

# Akrilamidi u prženim proizvodima

---

**Gunjača, Marija**

**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:159:284225>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Nutricionizam**

**Marija Gunjača**

6886/N

**AKRILAMIDI U PRŽENIM 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 prženim proizvodima**

***Marija Gunjača, 0058205021***

**Sažetak:** Akrilamid je potencijalno kancerogeni spoj koji u hrani nastaje Maillard-ovom reakcijom između reducirajućih šećera i aminoliselina pri povišenim temperaturama.

Cilj ovoga rada bio je prema dostupnoj literaturi proučiti, prema dostupnoj literaturi, odabrane grupe prehrambenih proizvoda u kojima tijekom prženja nastaje značajna količina akrilamida, uvjete koji pogoduju njegovu nastanku, koncentracije nastalog akrilamida kao i moguće metode smanjenja njegova nastanka. Rezultati znanstvenih istraživanja provedenih proteklog desetljeća pokazuju kako se pravilnim odabirom sirovine (odabir sorte, uvjeti skladištenja) i uvjeta procesa pripreme količina nastalog akrilamida u hrani može značajno smanjiti bez nepoželjnih utjecaja na kvalitetu konačnog proizvoda.

**Ključne riječi:** akrilamid, Maillard-ova reakcija, prženje

**Rad sadrži:** 25 stranica, 14 slika, 3 tablice, 52 literaturna 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**

**Acrylamide in fried products**

***Marija Gunjača, 0058205021***

**Abstract:** Acrylamide is potentially human carcinogen compound formed in food stuffs during heat treatment as a result of the Maillard reaction between amino acids and reducing sugars. The aim of this bachelor thesis was to study certain groups of products which form a significant amount of acrylamide during frying, conditions that favour its formation, the concentration of the formed acrylamide and possible methods of reducing its formation based on published literature data. The results of scientific researches conducted over past decade show that with the proper selection of ingredients (variety selection, storage condition) and conditions of preparation processes the amount of acrylamide produced in fried products can be significantly reduced without undesired influence on final product quality.

**Keywords:** acrylamide, frying, Maillard reaction

**Thesis contains:** 25 pages, 14 figures, 3 tables, 52 references, 0 supplements

**Original in:** Croatian

**Final work in printed and electronic (pdf format) version is 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 18<sup>th</sup> 2017

## Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1.    Što je akrilamid?.....	2
2.2.    Nastanak akrilamida u obrađenoj hrani.....	4
2.2.1. Akrilamid u prženim orašastim plodovima.....	6
2.2.2. Akrilamid u prženim bademima.....	7
2.2.3. Akrilamid u prženim lješnjacima.....	9
2.2.4. Akrilamid u prženoj soji.....	10
2.2.5. Akrilamid u prženoj kavi.....	11
2.2.6. Akrilamid u prženim krumpirima.....	13
2.3.    Unos akrilamida u organizam.....	16
2.3.1. Djelovanje akrilamida u ljudskom organizmu.....	18
2.4.    Metode smanjenja količine akrilamida u prženim proizvodima.....	19
3. ZAKLJUČAK.....	21
4. POPIS LITERATURE.....	22

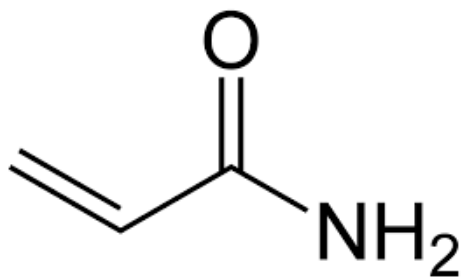
## 1. UVOD

Akrilamid je spoj bez mirisa sa širokom primjenom u različitim industrijama poput kozmetičke industrije, industrije papira i plastike. Odavno je poznato da je akrilamid toksičan i kancerogen spoj. Tek prije 15 godina Švedska agencija za hranu i znanstvenici sa Sveučilišta u Stockholmu utvrdili su prisutnost akrilamida u određenim namirnicama. Razvija se pod utjecajem visoke temperature pri termičkoj obradi prehrambenih namirnica bogatih škrobom i daje im karakterističan okus, boju, izgled i hrskavost. Budući da je toksičnost akrilamida u hrani dokazana na životinjama, a današnja prehrana uključuje veliku količinu pečenih i prženih proizvoda, posljednje desetljeće prehrambena industrija pokušava pronaći načine za smanjenje udjela akrilamida u hrani, a da se pri tome ne naruši kvaliteta okusa i izgleda namirnice. Svrha ovog završnog rada je proučiti uvjete u kojima nastaje akrilamid u pečenim i prženim proizvodima, istražiti prekursore akrilamida, količine u kojima akrilamid nastaje u pojedinoj namirnici, ali i razmotriti koja su moguća rješenja za smanjenje nastanka akrilamida u istim proizvodima.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Što je akrilamid?

Akrilamid ( $C_3H_5NO$ ) je spoj bijele boje bez mirisa koji dolazi u formi kristala. Karakterizira ga mala molekulska masa (71,08g/mol), visoko talište (84,5°C) i vrelište (241°C) te nezapaljivost. Budući da se radi o polarnom spoju topiv je u vodi i alkoholu. Iako je relativno stabilan, u vodenim otopinama ulazi u reakcije polimerizacije pri čemu nastaju poliakrilamidi (Badanjak Sabolović i Rimac Brnčić, 2016). Reakcija polimeriziranja akrilamida odvija se prema shemi slobodnih radikala, a inicira ju amonijev persulfat i tetrametiletilendiamin (TEMED). TEMED ubrzava formiranje slobodnih radikala iz persulfata koji predaju slobodni radikal akrilamidima (monomerima). Tako aktivirani akrilamidi reagiraju sa inaktiviranim monomerima i započinju lančanu reakciju polimerizacije. Kako bi se očuvala njegova stabilnost potrebno ga je držati dalje od visokih temperatura i svjetla (Shi i Jackowski, 1998).



**Slika 1.** Kemijska strukturna formula akrilamida (Badanjak Sabolović i Rimac Brnčić, 2016)

Proizvodnja akrilamida u industrijske svrhe započela je 1954. godine. Konvencionalni proces industrijske proizvodnje započinje hidracijom akrilonitrila sulfatnom kiselinom uz prisutnost soli bakra koje služe kao katalizatori. Kao produkt nastaje otopina akrilamid sulfata koja se neutralizira amonijakom. Iz nastale otopine ekstrahira se akrilamid koji se potom hladi i izolira kao kristalni monomer prikazan na slici 2. Zbog činjenice da navedenim procesom nastaje veća količina nusprodukta, tj. akrilne kiseline nego samog akrilamida, Yasuhisa i sur. 2014. godine otkrili su novi, tzv. mikrobnj enzimski način proizvodnje akrilamida pomoću bakterije *Pseudomonas chlororaphis* B23 i katalizatora nitril hidrataze. Takvim procesom se skoro sav akrilonitril prevodi u akrilamid i provodi se pri znatno nižim temperaturama.



**Slika 2.** Kristalni oblik akrilamida (Zhejiang Xinyong Biochemical Co., Ltd.)

Akrilamid se već dugi niz godina primjenjuje u brojnim industrijama-kozmetičkoj, industriji za proizvodnju papira, boja, ljepila, plastike, organskih kemikalija kao i u tretmanima obrade otpadnih i pitkih voda u svrhu uklanjanja krutih čestica iz vode. O akrilamidu se više počelo govoriti od 2002. godine kada je u sklopu istraživanja koje su provodili znanstvenici Sveučilišta u Stockholmu u suradnji sa Švedskom agencijom za hranu (NFA engl. National Food Agency) otkrivena njegova prisutnost u hrani bogatoj škrobom obrađenoj pri visokim temperaturama. Daljnjim istraživanjima potvrđeno je da se akrilamid formira u mnogim namirnicama pripremljenima procesima prženja ili pečenja dok u sirovim i kuhanim namirnicama uopće nije prisutan.

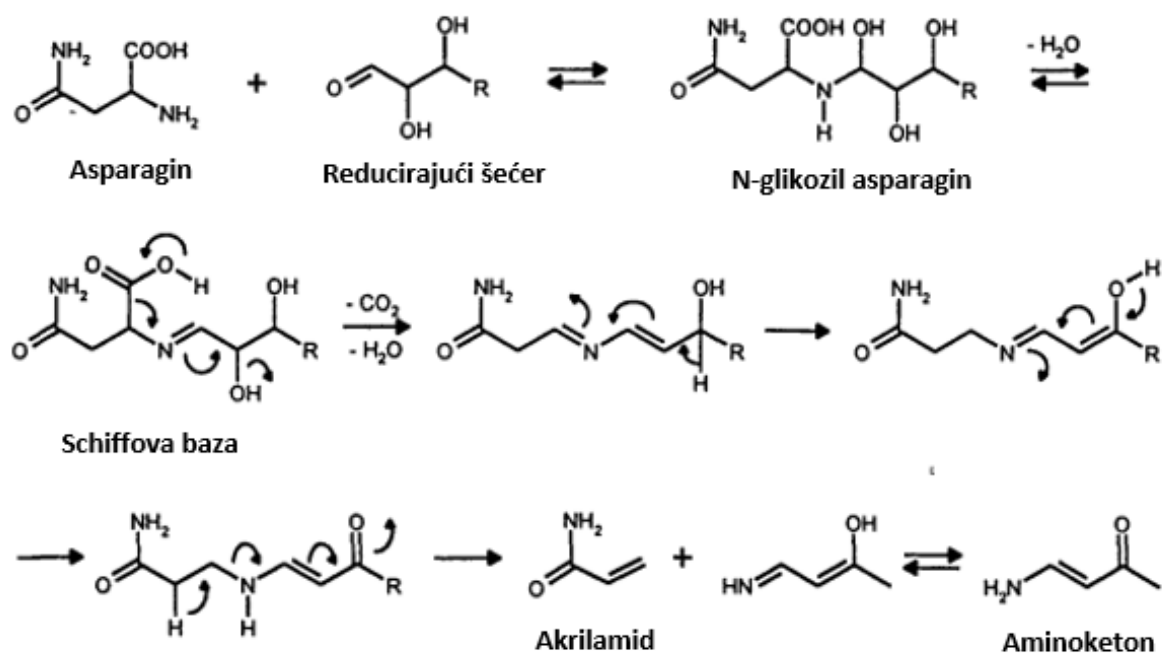
Ova saznanja izazvala su veliku zabrinutost budući se akrilamid od 1994. godine nalazi na popisu Međunarodne agencije za istraživanje raka (IARC engl. International Agency for Research on Cancer) kao vjerojatno kancerogena tvar za ljude što znači da njegova kancerogena svojstva nisu još do kraja istražena (HAH, 2013).

Neke od rizičnih namirnica u kojima češće dolazi do formiranja akrilamida su orašasti plodovi, soja, suho voće, kava, pekarski proizvodi te prženi i pečeni krumpir. Posljednjih se godina intenzivno istražuje mehanizam nastajanja akrilamida u hrani, njegovi učinci u organizmu, procjena izloženosti, kao i eventualni mehanizmi sprečavanja odnosno smanjenja nastanka akrilamida pri obradi hrane (HAH, 2013).



## 2.2. Nastanak akrilamida u obrađenoj hrani

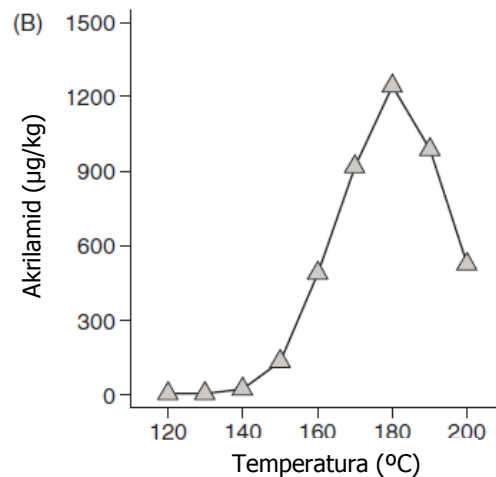
Akrilamid u hranu ne dolazi kao kontaminant iz okoliša već se u hrani formira pri povišenim temperaturama i uvjetima niske vlažnosti (prženje, prženje u dubokom ulju i pečenja) iz njenih prirodno prisutnih sastojaka. Za njegovo nastajanje važna je prisutnost određenih prekursora u hrani, odnosno reducirajućih šećera (glukoza i fruktoza) te aminokiselina (asparagin). Pri povišenim temperaturama i u uvjetima niske vlažnosti, Maillardovom reakcijom između gore navedenih prekursora stvara se akrilamid, ali i drugi produkti odgovorni za stvaranje karakteristične boje, okusa i teksture namirnice (HAH, 2013, Knutsen i sur., 2009). Sami mehanizam nastajanja akrilamida prikazan je na slici 3.



**Slika 3.** Nastanak akrilamida u namirnicama (Blank i sur., 2005)

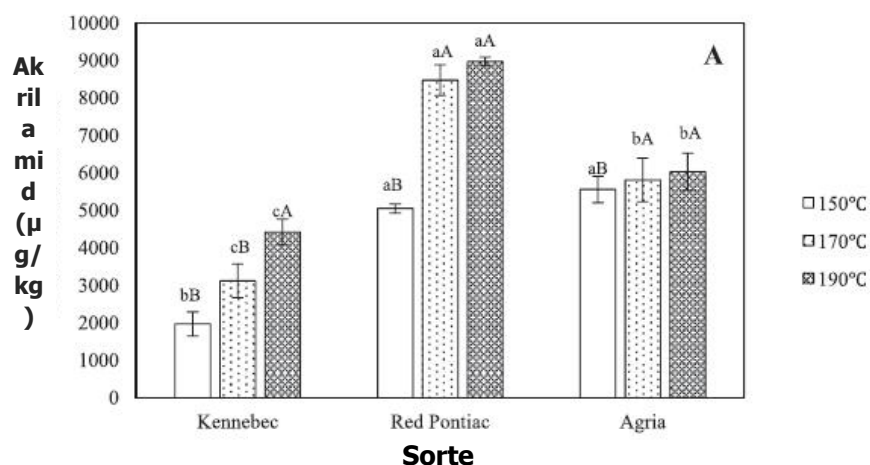
Male promjene u temperaturi i trajanju termičkog procesa mogu dovesti do relativno velikih promjena u količini nastalog akrilamida u gotovom proizvodu (Knutsen i sur., 2009). Kao temperaturni prag za nastanak akrilamida smatra se temperatura od 120°C (EFSA, 2015). Često temperatura i količina nastalog akrilamida u hrani nakon termičke obrade nisu sasvim proporcionalne. To pokazuju rezultati istraživanja koje su proveli Amrein i sur. (2007),

a pratili su nastanak akrilamida prilikom pečenja badema pri temperaturama od 120°C do 200°C. Dobiveni rezultati (slika 4) pokazali su da je u temperaturnom intervalu od 140°C do 180°C porast akrilamida u pečenima bademima proporcionalan s temperaturom dok pri višim temperaturama (190°C i 200°C) dolazi do smanjenja njegove količine.



**Slika 4.** Nastajanje akrilamida u prženim bademima u ovisnosti o temperaturi (Amrein i sur., 2007)

Osim temperature, na količinu nastalog akrilamida utječu i drugi parametri kao što su udio suhe tvari, količina prekursora (asparagina i reducirajućih šećera), samo podrijetlo namirnice, klimatski i agronomski uvjeti rasta, skladištenje namirnica i drugi. Iz navedenih razloga, slične ili identične vrste proizvoda iz iste vrste sirovine (pogotovo krumpira) mogu se uvelike razlikovati po sadržaju akrilamida (Knutsen i sur., 2009). Upravo za krumpir, istraživanja su pokazala kako je sadržaj reducirajućih šećera u sirovini glavni čimbenik koji određuje količinu nastalog akrilamida u različitim proizvodima. Iz toga razloga, kod prženih krumpira sa sličnom bojom i teksturom sadržaj akrilamida jako varira (Knutsen i sur., 2009). Yang i sur. (2016) istraživali su utjecaj temperature prženja u rasponu 150°C-190°C na formiranje akrilamida u prženim krumpirima, u tri različite sorte krumpira (Kennebec, Red Pontiac i Agria). Za razliku od badema, kod prženih krumpira su porast temperature i akrilamida proporcionalni.



**Slika 5.** Utjecaj tri različite temperature prženja na formiranje akrilamida u tri različite sorte krumpira (Yang i sur., 2016)

### 2.2.1. Akrilamid u prženim orašastim plodovima

Prženje orašastih plodova pojačava aromu, omogućuje hrskavu teksturu te povećava nutritivnu vrijednost plodova. Postoji nekoliko načina prženja orašastih plodova, no najčešće se prže u specijaliziranim pećnicama (slika 6) pri temperaturi oko 180°C. Trajanje samog procesa varira od 8 do 12 minuta kada orašasti plodovi poprime zlatno-smeđu boju. Budući da sadrže velike količine ulja, proces prženja poželjno je prekinuti već kada poprime svijetlosmeđu boju budući da se njihovim uklanjanjem sa izvora topline oni i dalje nastavljaju pržiti. Procesom prženja orašasti plodovi postaju lakše probavljivi i brže uzrokuju osjećaj sitosti. Prženje orašastih plodova, osim gore navedenih uloga, ima i preventivnu ulogu. Budući da sirovi orašasti plodovi mogu biti nositelji različitih bakterija kao što je *Salmonella*, tretiranje parom i topline može smanjiti rizik od kontaminacije (Santillana i sur., 2017).



**Slika 6.** Proces prženja badema (Chapel Sweets)

### 2.2.2. Akrilamid u prženim bademima

Badem je orašasti plod iz porodice ruža čiji sastav karakterizira velika količina masti (oko 59,4 g masti u 100 g badema) te podjednaka količina ugljikohidrata (21,7 g ugljikohidrata u 100 g badema) i bjelančevina (21,2 g bjelančevina u 100 g badema) (USDA Food Composition Databases). Upravo zbog podjednake količine ugljikohidrata i bjelančevina bademi se smatraju orašastim plodovima u kojima tijekom termičke obrade iznad 120°C nastaje najveća količina akrilamida. Ta količina doseže čak i 1000 µg/kg (Amrein i sur., 2007). Takav podatak ne iznenađuje budući da bademi sadrže velike količine prekursora akrilamida - aminokiseline asparagina (2000-3000 mg/kg), glukoze i fruktoze (500-1300 mg/kg) te saharoze (2500-5300 mg/kg) (Amrein i sur., 2007). Osim količine asparagina, temperature i udjela suhe tvari, odnosno vode, na količinu formiranog akrilamida također utječe i vrijeme trajanja termičke obrade. Prema istraživanju koje su proveli Amrein i sur. (2005), pri nižoj temperaturi i dužem vremenu termičke obrade formiraju se manje količine akrilamida nego pri višoj temperaturi i kraćem vremenu. Sukladno tome, potvrđeno je da u bademima prženim na temperaturama nižim od 146°C nastaje manje akrilamida. No, niže temperature prženja zahtijevaju i duže vrijeme obrade kako bi se postigla željena boja i

tekstura badema pa se optimalne temperature za termičku obradu badema kreću između 138°C i 146°C (Zhang i sur., 2011).

Osim samih uvjeta prženja badema (temperatura, vrijeme) još jedan čimbenik se pokazao važnim za formiranje akrilamida, a to je podrijetlo badema. U istraživanju koje su proveli Amrein i sur. (2005) ispitano je 18 uzoraka badema različitog podrijetla, uglavnom sa područja Kalifornije i Europe. Rezultati istraživanja pokazali su da sirovi bademi europskog podrijetla sadrže 2,7 puta manje asparagina od onih kalifornijskog podrijetla. U skladu s tim, europski bademi prženi pri dvije različite temperature sadrže 3 puta manje akrilamida od kalifornijskih. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 1.

**Tablica 1.** Količina akrilamida u različitim sortama badema prženim pri dvije različite temperature (Amrein i sur., 2005)

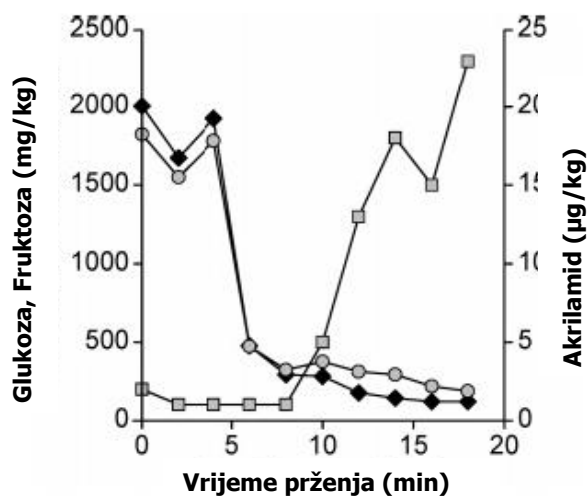
Sorta	Podrijetlo	Glukoza (mg/kg)	Fruktoza (mg/kg)	Saharozna (mg/kg)	Slobodni asparagin (mg/kg)	Slobodne AK (mg/kg)	AA (µg/kg) 145°C 14 min	AA (µg/kg) 165°C 12.5 min
Butte	USA	1610	920	38100	1040	3000	44	712
Carmel	USA	1180	700	32100	2760	5390	200	1681
Nonpareil A	USA	1500	1020	41650	1380	3690	226	1110
Nonpareil B <sup>o</sup>	USA	1260	660	23760	1460	4060	251	1081
Nonpareil C	USA	450	210	45810	1500	4080	356	1265
Fritz	USA	1800	720	35210	2370	5160	67	1556
Monterey	USA	1510	880	39310	1940	4690	166	1333
Padre	USA	2870	1800	50630	1260	3890	185	1243
Nepilus	USA	2320	1520	36930	720	2770	19	504
Mission	USA	1730	1210	47100	1710	4220	234	1462
Price	USA	1380	740	35970	2640	5510	163	1381
Sonora	USA	2160	1250	39460	1330	3660	73	1200
Bitter almonds	Spain	35830	1210	26750	590	2640	105	605
Valencia A	Spain	1230	700	38430	820	2880	129	460
Valencia B	Spain	1660	780	17390	560	2280	73	250
Valencia C <sup>o</sup>	Spain	4010	2580	16110	490	2520	73	312
Largueta <sup>o</sup>	Spain	3320	2290	12380	520	2240	32	202
Longuettes	Spain	1570	790	30900	860	2640	66	664
Avola	Italy	4260	1560	15510	570	2350	95	353

Razlog tomu je veća količina asparagina u sirovim kalifornijskim bademima u odnosu na europske.

Zanimljiva je činjenica da skladištenje prženih badema pogoduje smanjenju količine akrilamida. Skladištenjem prženih badema na sobnoj temperaturi 100 dana količina akrilamida smanji se za otprilike 20-57%. Dok se skladištenjem na sobnoj temperaturi mjesec dana količina akrilamida smanji za približno 6,7%. Najveće smanjenje sadržaja akrilamida zabilježeno je nakon samo 6 dana skladištenja na povišenoj temperaturi (60°C) i iznosilo je 55,5%. Skladištenje na temperaturama iznad 80°C uzrokuje porast količine akrilamida što se može pripisati oksidaciji masti (Zhang i sur., 2011).

### 2.2.3. Akrilamid u prženim lješnjacima

Lješnjak je orašasti plod okruglog ili ovalnog oblika izvana zaštićen čvrstom ljuskom. Kao i badem, bogat je nezasićenim i polinezasićenim masnim kiselinama (53 g masti u 100 g lješnjaka), bjelančevinama (14,9 g bjelančevina u 100 g lješnjaka) i ugljikohidratima (23 g ugljikohidrata u 100 g lješnjaka) (USDA Food Composition Databases). U usporedbi s bademima, lješnjaci sadrže manje količine bjelančevina, a samim time i manje količine asparagina. Utvrđeno je da lješnjaci sadrže čak i do 40 puta manje asparagina od sirovih badema. Od svih aminokiselina prisutnih u lješnjacima na asparagin otpada svega 2%. Dokaz tomu je i podatak da prženjem lješnjaka na 165°C 12,5 minuta nastaje samo 60 µg akrilamida po kilogramu lješnjaka, dok prženjem badema na istoj temperaturi u jednakom vremenu nastaje čak oko 900 µg akrilamida po kilogramu badema (Amrein i sur., 2005). Također, tijekom procesa prženja proporcionalno s utroškom reducirajućih šećera raste i količina akrilamida u prženim lješnjacima što se jasno vidi na slici 7.

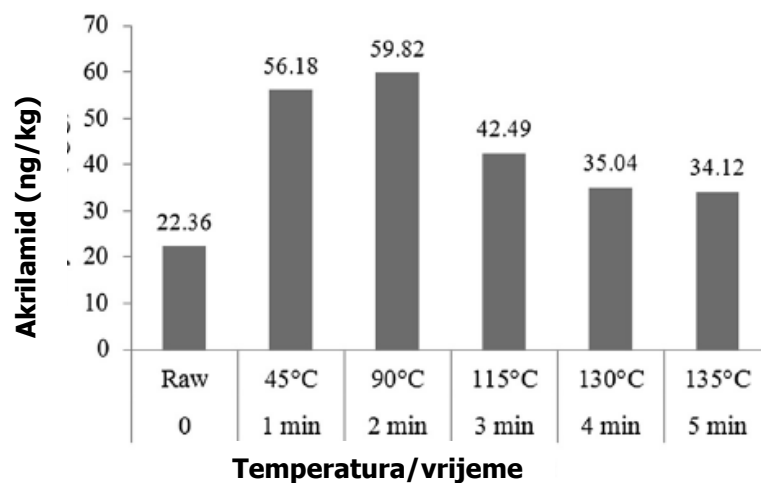


**Slika 7.** Potrošnja reducirajućih šećera i nastanak akrilamida tijekom prženja lješnjaka (Amrein i sur., 2005)

Obzirom na manju količinu formiranog akrilamida kod prženih lješnjaka, on ne pridonosi tamnosmeđoj boji ploda, kao što je to slučaj kod badema. Ono o čemu intenzitet smeđe boje lješnjaka ovisi je aktivitet vode. Što je veći aktivitet vode to će smeđa boja lješnjaka biti intenzivnija. Kako bi se lakše kontrolirala željena boja lješnjaka provodi se proces sušenja prije samog pečenja kako bi se u startu smanjio aktivitet vode (Özdemir i sur., 2001).

#### 2.2.4. Akrilamid u prženoj soji

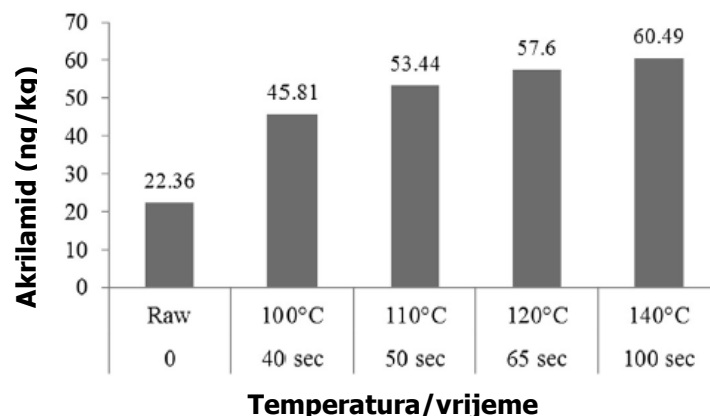
Soja je mahunarka podrijetlom iz istočne Azije koja se učestalo konzumira diljem svijeta. Soja i proizvodi od soje sveprisutni su u današnjoj prehrani čovjeka te se čak smatraju superhranom. Soja sadrži 19,94 g masti, 30,16 g ugljikohidrata i 36,49 g bjelančevina u 100 g namirnice (USDA Food Composition Databases). Zbog svog sastava proteina i anti-nutritivnih komponenti poput tripsin-inhibitora i lektina, soja se prije konzumacije mora termički obraditi što stvara povoljne uvjete za pokretanje Maillardovih reakcija i nastanka raznih kontaminanata među kojima su i akrilamidi. Proces prženja soje odvija se pri visokim temperaturama (130°C-150°C) u kratkom vremenu. Prženje se može obavljati na dva načina: prženjem sojinih zrna plamenom ili prženje vrućim zrakom. Proces prženja soje mora biti strogo kontroliran kako bi se postiglo uklanjanje anti-nutritivnih komponenti, a istovremeno spriječilo zagaranje i smanjenje kvalitete proteina. Gledajući nutritivni sastav, zbog velike količine proteina soja ima i veći udio asparagina što rezultira formiranjem veće količine akrilamida. Udio asparagina u soji kreće se od 9,57% do 11,27% od ukupnog sadržaja aminokiselina (Žilić, 2015). Prema istraživanju Žilić (2015) sadržaj akrilamida u soji tretiranoj mikrovalovima postepeno raste do temperature 90°C, a daljnjim porastom temperature se smanjuje, kao što je i prikazano na slici 8.



**Slika 8.** Koncentracija akrilamida u soji tretiranoj mikrovalovima (Žilić, 2015)

U usporedbi s mikrovalovima, utjecaj infracrvenog zračenja pokazao je puno veći utjecaj na soju, kako je i prikazano na slici 9. Porastom temperature sadržaj akrilamida proporcionalno raste čemu pridonosi postupno povećanje udjela suhe tvari tijekom termičkog procesa (Žilić,

2015). Zanimljiva je činjenica da proizvodi od soje poput kruha, krepera i žitarica istovremeno imaju visok udio vode i visok udio akrilamida (Žilić, 2015).



**Slika 9.** Koncentracija akrilamida u soji tretiranoj infracrvenim zračenjem (Žilić, 2015)

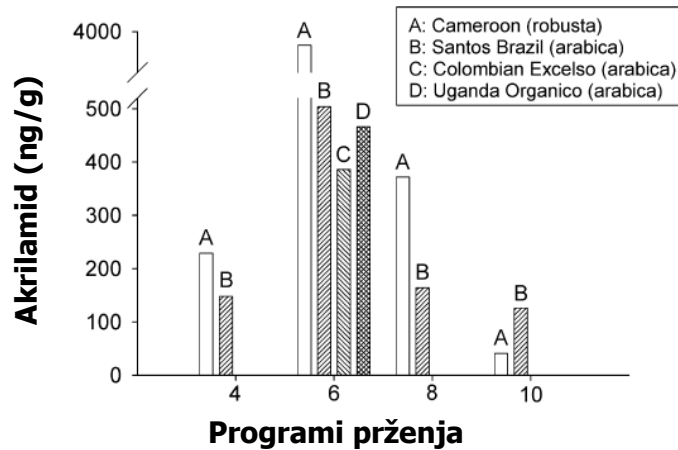
#### 2.2.5. Akrilamid u prženoj kavi

Kava je biljka podrijetlom iz Afrike čiji plodovi dozrijevaju u periodu od travnja do lipnja. Upravo u tom periodu obavlja se berba bobica kave koje se potom čiste, suše, sortiraju i naposljetku prže. Proces prženja nezaobilazan je u proizvodnji kave jer izvlači aromu i okus iz zrelog sirovog zrna kave. Prženje uzrokuje kemijske promjene u kavi i smanjuje njenu vlažnost čime kava postaje pogodna za konzumaciju. Postoji oko 25 poznatih sorti kave, no 3 su najčešće – *Arabica*, *Liberica* i *Robusta* (National Coffee Association).

Određivanje sadržaja akrilamida u kavi od velike je važnosti budući da je to napitak koji se svakodnevno konzumira diljem svijeta. Sav akrilamid prisutan u zrnju kave ili prahu prelazi u tekuću fazu prilikom pripreme napitka zbog toga što je sam akrilamid topiv u vodi. Proces prženja kave odvija se pri visokim temperaturama (240°C-300°C) pa je u skladu s tim očekivano da će tijekom procesa doći do formacije velike količine akrilamida. Međutim, istraživanje Bagdonaite i sur. provedeno na kavama vrste *Arabica* i *Robusta* pokazalo je slijedeće podatke: udio akrilamida u kavi doseže maksimum u prvim minutama izlaganja visokim temperaturama (3800 ng/g kod vrste *Robusta* te 500 ng/g kod vrste *Arabica*) te se tijekom trajanja procesa smanjuje (Bagdonaite i sur., 2008). Osim o temperaturi, količina formiranog akrilamida tijekom procesa prženja kave ovisi i o samoj vrsti i podrijetlu kave. Bagdonaite i sur. (2008) proučavali su razlike u količinama nastalog akrilamida u kavama

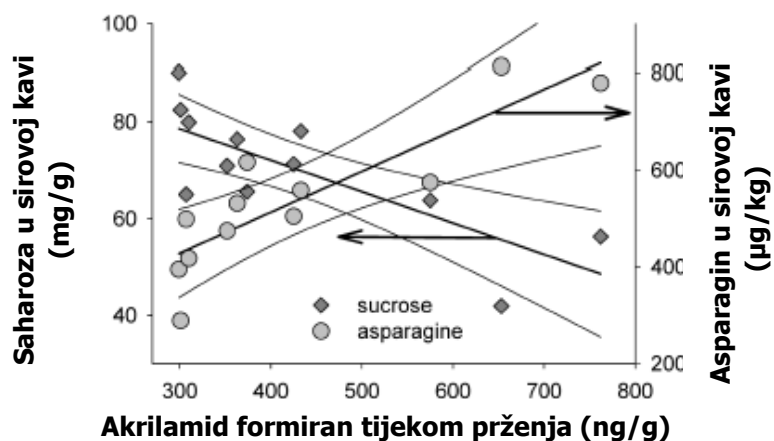


različite sorte i podrijetla, a dobiveni rezultati prikazani su na slici 10. Rezultati su pokazali da je najviše akrilamida nastalo u kavi sorte *Robusta* prilikom prženja na temperaturi od 240°C u trajanju od 6, 7.5 i 12 minuta. Prženjem pri navedenoj temperaturi 14.5 minuta najviše akrilamida formirano je u kavi sorte *Arabica*.



**Slika 10.** Udio akrilamida u raznim vrstama kave tijekom prženja na 240°C (Bagdonaite i sur., 2008)

Sorta *Arabica* ima manje aminokiseline asparagina (oko 500 µg/kg) nego sorta *Robusta* (oko 800 µg/kg). Što se tiče drugih prekursora formiranja akrilamida u kavi, sadržaj saharoze u sorti *Robusta* iznosi približno 50 mg/kg, a u vrsti *Arabica* oko 80 mg/kg. Također, analiza više uzoraka kave različitog podrijetla pokazala je da je sadržaj saharoze obrnuto proporcionalan količini formiranog akrilamida, što se može vidjeti na slici 11, a sadržaj asparagina proporcionalan količini formiranog akrilamida (Bagdonaite i sur., 2008).



**Slika 11.** Ovisnost nastanka akrilamida o količini saharoze i asparagina u kavi (Bagdonaite i sur., 2008)

Ispitivan je također i utjecaj temperature i duljine trajanja termičkog procesa na količinu formiranog akrilamida. Rezultati pokazuju da najviše akrilamida nastaje prilikom prženja kave na nižim temperaturama (220°C) u kratkom vremenskom periodu (5 min), dok prženjem kave duže od 15 minuta na bilo kojoj temperaturi akrilamid nestaje što se objašnjava njegovom termičkom razgradnjom (Bagdonaite i sur., 2008).



**Slika 12.** Proces prženja kave (Jessie's Cafe)

#### 2.2.6. Akrilamid u prženim krumpirima

Krumpir je namirnica bogata škrobom koju je prije konzumacije potrebno termički obraditi kako bi bila probavljiva za ljudski probavni sustav. Upravo je krumpir jedna od namirnica koja nakon termičke obrade prženja ili pečenja predstavlja jedan od najvećih izvora prehranbenog akrilamida.

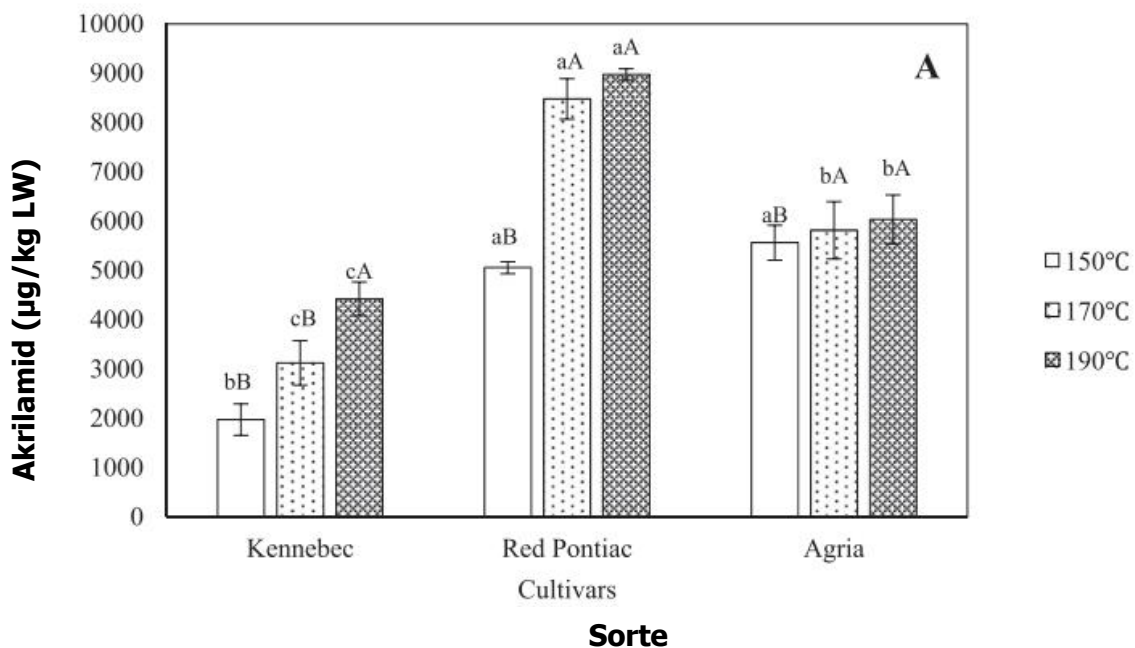
Prema istraživanju Vinci i sur. (2012) koncentracija asparagina u krumpiru je puno veća od koncentracije reducirajućih šećera što ukazuje na to da su upravo oni limitirajući faktor nastanka akrilamida. Istraživanje koje su proveli Halford i sur. (2012) dokazuje da nastajanje akrilamida u pečenom krumpiru ovisi o količini reducirajućih šećera ukoliko krumpir sadrži veće količine istih. Ali, ukoliko u krumpiru nema puno reducirajućih šećera

količina akrilamida nastalog tijekom pečenja ovisit će o količini asparagina. Kada se uzmu u obzir rezultati provedenih istraživanja, može se zaključiti da količina nastalog akrilamida najviše ovisi o sorti krumpira. Sorte se međusobno razlikuju prema sadržaju reducirajućih šećera i asparagina. Primjerice, u istraživanju koje su proveli Yang i sur. (2016) navedene su tri sorte krumpira – Kennebec, Red Pontiac i Agria, kao i razlike u sadržaju navedenih prekursora za formiranje akrilamida (tablica 2). Može se primijetiti da je sorta Red Pontiac izuzetno bogata šećerima, dok sorta Agria sadrži najviše aminokiseline asparagina, a najmanje reducirajućih šećera.

**Tablica 2.** Sadržaj prekursora akrilamida u tri različite sorte krumpira (Yang i sur., 2016)

	<b>Asparagin (g/kg)</b>	<b>Glukoza (g/kg)</b>	<b>Fruktoza (g/kg)</b>
<b>Kennebec</b>	2,03	1,26	0,85
<b>Red Pontiac</b>	2,54	3,14	1,76
<b>Agria</b>	3,21	0,69	0,69

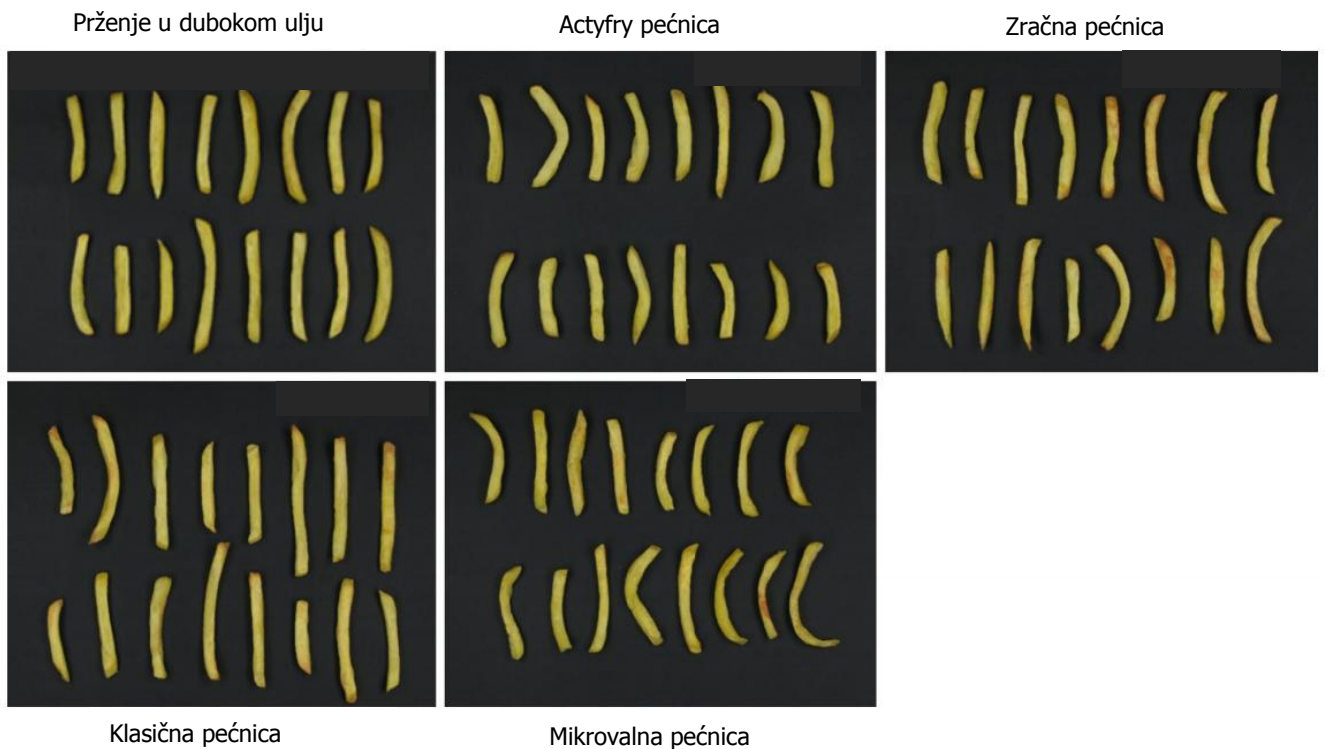
Na količinu formiranog akrilamida, osim sorte krumpira, utječu kao i kod ostalih spomenutih namirnica, temperatura prženja, vrijeme prženja, sorta krumpira, količina asparagina i reducirajućih šećera te vlažnost namirnice. Za komercijalnu proizvodnju prženih krumpirića najpoželjniji su krumpiri čija se koncentracija reducirajućih šećera kreće ispod 3 g/kg (Yang i sur., 2016). Što se tiče temperature prženja, vrijedi pravilo da se povećanjem temperature prženja povećava i količina nastalog akrilamida. Na primjeru prženja tri različite sorte krumpira pri tri različite temperature promatrana je količina nastalog akrilamida (Yang i sur., 2016). Rezultati istraživanja prikazani su na slici 13. Prema dobivenim rezultatima količina nastalog akrilamida ovisi o sorti krumpira te o temperaturi obrade. U sve tri sorte krumpira povećanjem temperature prženja dolazi do stvaranja veće količine akrilamida u gotovom proizvodu. No navedene promjene se uvelike razlikuju između ove tri sorte. Količina nastalog akrilamida u sorti Kennebec raste proporcionalno porastom temperature prženja, dok kod sorte Red Pontiac značajno poraste kada se temperatura povisi sa 150°C na 170°C. Između 170°C i 190°C zabilježen tek mali porast. Promjena temperature prženja kod sorte Adria tek je neznatno utjecala na povećanje količine nastalog akrilamida. Najviše akrilamida utvrđeno je kod sorte Red Pontiac, koja ujedno sadrži i najveću količinu reducirajućih šećera, pri temperaturama prženja 170°C i 190°C.



**Slika 13.** Ovisnost količine nastalog akrilamida o temperaturi kod tri različite sorte krumpira (Yang i sur., 2016)

Zanimljiv je utjecaj vrste ulja koje se koristi u procesu prženja na količinu formiranog akrilamida. Ulja se međusobno razlikuju prema svojem koeficijentu provodljivosti topline. Prženjem u ulju sa većim koeficijentom provodljivosti topline stvara se deblja korica na prženim krumpirićima, a upravo se u toj korici nalazi najveća količina akrilamida. Kako bi se smanjilo formiranje akrilamida preporučeno je koristiti ulja sa manjim koeficijentom provodljivosti topline (Zhang i sur., 2015). Različiti načini termičke obrade krumpira također rezultiraju različitom količinom nastalog akrilamida, što je dokazano u istraživanju Giovanelli i sur. (2017). Spomenuti autori u svom istraživanju promatrali su utjecaj pet različitih vrsta termičke obrade (prženje u dubokom ulju, u klasičnoj pećnici, u zračnoj pećnici, u mikrovalnoj pećnici i u Actyfy pećnici) na formiranje akrilamida u istoj sorti krumpira. Istraživanjem se pratila boja, količina nastalog akrilamida i količina masti u pečenim krumpirićima. Rezultati su pokazali slijedeće: izgledom se pečeni krumpirići nisu previše razlikovali, osim onih pečenih u zračnoj pećnici čiji su krajevi bili izrazito tamniji (slika 14). Količina akrilamida bila je najveća u krumpirićima pečenim u mikrovalnoj pećnici (oko 410 µg/kg) što je veoma iznenađujuće budući da termičkom obradom u mikrovalnoj pećnici

temperatura u obrađivanoj namirnici ne prelazi 100°C. Ovu pojavu autori istraživanja objašnjavaju dužim vremenom „predkuhanja“ što uzrokuje brže isušivanje središta krumpirića. Niža vlažnost namirnice pogoduje Maillardovim reakcijama, a time i nastajanju akrilamida. S druge strane, najveća vlažnost postignuta je pečenjem krumpirića u klasičnoj pećnici, a time i najmanja količina akrilamida (oko 48 µg/kg).



**Slika 14.** Usporedba izgleda krumpirića podvrgnutih različitim termičkim procesima (Giovanelli i sur., 2017)

### 2.3. Unos akrilamida u organizam

Unos akrilamida u ljudski organizam povećava se paralelno s razvojem prehrambene industrije. Godine 2015. Europska agencija za sigurnost hrane (EFSA) je objavila Izvješće o akrilamidu u hrani. U tom izvješću klasificirane su namirnice s obzirom na količinu akrilamida kao što je prikazano u tablici 3. Također se navodi i koje skupine namirnica najviše pridonose unosu akrilamida kod svake dobne skupine.

Kod **dojenčadi** unosu akrilamida najviše pridonosi hrana za dojenčad na bazi žitarica kojom se unosi čak 60% od ukupnog unosa akrilamida. Ostala hrana za dojenčad koja nije na bazi žitarica čini 30% od ukupnog unosa akrilamida. Kao rizičnima za ovu dobnu skupinu navode se još i biskviti i krekeri čiji je udio oko 29% od ukupnog unosa akrilamida, žitarice, na koje se odnosi 20% od ukupnog unosa akrilamida i kruh sa sličnim udjelom kao i žitarice – 19%.

U prehrani **djece** i **adolescenata** akrilamid se najviše unosi konzumiranjem prženih proizvoda od krumpira čiji udio u njegovom ukupnom unosu iznosi 51%. Potom slijede kruh, žitarice, biskviti i krekeri čiji udio doseže čak i do 25% od ukupnog unosa akrilamida te kolači i tjestenina koji su u ovoj dobnoj skupini odgovorni za 15% od ukupnog unosa akrilamida.

Za **odrasle** i **starije ljude** također su rizični prženi proizvodi od krumpira. Oni pridonose ukupnom unosu akrilamida unutar ove dobne skupine sa 49%. Zatim slijedi kruh sa 23% od ukupnog unosa akrilamida. No, kod ove dobne skupine očekivano postoji i još jedna vrlo bitna skupina namirnica koja doprinosi unosu akrilamida sa 34%, a to je kava (instant i pržena). Biskviti, krekeri i ostali proizvodi od krumpira također imaju veliki udio (24%) u unosu akrilamida kod ove dobne skupine.

**Tablica 3.** Količina akrilamida u pojedinoj namirnici (EFSA, 2015)

<b>Namirnice</b>	<b>Akrilamid (<math>\mu\text{g}/\text{kg}</math>)</b>
Prženi krumpirići	600
Krekeri od krumpira	1000
Pšenični kruh	80
Ostale vrste kruha	150
Žitarice od cjelovitog zrna	400
Pšenične i rižine pahuljice	300
Kukuruzne, pirove i zobene pahuljice	200
Biskviti i vafli	500
Krekeri bez krumpira	500
Dvopek	450
Medenjaci	1000
Pržena kava	450
Instant kava	900
Zamjena za kavu na bazi žitarica	2000
Ostale zamjene za kavu	4000
Dječja hrana sa suhim šljivama	50
Dječja hrana bez suhih šljiva	80
Biskviti i dvopeci za dojenčad i malu djecu	200
Prerađeni proizvodi od žitarica za dojenčad i malu djecu	50

### 2.3.1. Djelovanje akrilamida u ljudskom organizmu

Zadnjih 20-ak godina mnogo je istraživanja provedeno vezano za nastanak akrilamida u hrani i njegovom djelovanju u organizmu. Rezultati istraživanja na glodavcima pokazali su da se akrilamid u organizmu sisavaca transformira u glicidamid te se veže na DNA, hemoglobin i proteine krvne plazme, što potencijalno može uzrokovati karcinom.

Postoji više mehanizama kojima akrilamid toksično djeluje na ljudski organizam. Jedan od njih je mogućnost oštećenja distalnih aksona u centralnom i perifernom živčanom sustavu, što može uzrokovati neurološka oštećenja (Duda-Chodak i sur., 2016). Budući da je male molekulske mase, nakon konzumacije akrilamid se vrlo brzo apsorbira i prenosi cijelim organizmom. Prvi korak je oksidacija akrilamida u citokromu P450 do glicidamida. Tu se metabolizam akrilamida dijeli na dva moguća mehanizma – oksidativni i reduktivni. Nastali glicidamid se oksidativnim mehanizmom hidrolizira do manje aktivnog gliceramida topivog u vodi koji se zatim izlučuje urinom ili se reduktivnim mehanizmom konjugira sa glutationom i zatim transformira u konjugate merkapturne kiseline koji se također izlučuju urinom. U ljudskom organizmu češće se odvija reduktivni mehanizam metaboliziranja akrilamida.

Smanjenje koncentracije glutationa potencijalno je odgovorno za toksični učinak akrilamida uzrokujući nakupljanje reaktivnih kisikovih čestica koje uzrokuju oksidativni stres. Uz navedeno, mogući je i mehanizam razgradnje akrilamida pomoću mikrobnih amidaza budući da neki mikroorganizmi koriste akrilamid i glicidamid kao izvor ugljika potrebnog za rast (Duda-Chodak i sur., 2016).

#### 2.4. Metode smanjenja količine akrilamida u prženim proizvodima

Pred prehrambenom industrijom je veliki izazov, a to je smanjiti količinu akrilamida u određenom prehrambenom proizvodu na razinu koja nije štetna te pri tome zadržati senzorske karakteristike proizvoda poput boje, hrskavosti i karakterističnog okusa. Budući da količina asparagina i reducirajućih šećera, prekursora akrilamida, varira s obzirom na vrstu i podrijetlo namirnice, jedna od metoda je koristiti namirnice s manjom koncentracijom prekursora. Osim selekcije namirnica, postoje i druge metode smanjenja količine akrilamida u prženim proizvodima koje se dijele u tri glavne skupine - biološke metode, fizikalne metode i kemijske metode (Xu i sur., 2014).

**Biološke metode** smanjenja količine akrilamida u prženim proizvodima podrazumijevaju reduciranje količine asparagina i reducirajućih šećera iz sirove namirnice genetičkim inženjerstvom ili asparginazom koja se izolira iz *Bacillus subtilis* sp. Asparginaza djeluje na način da reducira asparagin u aspartatnu kiselinu i amonijak. Primjenom asparginaze otporne na pH, temperaturu i prisutnost metalnih iona moguće je smanjiti udio akrilamida u prženim proizvodima za 90-95% (Gaurav i sur., 2016).

**Fizikalne metode** podrazumijevaju promjenu određenih parametara procesa obrade namirnica poput temperature termičkog procesa, vremena trajanja procesa i vlažnosti



namirnice. Prema istraživanju Granda i sur. (2004) vakuumsko prženje krumpirića pri nižim temperaturama kraće vrijeme za posljedicu ima redukciju količine akrilamida za 90% u odnosu na standardni način prženja krumpirića. Za razliku od prženih krumpirića, kod kave se preporuča dulje vrijeme prženja jer je dokazano da prženje kave dulje od 15 minuta uzrokuje smanjenje količine akrilamida (Granby i Fagt, 2004). Niti u jednom istraživanju nije dokazano da kuhanjem nastaje akrilamid, pa se ta vrsta termičke obrade također može navesti kao jedna od metoda prevencije formiranja akrilamida. Kod namirnica bogatih mastima smanjenje početnog sadržaja vode rezultirat će nastankom manje količine akrilamida (De Vleeschouwer i sur., 2007). **Kemijske metode** podrazumijevaju ekstrakciju prekursora akrilamida ili dodatak drugih aminokiselina prije termičkog procesa. Alanin, glutamin, lizin, glicin i cistein dodaju se namirnicama prije termičke obrade jer su oni kompetitivni asparaginu te reagiraju sa reducirajućim šećerima pri čemu ne nastaje akrilamid kao produkt (Kim i sur., 2005). Također, povećavanje kiselosti namirnice ispod pH vrijednosti 6 reducira količinu akrilamida koji nastaje (Friedman i Levin, 2008). Utjecaj antioksidansa na formaciju akrilamida očituje se u „hvatanju“ slobodnih radikala, tj. intermedijera Maillardovih reakcij (Friedman i Levin, 2008).

### 3. Zaključak

Akrlamid je potencijalno genotoksični spoj koji se formira pri uobičajenim procesima prženja brojnih namirnica poput orašastih plodova, krumpirića, soje i sojinih proizvoda te kave, ali i pri procesima pečenja pekarskih proizvoda tj. proizvoda od tijesta. Budući da su navedene namirnice veoma zastupljene u ljudskoj prehrani diljem svijeta i njihova konzumacija rasta proporcionalno s razvojem prehrambene industrije, nužno je razmotriti metode smanjenja formiranja akrilamida tijekom prženja i pečenja. Kako su od otkrića akrilamida u hrani provedena brojna istraživanja, prema dobivenim rezultatima neke od metoda njegova smanjenja već su utvrđene. Slijedeći koraci koji vode smanjenju nastajanja akrilamida prilikom obrade namirnica prženjem i pečenjem podrazumijevaju primjenu metoda u prehrambenoj industriji kao i nastavak istraživanja o daljnjim postupcima koji bi pridonijeli smanjenju nastanka ovog potencijalno kancerogenog spoja.

#### 4. Popis literature

Amrein T.M., Andres L., Escher F., Amado R. (2007) Occurrence of acrylamide in selected foods and mitigation options. *Food Additives and Contamination* **24(S1)**: 13-25

Amrein T.M., Lukac H., Andres L., Perren R., Escher F., Amado R. (2005) Acrylamide in Roasted Almonds and Hazelnuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**: 7819-7825

Anese M., Manzocco L., Calligaris S., Nicoli M.C. (2013) Industrially Applicable Strategies for Mitigating Acrylamide, Furan, and 5-Hydroxymethylfurfural in Food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **61**: 10209-10214

Asano Y., Yasuda T., Tani Y., Yamada H. (2014) A New Enzymatic Method of Acrylamide Production. *Agricultural and Biological Chemistry* **46(5)**: 1183-1189

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

Bagdonaite K., Derler K., Murkovic M. (2008) Determination of Acrylamide during Roasting of Coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**: 6081-6086

Becalski A., Lau B.P.Y., Lewis D., Seaman S.W. (2003) Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**: 802-808

Blank I., Robert F., Goldmann T., Pollien P., Varga N., Devaud S., Saucy F., Huynh-Ba T., Stadler R.H. (2005) Mechanisms of acrylamide formation: Maillard-induced transformation of asparagine. *Advances in Male Mediated Developmental Toxicity* **561**: 171-189

Chapel Sweets, <<http://www.chapelsweets.com>> Pristupljeno 19. svibnja 2017.

De Vleeschouwer K., Plancken I.V.D., Van Loey A., Hendrickx M.E. (2007) Kinetics of acrylamide formation/elimination reactions as affected by water activity. *Biotechnology Progress* **23**: 722-728

Duda-Chodak A., Wajda T., Tarko T., Sroka P., Satora P. (2016) A review of interactions between acrylamide, microorganisms and food components. *Food & Function* **7**: 1282-1295

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain) (2015) Scientific opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal* **13(6)**:4104

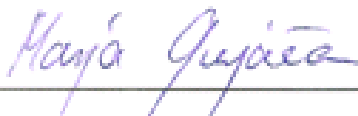
- Fiselier K., Bazzocco D., Gama-Baumgartner F., Grob K. (2006) Influence of the frying temperature on acrylamide formation in French fries. *European Food Research And Technology* **222**: 414-419
- Friedman M. (2003) Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural 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
- Gaurav S., Kapil B., Devendra V., Tejas O., Gaurav D., Prashant K., Navin S. (2016) Mitigation of acrylamide by l-asparaginase from *Bacillus subtilis* KDPS1 and analysis of degradation products by HPLC and HPTLC. *SpringerPlus* **5**: 553
- Giovanelli G., Torri L., Sinelli N., Buratti S. (2017) Comparative study of physico-chemical and sensory characteristics of French fries prepared from frozen potatoes using different cooking system. *European Food Research And Technology*
- Granby K., Fagt S. (2004) Analysis of acrylamide in coffee and dietary exposure to acrylamide from coffee. *Analytica Chimica Acta* **520**: 177–182
- Granda C., Moreira R.G., Tichy S.E. (2004) Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science* **69**: 405–411.
- HAH (2013) Hrvatska agencija za hranu, <<http://www.hah.hr>> Pristupljeno 14. Svibnja 2017.
- Halford N.G., Muttucumaru N., Powers S.J., Gillatt P.N., Hartley L., Elmore J.S. (2012) Concentrations of free amino acids and sugars in nine potato varieties: effect of storage and relationship with acrylamide formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60(48)**: 12044-12055
- Hosseini H., Ghorbani M., Meshginfar N., Mahoonak A.S. (2016) A Review on Frying: Procedure, Fat, Deterioration Progress and Health Hazards. *Journal of the American Oil Chemists Society* **93**: 445-466
- Jessie 's Cafe, <<http://jessiescafe.au>> Pristupljeno 19. svibnja 2017.
- Kim C.T., Hwang E.S., Lee H.J. (2005) Reducing acrylamide in fried snack products by adding amino acids. *Journal of Food Science* **70**: 354–358

- Knutsen S.H., Dimitrijevic S., Molteberg E.L., Segtnan V.H., Kaaber L., Wicklund T. (2009) The influence of variety, agronomical factors and storage on the potential for acrylamide formation in potatoes grown in Norway. *LWT-Food Science and Technology* **42**: 550-556
- Matthys C., Bilau M., Govaert Y., Moons E., De Henauw S., Willems J.L. (2005) Risk assessment of dietary acrylamide intake in Flemish adolescents. *Food and Chemical Toxicology* **43**: 271–278
- National Coffee Association, <<http://www.ncausa.org>> Pristupljeno 19. svibnja 2017.
- Özdemir M., Seyhan F.G., Bakan A.K., Ilter S., Özay G., Devres O. (2001) Analysis of internal browning of roasted hazelnuts. *Food Chemistry* **73**: 191-196
- Santillana Farakos M.S., Pouillot R., Keller S.E. (2017) Salmonella Survival Kinetics on Pecans, Hazelnuts, and Pine Nuts at Various Water Activities and Temperatures. *Journal of Food Protection* **17**: 879-885
- Shi Q., Jackowski G. (1998) One-dimensional polyacrylamide gel electrophoresis. U: Gel electrophoresis of proteins: A practical approach, 3. izd., Hames B.D., ur., IRL Press/Oxford University Press, NewYork, str. 1–52
- USDA Food Composition Databases, <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>> Pristupljeno 21. svibnja 2017.
- Vattem D.A., Shetty K. (2003) Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **4**: 331–338
- Vinci R.M., Mestdagh F., Meulenaer B.D. (2012) Acrylamide formation in fried potato products- presents and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry* **133(4)**: 1138-1154
- Wicklund T., Knutsen S.H., Østlie H., Lothe O., Bråthen E., Kita A. (2006) Acrylamide in potato crisp-the effect of raw material and processing. *LWT-Food Science and Technology* **39**: 571-575
- Xu Y., Cui B., Ran R., Liu Y., Chen H., Kai G., Shi J. (2014) Risk assessment , formation, and mitigation of dietary acrylamide: Current status and future prospects. *Food and Chemical Toxicology* **69**: 1-12
- Yamada H., Kobayashi M. (2014) Nitrile Hydratase and Its Application to Industrial Production of Acrylamide. *Bioscience Biotechnology And Biochemistry* **60(9)**: 1391-1400

- Yang Y., Achaerandio I., Pujola M. (2016) Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries. *Food Control* **62**: 216-223
- Yasuhisa A., Takamune Y., Yoshiki T., Hideaki Y. (2014) A New Enzymatic Method of Acrylamide Production. *Agricultural and Biological Chemistry* **46(5)**: 1183-1189
- Zhang G., Huang G., Xiao L., Seiber J., Mitchell A.E. (2011) Acrylamide Formation in Almonds (*Prunus dulcis*): Influences of Roasting Time and Temperature, Precursors, Varietal Selection, and Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **59**: 8225-8232
- Zhang H., Zhang H., Cheng L., Wang L., Qian H. (2015) Influence of deep-frying using various commercial oils on acrylamide formation in French fries. *Food Additives and Contamination. Part A*, **32(7)**: 1083-1088
- Zhang Y., Zhang Y. (2007) Formation and reduction of acrylamide in Maillard reaction: a review based on the current state of knowledge. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **47**: 521-542
- Zhejiang Xinyong Biochemical Co., Ltd., <<http://www.acrylamide.cn>> Pristupljeno 17. svibnja 2017.
- Žilić S. (2015) Acrylamide in Soybean Products, Roasted Nuts, and Dried Fruits. *Acrylamide in Food: Analysis, Content and Potential Health Effects*, 1. izd., str. 197-213

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.*

  
ime i prezime studenta