahrné i sur., 2007). Nastajanje akrilamida povezano je i s razvojem boje površine pekarskih proizvoda (Gökmen i sur., 2008). Slika 2. prikazuje razvoj različitih nijansi boja na površini kruha tijekom pečenja na različitim temperaturama. Može se uočiti da pri višim temperaturama i duljem vremenu pečenja dolazi do razvoja intenzivnije smeđe boje na površini kruha što ukazuje i na veću količinu nastalog akrilamida. Stvaranje akrilamida tijekom pečenja predmet je istraživanja brojnih studija s ciljem razumijevanja reakcijskih mehanizama koji su uključeni u njegovo nastajanje kako bi se moglo predvidjeti i kontrolirati količinu akrilamida u pekarskim proizvodima.



Slika 2. Promjene u intenzitetu boje površine kruha tijekom pečenja pri različitim temperaturama (Purlis i Salvadori, 2009)

2.2. Što je akrilamid?

Akrilamid ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CONH}_2$; 2-proprenamid) jest bijela, kristalna krutina, bez mirisa i visoke topljivosti u vodi (2155 g L^{-1} vode). Na slici 3. prikazana je kemijska struktura akrilamida. Molekulska masa akrilamida iznosi $71,08 \text{ kDa}$, talište $84,5 \pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$, tlak para $0,007 \text{ mmHg}$ na $25 \text{ }^\circ\text{C}$ te vrelište $125 \text{ }^\circ\text{C}$. Reaktivan je spoj, a njegova se reaktivnost očituje u prisutnosti dvostruke kovalentne veze koju sadrži.



Slika 3. Kemijska struktura akrilamida (Badanjak Sabolović i Rimac Brnčić, 2016)

Industrijska proizvodnja akrilamida započela je 1954. godine korištenjem različitih metoda. U početku je najviše korištena reakcija akrilonitrila s hidratiziranom sumpornom kiselinom. Zbog relativno visokih razina prisutnih nečistoća ova je metoda zamijenjena procesom s nižim prinosom nečistoća, katalitičkom hidratacijom akrilonitrila s bakrenim katalizatorom kako bi nastao akrilamid (EFSA, 2015). Akrilamid je dostupan u krutom obliku čija je čistoća veća od 98% ili kao 30-60%-tna vodena otopina. U Europskoj Uniji akrilamid se proizvodi kao 30-50%-tna vodena otopina putem katalitičke hidratacije akrilonitrila, a proizvodni kapacitet se procjenjuje na između 150 000 do 200 000 tona godišnje. Akrilamid ima primjenu u brojnim industrijskim granama. Prvenstveno se koristi kao monomer u sintezi poliakrilamida, a ti polimeri koriste se u razne svrhe, primjerice u kozmetičkoj industriji, industriji papira i plastike, tekstilnoj industriji, u pročišćavanju otpadnih voda te u proizvodnji gelova za laboratorijska i znanstvena istraživanja (Friedman, 2003).

Zbog široke uporabe akrilamida u različitim industrijama opsežno se istražuju učinci akrilamida na stanice i tkiva životinja i ljudi. Godine 1994., Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC engl. International Agency for Research on Cancer) kategorizirala je akrilamid kao potencijalno kancerogeni spoj za ljude (skupina 2A), a tu je klasifikaciju 2002. godine odobrila Svjetska zdravstvena organizacija (WHO engl. World Health Organization). O prisutstvu akrilamida u hrani i njegovom spontanom nastajanju prilikom termičke obrade (pečenje, prženje, roštiljanje) pri visokim temperaturama (iznad $120 \text{ }^\circ\text{C}$), niskoj vlažnosti i visokom udjelu suhe tvari u namirnicama bogatim škrobom i proteinima prva je izvijestila

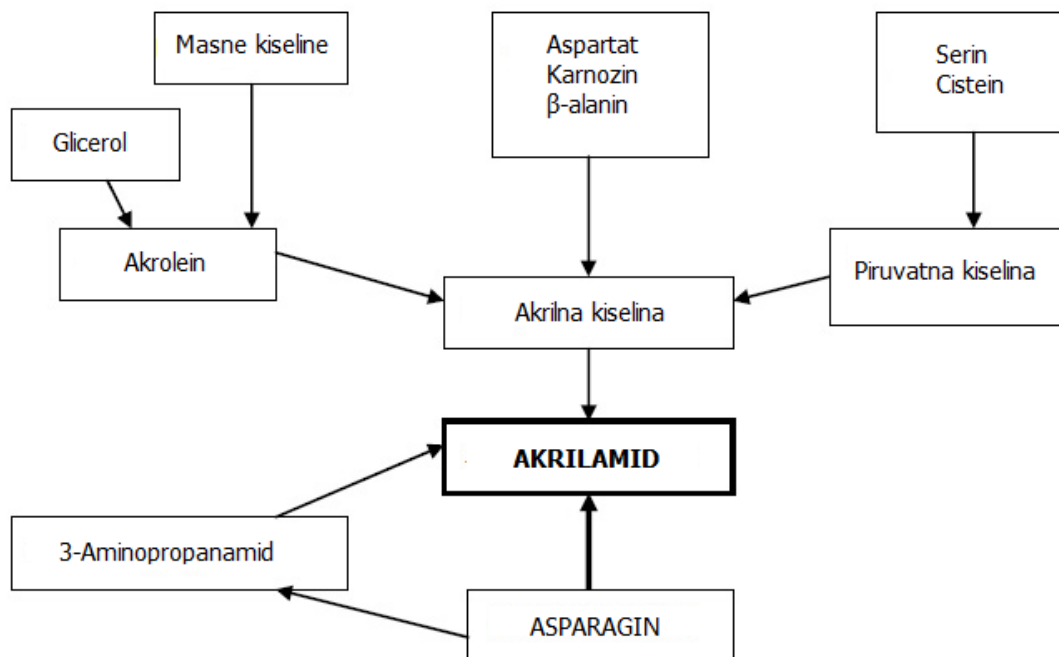
Švedska agencija za hranu (SNFA engl. Swedish National Food Agency). Ljudi su akrilamidu izloženi iz različitih izvora, ali jedan od najvažnijih izvora je svakako hrana – uglavnom termički obrađena hrana poput pekarskih proizvoda, pržene kave, prženih proizvoda od krumpira i sličnih namirnica (slika 4.) (Gökmen, 2016). Iz toga razloga nužno je bolje razumijevanje nastanka i distribucije akrilamida u hrani kao i njegov utjecaj na ljudsko zdravlje.



Slika 4. Određene namirnice s velikim doprinosom unosu akrilamida (Gökmen, 2016)

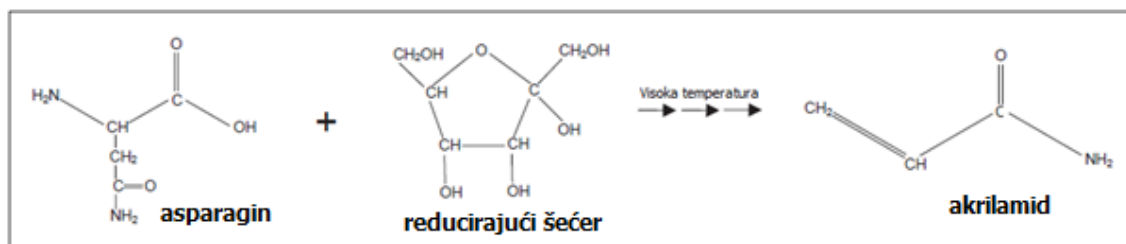
2.3. Mehanizam stvaranja akrilamida

Dakle, akrilamid nije tvar koja je prirodno prisutna u hrani ili joj se dodaje, već nastaje u namirnici tijekom toplinske obrade. Iako je već utvrđeno da akrilamid nastaje u različitim namirnicama, posebice namirnicama s visokim sadržajem ugljikohidrata, tijekom pripreme hrane pri temperaturama višim od 120 °C, postoje izvještaji koji potvrđuju da se ovaj spoj može formirati i na temperaturama ispod 100 °C, posebice u postupku sušenja na 65–130 °C (Eriksson, 2005). Točan kemijski mehanizam za nastajanje akrilamida u toplinski obrađenoj hrani nije poznat. Mogu se predvidjeti vjerojatni kemijski putevi koji uključuju reakcije ugljikohidrata, proteina (aminokiselina), lipida i vjerojatno drugih sastojaka hrane kao prekursore. S dostupnim informacijama još uvijek nije moguće istaknuti bilo koji specifičan mehanizam stvaranja ili isključiti neki od njih. Pretpostavlja se da se zapravo radi o mnoštvu reakcijskih mehanizama. Osnovni putevi nastajanja akrilamida prikazani su na slici 5.



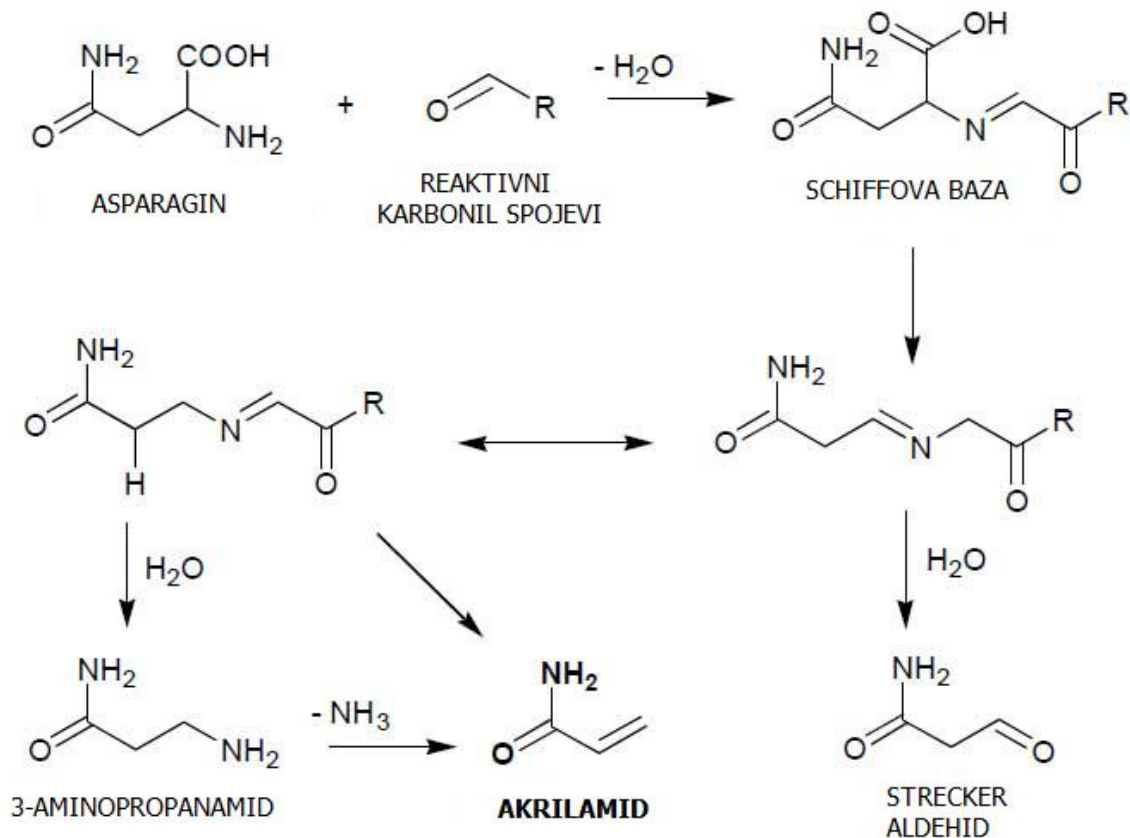
Slika 5. Osnovni putevi nastajanja akrilamida u hrani (Eriksson, 2005)

Akrilamid se obično formira putem dijela Maillard-ovih reakcija koje uključuju slobodnu aminokiselinu asparagin i reducirajuće šećere (uglavnom glukozu i fruktozu). Asparagin, kao slobodna aminokiselina, u kombinaciji s reducirajućim šećerima stvara značajne količine akrilamida prilikom pirolize na temperaturama višim od 120 °C (slika 6.) (Stadler i sur., 2002). Mogućnost stvaranja akrilamida snažno je povezana sa sadržajem glukoze i fruktoze (Biedermann i sur., 2002). Potvrdu o ključnoj ulozi asparagina u nastajanju akrilamida dali su rezultati istraživanja koje su proveli Zyzak i sur. (2003), a koji ukazuju da je amino skupina bočnog lanca asparagina uklopljena u amidnu vezu nastalog akrilamida.



Slika 6. Struktura akrilamida i njegovih prekursora (Wilson, 2006)

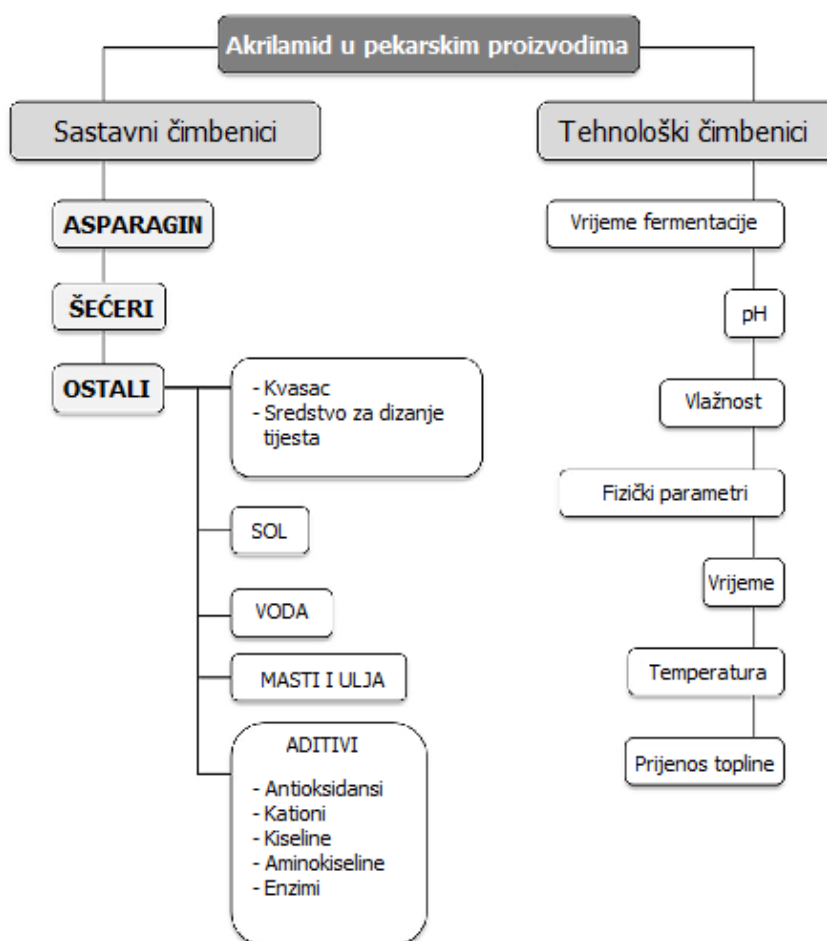
Iako nastajanje akrilamida slijedi različite mehanizme povezane s odvijanjem Maillard-ovih reakcija u prehrambenih proizvodima, od čega je glavni mehanizam putem asparagina i reducirajućih šećera (slika 7.), predloženi su i drugi mehanizmi nastajanja. U odsutnosti asparagina, akrolein i amonijak ključni su za stvaranje akrilamida u hrani bogatoj mastima i mogu biti neizravni izvor akrilamida, pod uvjetom da akrolein, koji nastaje degradacijom lipida, dalje reagira s pojedinom aminokiselinom ili je oksidiran u akrilnu kiselinu koja je intermedijer u reakcijama nastajanja akrilamida (Stadler i Struder, 2016). Aminokiseline kao što su glutamin, cistein i asparaginska kiselina također sudjeluju u nastanku malih količina akrilamida (Krishnakumar i Visvanathan, 2014). Međutim, pokazalo se da ovi mehanizmi mogu biti nevažni za stvaranje akrilamida u hrani (Amrein i sur., 2004).



Slika 7. Predloženi mehanizam nastajanja akrilamida u toplinski obrađenoj hrani (HEATOX Project, 2007)

2.3.1. Čimbenici koji utječu na stvaranje akrilamida u pekarskim proizvodima

Osnovni sastojci pekarskih proizvoda jesu brašno, voda, sol, kvasac i sredstvo za dizanje tijesta. Ostali sastojci kao što su masti, ulja, zaslađivači, jaja, mliječni proizvodi, med, orašasti plodovi, voće, začini, čokolada i slično, biti će prisutni ovisno o receptu i vrsti proizvoda. Razlike u proizvodima posljedica su različitih omjera sastojaka koji se koriste u proizvodnji i različitih metoda pripreme koje su primijenjene. Kao što je već spomenuto, dobro je znano da su asparagin i reducirajući šećeri glavni prekursori za nastajanje akrilamida u hrani. Upravo će sirovine za izradu pekarskih proizvoda biti izvor prekursora za stvaranje akrilamida u pekarskim proizvodima, dok će o samim uvjetima toplinske obrade (temperatura, vrijeme) ovisiti stupanj Maillard-ovih reakcija te će sve zajedno odrediti količinu akrilamida u gotovom pekarskom proizvodu (Mesias i Morales, 2016). Slika 8. prikazuje sastavne i tehnološke čimbenike koji utječu na nastajanje akrilamida u pekarskim proizvodima.



Slika 8. Čimbenici koji utječu na stvaranje akrilamida u pekarskim proizvodima (Mesias i Morales, 2016)

U pekarskim proizvodima, glavni je izvor slobodnog asparagina brašno, iako i drugi sastojci poput meda i oraha mogu pridonijeti ukupnom sadržaju asparagina u tijestu. Nekoliko studija pokazalo je da dodavanje asparagina u tijesto raznih pekarskih proizvoda dodatno potiče stvaranje akrilamida. Rezultati istraživanja koje su proveli Surdyk i sur. (2004) pokazali su da dodatak asparagina u tijesto pšeničnog kruha (0,1-0,7 g asparagina/100 g brašna) u velikoj mjeri povećava sadržaj akrilamida u korici kruha dostižući vrijednosti do 6000 µg/kg. Slično istraživanje proveli su Levine i Smith (2005) čiji su rezultati također pokazali da dodatak asparagina u tijesto krekeru uzrokuje povećanje količine nastalog akrilamida. Za razliku od dodatka asparagina, provedena istraživanja o dodavanju šećera u smjesu za proizvodnju pekarskih proizvoda daju vrlo različite rezultate. Sukladno tome, utvrđeno je da dodatak fruktoze pšeničnome kruhu ne utječe na promjenu sadržaja akrilamida u proizvodu (Surdyk i sur., 2004), dok povećanje količine saharoze u proizvodu sa 10 na 35 grama u receptu za kolačiće uzrokuje nastajanje gotovo dvostruko veće količine akrilamida tijekom toplinske obrade, odnosno pečenja (Gökmen i sur., 2007). Sredstva za dizanje tijesta služe stvaranju plinova u pekarskim proizvodima, pa se njihovim zadržavanjem u proizvodu povećava volumen, a također utječu i na oblik i teksturu proizvoda. U pekarskoj industriji koriste se različita sredstva za dizanje tijesta te imaju vrlo veliki utjecaj na stvaranje akrilamida u pekarskim proizvodima (Amrein i sur., 2004). Osim gore navedenih, i ostali sastojci koji se dodaju u tijesto za izradu pekarskih proizvoda imaju različite učinke na nastajanje akrilamida. Tako primjerice sol ima znatan inhibicijski učinak na stvaranje akrilamida u pekarskim proizvodima tijekom toplinske obrade no pri tome je vrlo važno kontrolirati količinu soli dodanu tijestu jer veće količine mogu nadjačati i poništiti taj učinak (Claus i sur., 2008). Dodatak lipida može uzrokovati stvaranje veće količine akrilamida dok aditivi poput antioksidansa, kationa, kiselina, aminokiselina i enzima mogu uzrokovati nižu stopu stvaranja akrilamida u pekarskim proizvodima. Tehnološki faktori poput produljenog vremena fermentacije, nižeg pH, većeg sadržaja vode i vlage u proizvodu mogu smanjiti sadržaj akrilamida. Levine i Smith (2005) pokazali su da dodatak laktatne, tartarne i citratne kiseline smanjuje količinu nastalog akrilamida u krekerima te da isti učinak izaziva i dodatak antioksidativne komponente, u ovom slučaju dodatak natrijeva bisulfita (NaHSO₃).

Budući da brojni čimbenici utječu na stvaranje akrilamida u pekarskim proizvodima, bitno je obratiti pažnju na moguće „okidače“, a kao jedan od jednostavnijih i laički primjenjivih načina jest kontrola razine posmeđivanja pečenog proizvoda (tamnija boja znači veći udio akrilamida).

2.4. Akrilamidi u pekarskim proizvodima

Praćenje pojave akrilamida i utvrđivanje čimbenika koji su uključeni u stvaranje istih, predmet su sad već mnogo provedenih znanstvenih istraživanja. Među raznim izvorima hrane, prženi proizvodi od krumpira, pekarski proizvodi i kava najviše doprinose unosu akrilamida putem hrane. S obzirom na njegovo potencijalno nepoželjno djelovanje na zdravlje, potrebno je procijeniti razinu sadržanog akrilamida u pojedinim proizvodima te pronaći načine smanjivanja njegove količine u gotovom proizvodu. U tablici 1. prikazani su podatci o količinama akrilamida u pojedinim pekarskim proizvodima.

Tablica 1. Količine akrilamida u nekim pekarskim proizvodima (Mesias i Morales, 2016)

Akrilamid (µg/kg)		
<i>Kruh i proizvodi od kruha (Bread and bread products)</i>		
Kruh (Bread)	5–116	
	40–90	
	<10–152	
	27–36	
	35–110	
Hruskavi kruh (Crispbread)	<30–160	
	<30–430	
	<68–1480	
	65–1271	
	152–1546	
Medenjak začnjen đumbirom (Gingerbread)	422–908	
	<30–151	
	260–1410	
Tostirani kruh (Toasted bread)	108–1697	
	196–280	
	<30–1430	
<i>Keksi i kolači (Biscuits and cookies)</i>	<10–107	
	16–154	
	Keksi (Biscuits)	<30–700
		20–1514
		<10–1060
		<68–1150
		47–370
		104
	Kolači (Cookies)	<30–2085
		697
		400
40–350		
42–250		
80–420		
Torte i pite (Cakes and pastries)	566–2017	
	197–328	
	15–1040	
	<30–296	
	39–510	
	12	
26		
20–200		
48–672		

Količina akrilamida u pekarskim proizvodima ovisi o sastavu različitih proizvoda, kao i o uvjetima toplinske obrade. Akrilamid je obično prisutan samo u kori pekarskih proizvoda jer prilikom pečenja, voda vrlo brzo isparava iz površinskih slojeva tijesta, pa temperatura u kori, za razliku od unutrašnjih dijelova, može doseći vrlo visoke vrijednosti koje omogućuju odvijanje Maillard-ovih reakcija i stvaranje akrilamida (Vanin i sur., 2009). Sadržaj akrilamida može varirati od nezamijećene količine, kao npr. u krušnim mrvicama (manja količina akrilamida u mrvicama kruha objašnjava se činjenicom da unutarnja temperatura krušne mrvice ne prelazi 100 °C tijekom pečenja), do više od 2000 µg/kg u proizvodima kao što su krekeri. Capuano i sur. (2009) istraživali su utjecaj vrsta brašna koja se učestalo koriste u proizvodnji pekarskih proizvoda na nastajanje akrilamida. Ispitivani uzorci napravljeni su od raženog brašna, pšeničnog brašna i brašna cjelovitog zrna pšenice. Rezultati su pokazali da je više akrilamida nastalo u uzorcima koji sadrže raženo brašno i brašno cjelovitog zrna pšenice nego u uzorku koji sadrži pšenično brašno. Dobiveni rezultati vjerojatno su povezani s količinom asparagina u uzorcima brašna budući da veću količinu asparagina sadrži raženo brašno (0,55 gkg⁻¹) i brašno cjelovitog zrna pšenice (0,45 gkg⁻¹) nego pšenično brašno (0,15 gkg⁻¹). Sukladno tome, u izvješću Europske agencije za sigurnost hrane (2015) istraživanja pokazuju nižu zabilježenu količinu akrilamida kod pšeničnog kruha i hruskavog pšeničnog kruha (38 i 126 µg/kg) nego kod raženog kruha i hruskavog raženog kruha (57 i 245 µg/kg). Osim toga, opaženo je da medenjaci začinjeni đumbirom sadrže više akrilamida (prosječno 407 µg/kg) u usporedbi s krekerima (231 µg/kg), keksima i oblatnama (201 µg/kg). Prema rezultatima istraživanja koje su proveli Amrein i sur. (2004) za velike količine akrilamida u medenjacima začinjenim đumbirom odgovorni su sastojci potrebni za njihovu proizvodnju jer sadrže značajnije količine prekursora akrilamida. Izvoru slobodnog asparagina najviše doprinosi brašno, zatim med te smjesa začina. Glukozno–fruktozni sirup, med i karamel bojilo doprinose 99% ukupne količine glukoze i fruktoze. Može se primijetiti da je med izvor svih spojeva koji su uključeni u nastajanje akrilamida. Capei i sur. (2015) istraživali su sadržaj akrilamida u keksima čiji je sastav uključivao kukuruz, rižu, slad, zob, pšenicu, pir, ječam, raž i kakao u različitim omjerima i kombinacijama. Najveće količine akrilamida izmjerene su u keksima koji su sadržavali pir (780 µg/kg) te u keksima koji su sadržavali pšenicu, rižu i kakao (810 µg/kg). Autori ukazuju na proizvodne procese kao važne čimbenike u nastajanju akrilamida. Slično, rezultati istraživanja koje su proveli Haouet i sur. (2016) pokazali su da keksi napravljeni od brašna cjelovitog zrna pšenice sadrže znatno veću količinu akrilamida (726±27 µg/kg) od muffina (159±12 µg/kg) te kroasana (41±47 µg/kg) napravljenih od pšeničnog brašna. Prema autorima istraživanja, razlog većim zabilježenim količinama akrilamida u keksima napravljenim od brašna cjelovitog zrna pšenice jesu pšenične mekinje

koje sadrže (mekinje su bogate asparaginom). Surdyk i sur. (2004) pokazali su da se više od 99% akrilamida nastalog tijekom pečenja kruha nalazi u kori kruha, te da je količina akrilamida povezana s temperaturom i vremenom pečenja, a boja površine kore kruha snažno korelira sa sadržajem akrilamida (tamnija boja znači i više akrilamida). Rezultati istraživanja koje su proveli Açar i Gökmen (2009) ukazuju da manja debljina kore pekarskog proizvoda indicira manji sadržaj akrilamida u proizvodu. Iako je površina kore u tortiljama i pečenim tijestima za pizzu velika u usporedbi s unutrašnjim dijelom proizvoda, količina akrilamida koju sadrže relativno je mala (Sadd i Hamlet, 2005). Razlog tome je što kod tih proizvoda samo mali dio površine kore sadrži intenzivnije obojene dijelove nastale tijekom pečenja, a to je u skladu s rezultatima koje su dobili i Surdyk i sur. (2004). Također, kroasani i muffini imaju relativno malu površinu kore (u usporedbi s primjerice kruhom) pa vrlo mali dio površine kore može sadržavati intenzivnije obojene dijelove nastale tijekom pečenja što pojašnjava mali sadržaj akrilamida u tim proizvodima (tablica 2.).

Tablica 2. Količina akrilamida u ostalim pekarskim proizvodima (Mesias i Morales, 2016)

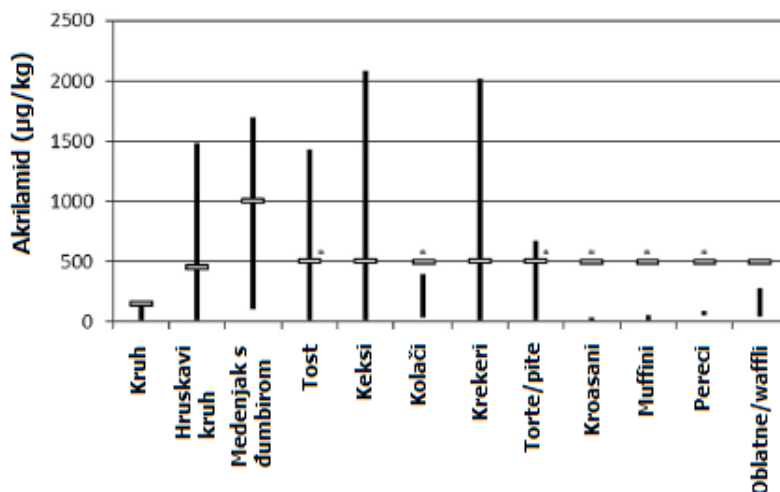
<i>Ostali pekarski proizvodi (Other bakery products)</i>	
Kroasani (<i>Croissants</i>)	<30–40 22
Muffini (<i>Muffins</i>)	12–55 <100
Perci (<i>Pretzels</i>)	62–86 53–83
Oblatne i waffli (<i>Waffers and waffles</i>)	53–280 42

Pekarski proizvodi karakteristična su skupina namirnica s obzirom na svoj osnovni sastav i proizvodne procese, a budući da njihovi sastojci sadrže prekursore akrilamida kojima pogoduje način toplinske obrade koji se primjenjuje pri proizvodnji, većina pekarskih proizvoda sadrži akrilamid u značajnoj količini.

2.5. Prehrambeni unos akrilamida

U istraživanjima o prehrambenom unosu akrilamida, obično se koriste metode temeljene na samoprocjeni i samopraćenju pojedinca o potrošnji poznatih namirnica koje sadrže akrilamid, pri čemu se najčešće koristi metoda 24-satnog prisjećanja ili upitnici o učestalosti konzumiranja hrane (Slimani i sur., 2015). Dnevni unos akrilamida putem prehrane jest 0,3 do 0,8 μg akrilamida po kg tjelesne mase prema procjenama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO, 2002). U uobičajenoj prehrani, prosječni ukupni dnevni unos akrilamida je oko 0,85 μg akrilamida po kg tjelesne mase (Schettgen i sur., 2002). Prema prosječnim prehrambenim navikama, ukupan dnevni energetske unos te potrebni makrohranjenosti i mikrohranjenosti osiguravaju se pretežito iz hrane koja sadrži akrilamid (Wilson i sur., 2006). Hrana s visokim razinama akrilamida doprinosi 38% dnevnog energetske unosa, 36% vlakana i više od 25% mikrohranjenata. Osnovnih pet grupa namirnica koje pridonose unosu prehrambenog akrilamida u odraslih osoba diljem Europe su: (1) „kruh, hruskavi kruh i dvopek“, (2) „kava“, (3) „hruskavi krumpirići i pomfrit“, (4) „torte/suhi kolači“ i (5) „slani keksi“ (Freisling, 2013). Prema podacima koje je objavila Europska agencija za sigurnost hrane (EFSA, 2015), pekarski proizvodi pridonose ukupnom unosu akrilamida sa čak 20-60%, što je ekvivalentno izloženosti akrilamidu u rasponu od 0,13 do 0,31 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tjelesne mase na dan u odraslih osoba, dok u djece i adolescenata taj raspon doseže čak 0,55 do 0,75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tjelesne mase dnevno.

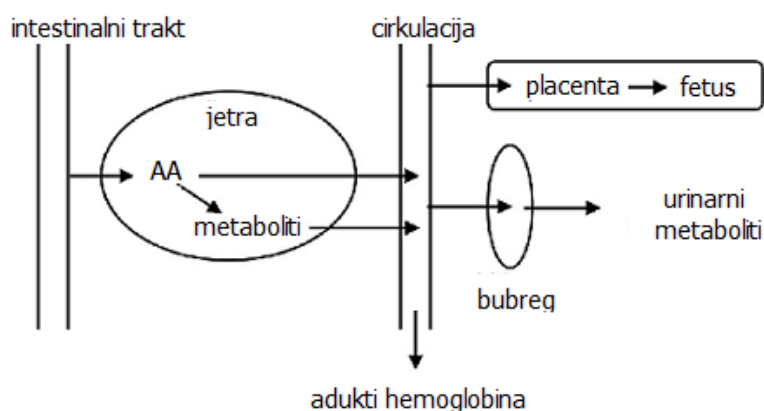
Unatoč činjenici da u nekim pekarskim proizvodima količina prisutnog akrilamida nije velika, primjerice u kruhu, njihova dnevna potrošnja u značajnim količinama objašnjava važnost tih proizvoda kao izvor izloženosti akrilamidu putem hrane, posebice među djecom i adolescentima. Europska komisija je 2013. godine usvojila nove (EC, 2013) indikativne vrijednosti akrilamida u glavnim prehrambenim izvorima, utemeljene na podacima istraživanja koje je nadgledala EFSA od 2007. do 2012. godine, pa su tako dane referentne vrijednosti sadržaja akrilamida u prehrambenim izvorima koji najviše doprinose njegovom unosu. Prema rezultatima nadgledanih istraživanja, u kategoriji hrane „keksi, krekeri, hruskavi kruh i slično“ preko 12% uzoraka sadržavalo je više akrilamida nego što to nalažu indikativne vrijednosti. Primjere nekih od tih proizvoda prikazuje slika 9. U slučajevima gdje je sadržaj akrilamida veći od indikativnih vrijednosti postavljenih za odgovarajuće kategorije hrane prema preporuci, metode proizvodnje i prerade koje proizvođači koriste za određeni proizvod, moraju biti istražene. Na taj se način zdravstveni rizik povezan s unosom akrilamida može regulirati i, prema tome, kontrolirati (Mesias i Morales, 2016).



Slika 9. Usporedba sadržaja akrilamida u pekarskim proizvodima i indikativnih vrijednosti (Mesias i Morales, 2016)

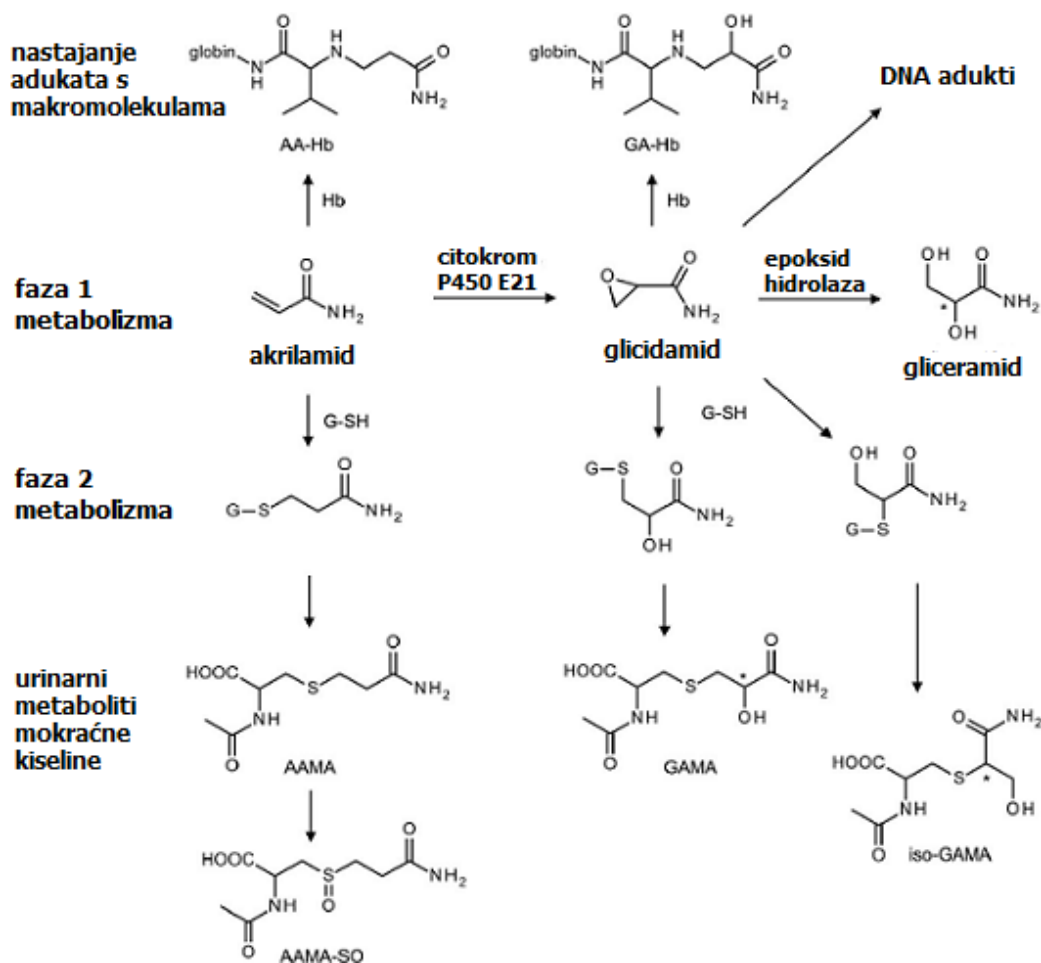
2.6. Djelovanje akrilamida u ljudskom organizmu

Akrlamid se u ljudski organizam unosi hranom koja sadrži akrilamid i vodom koja je njime kontaminirana. Također, unos može biti dermalnim kontaktom sa stvarima koje sadrže akrilamid, kao i udisanjem prašine i para u radnom okruženju te udisanjem dima cigareta. Akrlamid se apsorbira iz svih izvora izloženosti, a apsorpcija oralnim putem smatra se brзом i potpunom. Shematski prikaz apsorpcije, distribucije, metabolizma i izlučivanja akrilamida prikazan je na slici 10.



Slika 10. Shematski prikaz apsorpcije, distribucije, biotransformacije i izlučivanja akrilamida (Kocadađli i Gökmen, 2016)

Zbog svoje dobre topljivosti u vodi i raspodjeli u ukupnoj tjelesnoj vodi, nakon metaboliziranja i apsorpcije akrilamid je slobodno raspoređen u sva tkiva (također može biti nađen u majčinom mlijeku i placenti). Visoka apsorpcija akrilamida iz gastrointestinalnog sustava u većini je ekperimentalnih životinja i ljudi indicirana urinarnim akrilamid metabolitima (Kocadađli i Gökmen, 2016). Akrilamid ima kompleksne metaboličke puteve u organizmu (slika 11.). Djelomično se pretvara u glicidamid oksidacijom putem citokroma P450 2E1 u fazi 1 metabolizma. Budući da je akrilamid zbog svoje dvostruke veze elektrofil i reagira sa nukleofilima, tako se i glicidamid kovalentno veže na stanične komponente koje sadrže sulfhidrilne i amino skupine (dušikovi atomi DNA molekula osjetljivi su na stvaranje adukata s glicidamidom, što pojašnjava genotoksično djelovanje). Glicidamid se dalje može hidrolizirati do gliceramida. U fazi 2 metabolizma, akrilamid konjugira se s glutationom, a dobiveni konjugat merkapturane kiseline izlučuje se urinom. Konjugacija s glutationom važna je za smanjenje reaktivnosti akrilamida na stanične komponente i učestaliji je put metabolizma akrilamida u ljudi (Kocadađli i Gökmen, 2016).



Slika 11. Metabolički putevi akrilamida (Kocadađli i Gökmen, 2016)

Akrilamid se smatra neurotoksičnim i potencijalno kancerogenim spojem (IARC, 1994), a metabolit akrilamida, glicidamid, također ima i genotoksični učinak (Blank, 2005). Dugotrajna izloženost može uzrokovati ozbiljne probleme vezane uz živčani sustav, uključujući iritaciju kože i respiratornog trakta (akutna toksičnost), poremećaj ravnoteže, halucinacije, gubitak pamćenja, utrnulost udova te mišićne atrofije (kronična toksičnost). Mogu se pojaviti i kromosomske aberacije te neplanirane sinteze DNA (Environmental Health Sciences, 2003). Rezultati nekoliko provedenih istraživanja na životinjama dokazali su kancerogeni učinak akrilamida, odnosno mogućnost uzrokovanja različitih tumora u štakora i miševa. Incidencija raka u štakora povećava se pri dozi od 1 do 2 mg akrilamida po kg tjelesne mase (Keramat i sur., 2011). Upravo na temelju dokazanog kancerogenog učinka na životinje akrilamid klasificiran je kao potencijalni kancerogeni spoj (EFSA, 2015).

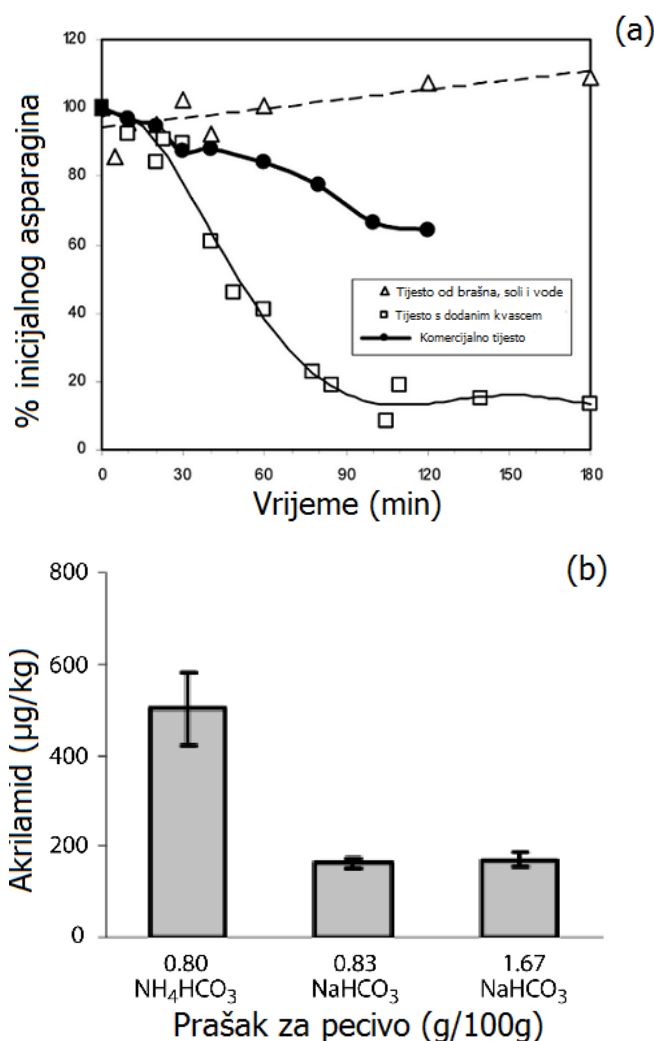
2.7. Metode smanjivanja količine akrilamida u pekarskim proizvodima

Kako bi se umanjili rizici za zdravlje potrošača, prehrambena industrija usredotočena je na pronalaženje postupaka kojima bi se smanjila količina akrilamida u gotovim proizvodima. Istraživanja o nastanku i količinama akrilamida u prehrambenim proizvodima provedena od raznih međunarodnih znanstvenih zajednica, u suradnji s organizacijama za sigurnost hrane te različitim proizvođačima hrane rezultirala su razvojem raznih metoda za ekstrakciju i smanjivanje sadržaja akrilamida u hrani (Dabrio i sur., 2008).

Postoji velik broj predloženih metoda smanjivanja količine akrilamida u pekarskim proizvodima, a najčešće korištene strategije su (Sadd i sur., 2008):

- Odabir žitarica i drugih biljnih sorti koje sadrže male količine akrilamidnih prekursora, posebice asparagina i glukoze
- Uklanjanje prekursora prije prerade (npr. dodavanjem enzima ili korištenjem kvasca te drugih mikroorganizama; uklanjanjem katalizatora kao što su amonijeve soli)
- Dodavanje sastojaka hrane koji sprječavaju nastajanje akrilamida (kiseline, aminokiseline, antioksidansi, nereducirajući ugljikohidrati, proteinski hidrolizati, metalne soli)
- Regulacija uvjeta prerade (pH, temperatura, vrijeme, obrada i skladištenje) koji minimiziraju stvaranje akrilamida

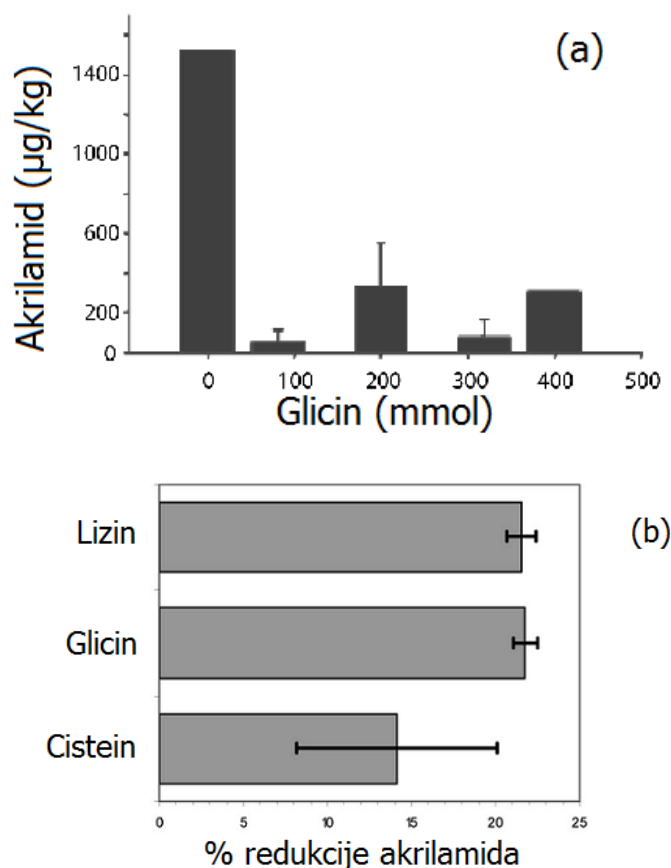
Jedna od metoda smanjenja nastajanja akrilamida jest uklanjanje prekursora u sirovinama. Dodavanjem kvasca u smjesu, oni koriste šećere i asparagin kao svoju „hranu“ i tako uklanjaju prekursore, čime se smanjuje sadržaj nastalog akrilamida, što prikazuje slika 12. (a) (Sadd i sur., 2008). Također, jedna od strategija smanjenja sadržaja akrilamida jest zamjena korištenja amonijeva bikarbonata kao praška za pecivo s natrijevim bikarbonatom (poznatijim kao soda bikarbona), budući da amonijev bikarbonat pojačava formiranje dikarbonilnih intermedijera koji su također prekursori za nastajanje akrilamida. To potvrđuje istraživanje koje su proveli Amrein i sur. (2004), a rezultati su prikazani na slici 12. (b).



Slika 12. (a) Utjecaj sastava tijesta na sadržaj asparagina (Δ – tijesto od brašna, soli i vode; □ – tijesto s dodanim kvascem; ● – komercijalno tijesto) (Sadd i sur., 2008)

(b) Sadržaj akrilamida u medenjacima začinenom s đumbirom čija smjesa sadrži različit prašak za pecivo (Amrein i sur., 2004)

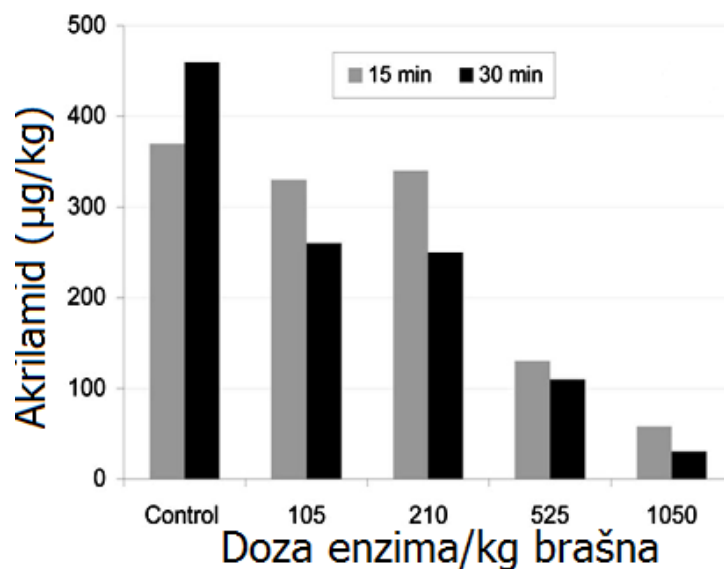
Dodatak drugih aminokiselina kompetitivno djeluje asparaginu pa dolazi do smanjenja nastajanja akrilamida (nastaju drugi spojevi). Bråthen i sur. (2005) pokazali su da dodatak glicina u smjesu raženih tortilja značajno smanjuje količinu nastalog akrilamida, a rezultati su prikazani na slici 13. (a). Slično, rezultati istraživanja koje su proveli Sadd i sur. (2008) pokazali su da dodatak lizina, glicina ili cisteina uzrokuje smanjenje nastajanja akrilamida za 15-20%, što se može uočiti na slici 13. (b).



Slika 13. (a) Učinak dodatka glicina na sadržaj akrilamida u tortiljama (Bråthen i sur., 2005)
(b) Utjecaj dodatka aminokiselina na sadržaj akrilamida u tijestu (Sadd i sur., 2008)

Kontrola uvjeta prerade uključuje snižavanje pH, smanjenje temperature koja se koristi pri toplinskoj obradi i skraćivanje vremena toplinske obrade. Iako ove metode postižu učinkovito smanjenje nastajanja akrilamida, pojedine specifične senzorske značajke pekarskih proizvoda mogu biti ugrožene (npr. smanjenjem temperature onemogućuje se odvijanje Maillard-ovih reakcija pri čemu ne mogu nastati produkti Maillard-ovih reakcija odgovorni za aromu i teksturu pekarskih proizvoda) (Xu i sur., 2016).

Metoda za smanjenje nastajanja akrilamida ima mnogo, netom navedeni primjeri samo su neki od njih, no čini se da je dodatak enzima asparaginaze najkorištenija metoda i da je postala moćno sredstvo za ublažavanje sadržaja akrilamida u prehrambenoj industriji. Asparaginaza katalizira hidrolizu asparagina u asparaginsku kiselinu i amonijak, pri čemu se, dakle, uklanja jedan od esencijalnih prekursora akrilamida iz osnovnih sastojaka (Hendriksen i sur., 2009). Rezultati istraživanja koje su proveli Hendriksen i sur. (2009) pokazuju da dodatak enzima asparaginaze uzrokuje redukciju sadržaja akrilamida u keksima. U usporedbi s kontrolnim uzorkom, pri djelovanju enzima u vremenu od 15 minuta, asparaginaza je smanjila sadržaj nastalog akrilamida za 65%, a pri djelovanju u vremenu od 30 minuta sadržaj akrilamida reduciran je za 84% (slika 14.). Zbog dokazanog pozitivnog djelovanja na smanjenje stvaranja akrilamida, asparaginaza se već uspješno koristi u određenim komercijalnim proizvodima.



Slika 14. Utjecaj asparaginaze na sadržaj akrilamida (a) u keksima (Hendriksen i sur., 2009)

3. ZAKLJUČAK

Konsumacija pekarskih proizvoda široko je rasprostranjena i vrlo učestala među svim populacijama, stoga je kvaliteta i zdravstvena sigurnost tih proizvoda od velike važnosti. Akrilamid je spoj koji nastaje u pekarskim proizvodima tijekom njihove toplinske obrade, a s obzirom da je procijenjen kao potencijalno kancerogeni spoj, mogao bi narušavati aspekt zdravstvene sigurnosti pekarskih proizvoda ukoliko se dugotrajno i kontinuirano konzumiraju proizvodi u kojima se ovaj spoj nalazi u rizičnim koncentracijama. Iz toga se razloga apelira na industrije, poslovne subjekte, pa i osobna domaćinstva da pristupaju pripremi i obradi pekarskih proizvoda odgovorno i prema preporukama relevantnih organizacija. Iako već postoje brojne metode kojima se može reducirati nastajanje akrilamida, potrebna su dodatna saznanja i usavršavanje tehnika kako bi se omogućila lakša prevencija i kontrola ovog možebitno toksičnog spoja za ljude.

4. POPIS LITERATURE

Abdullah M. Z. (2008) Quality Evaluation of Bakery Products. U: Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation, 2. izd., Da-Wen Sun, ur., str. 481–522

Açar Ö. Ç, Gökmen V. (2009) Investigation of acrylamide formation on bakery products using a crust-like model. *Molecular Nutrition & Food Research* **53**: 1521–1525

Ahrné L., Andersson C.-G., Floberg F., Rosén J., Lingnert H. (2007) Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: steam and falling temperature baking. *LWT – Food Science and Technology* **40(10)**: 1708–1715

Amrein T. M., Schönbacher B., Escher F., Amadò R. (2004) Acrylamide in gingerbread: Critical factors for formation and possible ways for reduction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52(13)**: 4282–4288

ANMAT (2004) Código Alimentario Argentino (Food Code of Argentina, chapter IX). ANMAT – La Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (The National Administration of Drugs, Foods and Medical Devices), <http://www.anmat.gov.ar/codigoa/CAPITULO_IX_Harinas_actualiz_06-03.pdf> Pristupljeno 4. kolovoza 2017.

Badanjak Sabolović M., Rimac Brnčić S. (2016) Utjecaj procesa pripreme na udio akrilamida u prerađenoj hrani. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition* **11(1-2)**: 79–84

BeMiller J. N., Whistler R. L. (1996) Carbohydrates. U: Food Chemistry, 3. izd., Fennema O. R., ur., str. 171–174

Biedermann M., Biedermann B. S., Noti A., Grob K. (2002) Methods for determining the potential of acrylamide formation and its elimination in raw materials for food preparation, such as potatoes. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* **93**: 653–667

Blank I. (2005) Current status of acrylamide research in food: measurement, safety assessment, and formation. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1043**: 30–40

Bråthen E., Kita A., Knutsen S. H., Wicklund T. (2005) Addition of glycine reduces the content of acrylamide in cereal and potato products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**: 3259–3264

- Capei R., Pettini L., Lo Nostro A., Pesavento G. (2015) Occurrence of Acrylamide in breakfast cereals and biscuits available in Italy. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene* **56(4)**: 190–195
- Capuano E., Ferrigno A., Acampa I., Alt–Ameur L., Fogliano V. (2008) Characterization of the Maillard reaction in bread crisps. *European Food Research and Technology* **228**: 311–319
- Capuano E., Ferrigno A., Acampa I., Serpen A., Açar Ö. Ç., Gökmen V., Fogliano V. (2009) Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International* **42**: 1295–1302
- Claus A., Mongili M., Weisz G., Schieber A., Carle R. (2008) Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. *Journal of Cereal Science* **47(3)**: 546–54
- Dabrio M., Sejerøe-Olsen B., Musser S., Emteborg S. H., Ulberth F., Emons H. (2008) Production of a certified reference material for the acrylamide content in toasted bread. *Food Chemistry* **110**: 504–511
- De Vleeschouwer K., Van der Plancken I., Van Loey A., Hendrickx, M. E. (2009) Modelling acrylamide changes in foods: from single-response empirical to multiresponse mechanistic approaches. *Trends in Food Science and Technology* **20(3–4)**: 155–167
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2015) Scientific Opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal* **13(6)**: 4104
- Environmental Health Sciences – Harmful Effects of Acrylamide, <<http://enhs.umn.edu/current/5103/acryl/harmful.html>> Pristupljeno 8. kolovoza 2017.
- Eriksson S. (2005) Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology. PhD thesis. Department of Environmental Chemistry, Stockholm University, Stockholm, Sweden
- European Commission (2013) Commission recommendation of 8 November 2013 on investigations into the levels of acrylamide in food. *Official Journal of the European Union* **56(301)**: 15–17
- Freisling H., Moskal A., Ferrari P., Nicolas G., Knaze V., Clavel–Chapelon F. i sur. (2013) Dietary acrylamide intake of adults in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition differs greatly according to geographical region. *European Journal of Nutrition* **52(4)**: 1369–1380

Friedman M. (2003) Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**: 4504–4526

Friedman M., Levin C. E. (2008) Review of Methods for the Reduction of Dietary Content and Toxicity of Acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**: 6113–6140

Gökmen V. (2016) Introduction: Potential Safety Risks Associated with Thermal Processing of Foods. U: *Acrylamide in Food: Analysis, Content and Potential Health Effects*, 1. izd., Gökmen V., ur., str. xxi–xxvi

Gökmen V., Açar Ö. Ç., Arribas-Lorenzo G., Morales F. J. (2008) Investigating the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies. *Journal of Food Engineering* **87(3)**: 380–385

Gökmen V., Açar Ö. Ç., Köksel H., Açar J. (2007) Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies. *Food Chemistry* **104(3)**: 1136–1142

Haouet N., Pistolese S., Branciarri R., Ranucci D., Altissimi M. S. (2016) Study of Acrylamide Level in Food from Vending Machines. *Italian Journal of Food Safety* **5**: 191–193

HEATOX Project (2007) HEATOX: Heat-generated food toxicants: Identification, characterisation and risk minimisation. Lund University, Lund, Sweden

Hendriksen H. V., Kornbrust B. A., Ostergaard P. R., Stringer M. A. (2009) Evaluating the potential for enzymatic acrylamide mitigation in a range of food products using an asparaginase from *Aspergillus oryzae*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57(10)**: 4168–4176

Hodge J. E. (1953) Dehydrated Foods, Chemistry of Browning Reactions in Model Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **1(15)**: 928–943

International Agency for Research on Cancer (IARC) (1994) Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. *IARC* **60**: 389–433

Keramat J., LeBail A., Prost C., Jafari M. (2011) Acrylamide in Baking Products: A Review Article. *Food and Bioprocess Technology* **4**: 530–543

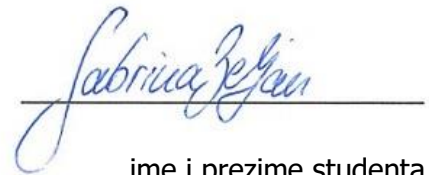
Kocadağlı T., Gökmen V. (2016) Metabolism of Acrylamide in Humans and Biomarkers of Exposure to Acrylamide. U: *Acrylamide in Food: Analysis, Content and Potential Health Effects*, 1. izd., Gökmen V., ur., str. 109–128

- Krishnakumar T., Visvanathan R. (2014) Acrylamide in Food Products: A review. *Journal of Food Processing and Technology* **5**: 344
- Kroh L.W. (1994) Caramelisation in food and beverages. *Food Chemistry* **51**: 373–379
- Levine R. A., Smith R. E. (2005) Sources of variability of acrylamide levels in a cracker model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53(11)**: 4410–4416
- Mesias M., Morales F. J (2016) Acrylamide in Bakery Products. U: Acrylamide in Food: Analysis, Content and Potential Health Effects, 1. izd., Gökmen V., ur., str. 131–157
- Mondal A., Datta A. K. (2008) Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering* **86**: 465–474
- Morales F. J., Açar Ö. Ç., Serpen A., Arribas-Lorenzo G., Gökmen V. (2007) Degradation of free tryptophan in a cookie model system and its application in commercial samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **55(16)**: 6793–6797
- Pedreschi F., León J., Mery D., Moyano P. (2006) Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International* **39(10)**: 1092–1098
- Purlis E. (2010) Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering* **99**: 239–249
- Purlis E., Salvadori V. O. (2009) Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International* **42**: 865–870
- Sadd P. A., Hamlet C. G., Liang L. (2008) Effectiveness of Methods for Reducing Acrylamide in Bakery Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**: 6154–6161
- Sadd P., Hamlet C. (2005) Chemistry and Safety of Acrylamide in Food, 1. izd., Friedman M., Mottram D., ur., str. 415–429
- Schettgen T., Drexler H., Angerer J. (2002) Acrylamide in the general population – A daily intake estimation. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* **7**: 331–336
- Slimani N., Freisling H., Illner A.-K., Huybrechts I (2015) Methods to determine dietary intake. U: Nutrition Research Methodologies, 1.izd., Lovegrove J. A., Hodson L., Sharma S., Lanham-New S. A., ur., str. 48–70
- Stadler R. H., Blank I., Varga N., Robert F., Hau J., Guy P. A., Robert M.-C., Riediker S. (2002) Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature* **419(6906)**: 449–450

- Stadler R. H., Studer A (2016) Acrylamide Formation Mechanisms. U: Acrylamide in Food: Analysis, Content and Potential Health Effects, 1. izd., Gökmen V., ur., str. 1–17
- Surdyk N., Rosén J., Andersson R., Åman, P. (2004) Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52(7)**: 2047–2051
- Vanin F. M., Lucas T., Trystram G. (2009) Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science & Technology* **20**: 333–343
- Villota R., Hawkes, J. G (2007) Reaction Kinetics in Food Systems. U: Handbook of Food Engineering, 2. izd., Heldman D. R., Lund D. B., Sabliov C., ur., str. 125–286
- Wilson K., Rimm E., Thompson K., Mucci L. (2006) Dietary acrylamide and cancer risk in humans: A review. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* **1**: 19–27
- World Health Organization (2002) Health Implications of Acrylamide in Food. Report of a Joint FAO/WHO Consultation. WHO Headquarters, Geneva, Switzerland
- Xu F., Oruna-Concha M.-J., Elmore J. S. (2016) The use of asparaginase to reduce acrylamide levels in cooked food. *Food Chemistry* **210**: 163–171
- Zyzak D. V., Sanders R. A., Stojanovik M., Tallmadge D. H., Eberhart B. L., Ewald D. K., Gruber D. C., Morsch T. R., Strothers M. A., Rizzi G. P., Villagran M. D. (2003) Acrylamide formation mechanism in heated foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51(16)**: 4782–4787

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristila drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

A handwritten signature in blue ink, reading "Sabrića Zvezdana", is written over a horizontal line.

ime i prezime studenta