

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra kvality a bezpečnosti potravin



Pozitivní a negativní význam akrylamidu v pekařských výrobcích

Bakalářská práce

Barbora Hromasová

Výživa a potraviny

Ing. Oldřich Faměra, CSc.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Pozitivní a negativní význam akrylamidu v pekařských výrobcích" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.6.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Oldřichu Faměrovi, CSc. za metodické vedení, poskytnuté materiály a odborné konzultace, které mi poskytl při zpracování mé bakalářské práce.

Pozitivní a negativní význam akrylamidu v pekařských výrobcích

Souhrn

Akrylamid je bílá krystalická látka bez zápachu, která existuje ve dvou formách, jako monomer či polymer. Polymerní forma akrylamidu zvaná polyakrylamid má široké průmyslové využití a na rozdíl od monomerní formy není považován za látku toxickou.

Chemický proces, jehož výsledkem je tvorba akrylamidu v potravinách, se nazývá Maillardova reakce. Jde o reakci aminokyselin s redukujícími cukry. Akrylamid se tvoří tepelnými úpravami potravin při teplotách nad 120 °C.

Negativní význam akrylamidu spočívá v tom, že vykazuje několik zdravotně závažných účinků najednou. Jedná se o účinky neurotoxické, karcinogenní, mutagenní, genotoxické a byl prokázán i negativní vliv na reprodukci. Současně akrylamid u výrobků vytváří požadované sensorické vlastnosti, tedy barvu, typickou chuť a vůni.

Akrylamid se nejčastěji vyskytuje ve smažených výrobcích z brambor, v pekařských výrobcích či v pražené kávě a kávovinách. Vliv na vznik akrylamidu v potravinách mají především suroviny použité pro výrobu a jejich složení, vodní aktivita, pH, čas a teplota při jejich tepelné úpravě.

Evropská unie vydala v roce 2017 nařízení, kterým stanovila zmírňující opatření a porovnávací hodnoty pro snížení přítomnosti akrylamidu v potravinách. V České republice byl v roce 2018 proveden výzkum, jehož výsledkem bylo zjištění, že obsah akrylamidu ve zkoumaných výrobcích nepřekračoval porovnávací hodnoty stanovené Evropskou unií.

Doporučení pro výrobce potravin a spotřebitele spočívá ve volbě vhodných surovin s nízkým obsahem prekurzorů akrylamidu a modifikaci technologických podmínek při tepelné úpravě. Pro běžného spotřebitele tedy platí základní pravidlo „nepřipalujte, mírně osmahněte“.

Klíčová slova: akrylamid, pekařské výrobky, sensorické vlastnosti, zdravotní význam

Positive and negative importance of acrylamide in bakery products

Summary

Acrylamide is a white, odourless crystalline substance that exists in two forms, such as a monomer or a polymer. The polymeric form of acrylamide called polyacrylamide has a wide industrial application and is not considered to be toxic in contrast to the monomeric form of acrylamide.

The chemical process that results in the formation of acrylamide is called the Maillard reaction. This reaction has both positive and negative effects on food products. It is a reaction of amino acids with reducing sugars, which takes place at temperatures higher than 120 ° C.

The negative importance of acrylamide is that it exhibits several toxic effects at the same time. These effects are neurotoxic, carcinogenic, mutagenic, genotoxic and have also shown a negative effect on reproduction.

Acrylamide is most commonly found in potato products, bakery products or coffee. The formation of acrylamide in food is mainly influenced by the raw materials used for production and their composition, water activity, pH, time and temperature during their heat treatment.

In 2017, the European Union issued a regulation setting mitigation strategies and comparative values to reduce the presence of acrylamide in food. In the Czech Republic, research was carried out in 2018, which resulted in the finding that the acrylamide content of the products examined did not exceed the European Union comparative values.

The recommendation for food producers and consumers is to choose suitable raw materials with low content of acrylamide precursors and to modify technological conditions during heat treatment. For the average consumer, therefore, the basic rule "do not burn, fry slightly" should be applied.

Keywords: acrylamide, bakery products, sensory properties, health importance

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Historie akrylamidu	3
3.2 Charakteristika a význam akrylamidu	4
3.2.1 Chemické a fyzikální vlastnosti	4
3.2.2 Průmyslové využití akrylamidu	4
3.2.3 Význam akrylamidu.....	4
3.2.4 Ostatní zdroje akrylamidu.....	5
3.3 Tvorba akrylamidu v potravinách	6
3.4 Metabolismus a působení akrylamidu	7
3.5 Zdravotní účinky a toxicita akrylamidu	8
3.5.1 Pozitivní význam akrylamidu	8
3.5.2 Negativní význam akrylamidu.....	8
3.5.3 Pozitivní a negativní význam akrylamidu v pekařských výrobcích	10
3.6 Výskyt v potravinách a konkrétní příklady.....	12
3.6.1 Akrylamid v pekařských výrobcích	13
3.6.2 Další zdroje akrylamidu.....	15
3.6.3 Akrylamid a dietární expozice	17
3.6.4 Faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v potravinách	18
3.6.5 Akrylamid ve výrobcích v ČR.....	21
3.7 Legislativa EU a eliminační opatření	22
3.7.1 Nařízení Komise EU	22
3.7.2 Acrylamide Toolbox	23
3.7.3 Akrylamid a FDA	23
3.7.4 Nástroje minimalizace obsahu akrylamidu v potravinách	24
3.7.5 Monitoring obsahu akrylamidu v potravinách.....	27
3.7.6 Doporučení pro výrobce potravin a spotřebitele.....	28
3.8 Metody stanovení akrylamidu v potravinách.....	30

3.8.1	Kapalinová chromatografie	30
3.8.2	Plynová chromatografie.....	30
4	Závěr	31
5	Literatura.....	32
6	Samostatné přílohy	I

Úvod

Akrylamid je jednou z řady látek vyskytující se běžně v potravinách. Akrylamid je důsledkem jejich zpracování, které se právě proto označují jako tzv. procesní kontaminanty. Chemický proces, při kterém se tato látka tvoří, se nazývá Maillardova reakce. Při ní dochází k typickému zbarvení potravin a mění se i jejich chuť a technologické vlastnosti, což může mít pozitivní i negativní účinky na výsledné výrobky.

Již od roku 2002 je obsah akrylamidu v potravinách sledován, protože bylo zjištěno, že při vyšších příjmech v potravě může mít neurotoxické, genotoxické a karcinogenní účinky na lidský organismus. Jeho obsahy jsou nejvyšší ve smažených, pečených, grilovaných či pražených výrobcích. Proto patří mezi rizikové z hlediska obsahu akrylamidu i veškeré pekařské výrobky, na které se mimo jiné zaměřuje tato bakalářská práce.

Akrylamid vzniká v potravinách při teplotách vyšších než 120 °C. Jeho vznik však neovlivňuje pouze teplota, ale také obsah a dostupnost reaktantů, které se podílí na Maillardově reakci, tj. aminokyselin a redukujících cukrů. Množství akrylamidu v potravinách se proto dá regulovat pomocí změny receptury, zpracování či finální úpravou daného výrobku. Mezi výrobky s nejvyšším obsahem akrylamidu patří bramborové lupínky, hranolky, dále také káva a cereální výrobky.

Vzhledem k tomu, že se v dnešní době klade stále větší důraz na kvalitu a bezpečnost potravin, věnuje se výzkumu procesních kontaminantů velká pozornost. Stále se proto vylepšují metody zjišťování jejich obsahu, a především se zkoumají jejich možná rizika pro člověka a jeho zdraví. S tím souvisí také legislativní omezení Komise Evropské unie, která limitují obsahy akrylamidu v různých typech výrobků. Kromě potravin je akrylamid pravidelně sledován také v pitné vodě, u níž je stanoven nejvyšší limit 0,1 µg na litr pitné vody.

Tato bakalářská práce je zpracována na základě literární rešerše a pojednává o významu akrylamidu zejména v pekařských výrobcích. Na začátku práce bude akrylamid charakterizován, dále bude uveden popis tvorby této látky v pekařských výrobcích. V dalších kapitolách budou zhodnoceny pozitivní i negativní účinky akrylamidu a budou uvedeny i konkrétní příklady výskytu v potravinách. Závěrem bude zmíněna také legislativa týkající se problematiky akrylamidu a nástroje sloužící ke snížení jeho obsahu. Závěr práce shrnuje poznatky o akrylamidu, jeho význam v potravinářství a doporučení pro potravinářské podniky i spotřebitele.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je vypracovat literární přehled o významu akrylamidu pro lidský organismus a pro sensorické a technologické vlastnosti pekařských výrobků. Cílem bude rovněž vyhodnocení pozitivního a negativního působení akrylamidu na lidský organismus.

Literární rešerše

Akrylamid neboli prop-2-enamid (neboli amid kyseliny akrylové) se běžně vyskytuje v širokém spektru tepelně upravených potravin, především pak rostlinného původu s vyšším obsahem škrobu. V potravinách byl poprvé objeven švédskými vědci v roce 2002, kdy se o něj začala zajímat i odborná veřejnost. Později se stal hlavním objektem výzkumu zaměřeného na možná zdravotní rizika spojená s příjmem akrylamidu v potravě (Velíšek & Hajšlová 2009).

1.1 Historie akrylamidu

Poprvé byl akrylamid jako chemická sloučenina objeven již v roce 1893 v Německu, k jeho komerčnímu využití však došlo až roku 1954. Na počátku 90. let se výroba akrylamidu jen v Evropské unii rozrostla na 100 000 tun ročně. Byl využíván např. při vodárenské úpravě pitné vody, ale také pro výrobu papíru či v kosmetickém průmyslu. Dodnes má velký význam v chemicko-technologickém průmyslu, zejména jako polymerní sloučenina polyakrylamid (Cwиковá 2014).

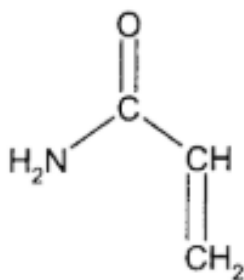
Akrylamid byl jako chemická látka znám mnohem dříve, než byl učiněn objev jeho výskytu v potravinách. U lidí, kteří se dostali do kontaktu s touto sloučeninou, se totiž časem začaly objevovat neurologické poruchy, což vedlo k dalšímu výzkumu akrylamidu jako potenciálně nebezpečné látky. Objev akrylamidu v potravinách se pojí s nehodou, ke které došlo při stavbě železničního tunelu ve Švédsku. Akrylamid, který unikl do prostředí v důsledku technologické chyby, vyvolal akutní neurotoxické účinky nejen u pracovníků v okolí stavby, ale i u živočichů a ryb žijících v zasažené lokalitě. To vedlo k rozsáhlým vyšetřováním, která vedla až k nalezení akrylamidu u neexponovaných osob a následně zjištění přítomnosti akrylamidu v potravinách bohatých na škrob (Velíšek & Hajšlová 2009).

V roce 2002 byl poprvé objeven v potravinách švédskými vědci, kteří zjistili poměrně vysoké koncentrace akrylamidu v některých tepelně upravených potravinářských výrobcích. Před rokem 2002 bylo jako hlavní zdroj akrylamidu označováno zejména pracovní prostředí, pitná voda, ale i tabákový kouř či kosmetika. Ačkoli jde od nepaměti o běžnou složku lidské potravy, byl tento nález pro vědce překvapivý. V roce 2007 se o akrylamid začala zajímat i Evropská unie (Velíšek & Hajšlová 2009; Mustáťa 2015).

1.2 Charakteristika a význam akrylamidu

1.2.1 Chemické a fyzikální vlastnosti

Akrylamid (AA) je bílá krystalická látka bez zápachu, která se dobře rozpouští ve vodě a polárních organických rozpouštědlech. Vyskytuje se v krystalické formě nebo ve formě vodného roztoku. Jeho souhrnný chemický vzorec je C_3H_5NO , strukturní vzorec je znázorněn na obrázku 1. Ve své molekule obsahuje dvojnou vazbu a aminoskupinu. Vykazuje jak kyselé, tak zásadité vlastnosti, jedná se tedy o látku amfoterní (Friedman 2003).



Obr. 1 Strukturní vzorec akrylamidu

Zdroj: Friedman & Mottram (2006)

Existuje ve dvou hlavních formách, a to jako monomer (akrylamid) či polymer (polyakrylamid). Monomerní forma akrylamidu je považována za toxickou látku, která má zejména neurotoxické a karcinogenní účinky, u mužů může též způsobovat neplodnost. Pro člověka tak představuje významné zdravotní riziko. Akrylamid může být absorbován povrchem těla, vdechnutím či intestinálním traktem (při požití) (Halford & Curtis 2019).

1.2.2 Průmyslové využití akrylamidu

Akrylamid je celosvětově znám zejména jako významná chemická sloučenina, která je průmyslově využívána pro výrobu polyakrylamidu. Ten má hojné uplatnění v chemicko-technologickém průmyslu. Používá se při výrobě papíru a barviv, k čištění odpadních vod (jako flokulant), dále také v kosmetice či pro výrobu obalů v potravinářském průmyslu. Ve stavebnictví se využívá tato forma akrylamidu jako výplňová hmota při stavbě vodních přehrad. Hojně se využívá také v laboratořích k separaci proteinů při elektroforéze. Polyakrylamid není považován za toxickou látku, ale jeho rezidua mohou být potenciálně toxická a mohou kontaminovat životní prostředí (Cwiková 2014).

1.2.3 Význam akrylamidu

V potravinách se akrylamid tvoří přirozeně při teplotách vyšších než 120 °C. Nejvíce ho však vzniká při teplotách v rozmezí 150-180 °C. Vysoký obsah akrylamidu je detekován v potravinách obsahujících velké množství škrobu, jako jsou např. obiloviny či brambory (Svoboda et al. 2015).

Proces, při kterém se akrylamid tvoří je nazýván Maillardova reakce. Díky ní vznikají v tepelně upravených potravinách (především pečených, smažených, pražených nebo

grilovaných) sensoricky žádoucí látky, které výrobkům dodávají nejen barvu, ale také chuť a vůni. Bylo však prokázáno, že akrylamid má karcinogenní, genotoxické a neurotoxické účinky. Tyto účinky jsou často spojovány zejména s metabolity akrylamidu, jako je např. glycinamid a 5-hydroxymethylfurfural (HMF) (Khezerlou et al. 2018).

Jelikož má akrylamid mnoho nežádoucích účinků, je snaha jeho obsah v potravinách omezovat. Akceptovatelný denní příjem akrylamidu dosud není znám, ale byla stanovena hodnota NOAEL čili dávka, při které nebyl pozorován škodlivý účinek na člověka. K této hodnotě bylo dospěno na základě biologických pokusů a činí $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ na den (Cwiková 2014).

Míra expozice akrylamidem je dána mnoha faktory. Mezi hlavními je způsob přípravy jídla (tj. teplota a doba přípravy), ale také stravovací návyky.

1.2.4 Ostatní zdroje akrylamidu

Polyakrylamid se dodnes ve velkém množství používá v průmyslových odvětvích pro úpravu vod, jako složka malty, lepidel, barviv a kosmetiky. Kromě toho se využívá v laboratořích, a to např. při gelové elektroforéze. Dalšími významnými zdroji akrylamidu v prostředí jsou tabákové výrobky a plastové obalové materiály. Nejvyšší expozici akrylamidem jsou vystaveni lidé pracující ve stavebnictví, laboratořích či horníci. Typickými příznaky expozice vysokými dávkami akrylamidu jsou svalová slabost a ataxie, zvýšené pocení a parestézie končetin. Většina z uvedených účinků je výsledkem neutotoxického působení akrylamidu. Nejběžnějším zdrojem (s výjimkou dietární expozice) je zřejmě cigaretový kouř. Měření hemoglobinových aduktů s akrylamidem ukázalo, že kuřáci vykazují několikrát vyšší příjem akrylamidu oproti nekuřákům (Semla et al. 2017).

K nepotravinové expozici akrylamidem v pracovním prostředí dochází zejména při výrobě polyakrylamidu, a to buď dermální absorpcí nebo inhalací monomeru akrylamidu. Na rozdíl od akrylamidu je polyakrylamid považován za látku zdravotně nezávadnou. Ciesarová (2005) dále uvádí, že dochází ke snižování obsahu akrylamidu v kosmetických přípravcích a denní příjem z kosmetiky tak činí $0,7 \text{ } \mu\text{g/kg}$ a den. Další příjem akrylamidu z pitné vody je dále odhadován na $3,6 \text{ ng/kg}$. Poměrně vysoký je příjem akrylamidu u kuřáků, neboť jedna cigareta obsahuje kolem $1\text{-}2 \text{ } \mu\text{g}$ akrylamidu (Ciesarová 2005).

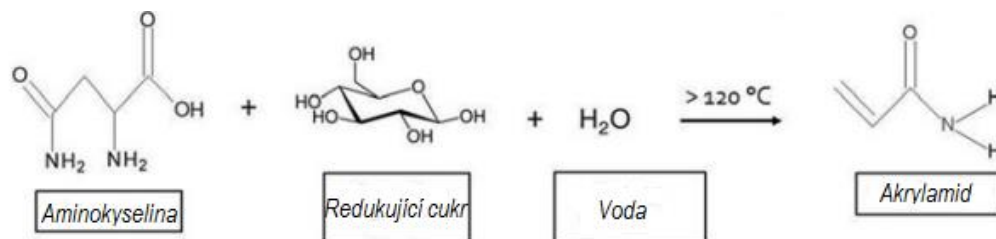
1.3 Tvorba akrylamidu v potravinách

Akrylamid je jednou z nejčastěji se vyskytujících škodlivých látek v potravinách. Toxické účinky spojované s touto látkou jsou připisovány zejména metabolitům akrylamidu. Většina mechanismů tvorby akrylamidu i jeho přeměny na další látky jsou dnes známy, ale přesto jsou některé aspekty jeho toxicity dosud nejasné (Semla et al. 2017).

Akrylamid v potravinách vzniká tzv. Maillardovou reakcí, která způsobuje neenzymatické hnědnutí, což je u mnoha potravin žádoucí (např. u pečiva). Maillardova reakce je reakce redukujících cukrů s aminokyselinami za přítomnosti vysokých teplot (nad 120 °C) a je typická pro procesy pečení a smažení (Krishnakumar & Visvanathan 2014).

Jelikož má akrylamid poměrně jednoduchou chemickou strukturu, může vznikat v potravinách různými způsoby. Může se jednat o reakce sacharidů, bílkovin, lipidů, aminokyselin i dalších minoritních složek potravin. Především však vzniká reakcí mezi asparaginem a glukózou, která je zobrazena na obrázku 2 (Cwiková 2014).

Obr. 2 Maillardova reakce



Zdroj: Koszucka et al. (2019)

Akrylamid v potravinách nejčastěji vzniká reakcí volného asparaginu, který není navázán v bílkovinách a redukujících cukrů, tedy látek běžně se v potravinách vyskytujících. Nejčastěji se vyskytujícími redukujícími cukry jsou glukóza, fruktóza a maltóza. Maillardova reakce je zahájena kondenzací karbonylové skupiny redukujícího cukru s aminoskupinou aminokyseliny (asparaginu). Primárním produktem reakce je karbinolamin N-glykosylasparagin, který se dehydratuje za vzniku Schiffovy báze. Pokud je v prostředí dostatek vody, Schiffova báze se hydrolyzuje a může docházet k Amadoriho přesmyku na ketosamin. Pokud je v prostředí naopak vody nedostatek, jsou N-glykosylasparagin i Schiffova báze poměrně stabilní. Z Schiffovy báze může dále vznikat azomethinylid, ze kterého vzniká dekarboxylací příslušný imin. Imin se může dále hydrolyzovat na původní cukr a 3-aminopropionamid nebo isomerovat na dekarboxylovanou Amadoriho sloučeninu. Ke vzniku akrylamidu dochází, pokud se následně rozštěpí kovalentní vazba mezi dusíkem a uhlíkem či deaminací z 3-aminopropionamidu (Velíšek & Hajšlová 2009).

Dále vzniká v průběhu Maillardovy reakce mnoho velmi reaktivních karbonylových sloučenin, které reagují buď navzájem či s dalšími aminoskupinami. Na konci Maillardovy reakce se tvoří kromě akrylamidu další produkty, jako jsou např. melanoidiny, které dodávají výrobkům hnědé zbarvení (Raffan & Halford 2019).

Tvorbu akrylamidu v potravinách mohou ovlivnit použité suroviny a jejich složení (typ cukru a aminokyseliny), pH, čas, teplota při tepelné úpravě a vodní aktivita. Důležitou roli však hrají také přítomné prekurzory akrylamidu, tedy zejména asparagin. Ačkoli byl popsán vznik

akrylamidu i z jiných prekurzorů, např. z akrylové kyseliny či akroleinu, je jejich význam spíše marginální (Velíšek & Hajšlová 2009).

1.4 Metabolismus a působení akrylamidu

V rámci zjišťování působení akrylamidu na organismus byly provedeny rozsáhlé studie na zvířatech, především pak na drobných hlodavcích (myších a krysách). Bylo zjištěno, že se akrylamid po požití poměrně rychle absorbuje a dále distribuuje do jednotlivých tkání. Akrylamid byl nalezen v játrech, ledvinách, srdci, ale i v mateřském mléku (Capuano & Fogliano 2011).

Jelikož je molekula akrylamidu poměrně malá a je hydrofilní povahy, může se dostávat pomocí difuze do celého organismu. Akrylamid je v organismu metabolizován buď přímou konjugací s glutathionem (GSH), což je reakce katalyzovaná glutathion-S-transferázou nebo je metabolizován enzymaticky prostřednictvím cytochromu P450 a až poté se teprve konjuguje s GSH. Metabolitem této reakce je glycinamid, který společně s akrylamidem způsobuje karcinogenní a mutagenní účinky. Koszucka et al (2019) uvádí, že až 6 % požitého akrylamidu se převede díky výše uvedeným reakcím na glycinamid.

Glycinamid je však ve srovnání s akrylamidem více cytotoxický i genotoxický, což bylo potvrzeno v provedených *in vitro* a *in vivo* testech. Existuje stále více důkazů, že právě glycinamid je hlavní látkou zodpovědnou za karcinogenní účinky akrylamidu (Friedman 2015; Koszucka et al. 2019). Akrylamid i glycinamid mohou reagovat s molekulami hemoglobinu či DNA a tvořit s nimi adukty (Velíšek & Hajšlová 2009).

Akrylamid a glycinamid se, jak již bylo uvedeno, v organismu detoxifikují pomocí antioxidantu glutathionu. Glutathion se pak v játrech dále přeměňuje na organické kyseliny, konkrétně kyselinu merkapturovou. Ta se následně vylučuje močí (Halford & Curtis 2019).

Nedávné výzkumy ukázaly, že schopnost metabolizovat akrylamid mají i některé rody bakterií mléčného kvašení (BMK). Konkrétně se jedná o rody *Lactobacillus* a *Bifidobacterium*, které mají schopnost akrylamid navázat a použít jako zdroj uhlíku. Inaktivace vazbou na buněčnou stěnu byla prokázána *in vitro* pokusech u rodu *Lactobacillus* ve fosfátem pufrovaném solném roztoku (Koszucka et al. 2019).

Působení akrylamidu na organismy je v poslední době spojováno také s oxidačním stresem. Oxidační stres vzniká, pokud je rychlost vzniku volných kyslíkových radikálů větší než rychlost jejich neutralizace. Tento přebytek volných radikálů pak může způsobovat oxidaci biologických molekul, což nakonec může vést až k apoptóze neboli buněčné smrti. Akrylamid indukuje vyšší aktivitu antioxidantního systému organismu a jeho vysoké dávky spolu s dlouhodobým užíváním vyvolávají příznaky oxidačního stresu. Tyto informace byly zjištěny pomocí pokusů na zvířatech, kterým byl podáván akrylamid v dávkách 25 $\mu\text{g kg}^{-1}$ po dobu 10 týdnů (Semla et al. 2017).

1.5 Zdravotní účinky a toxicita akrylamidu

K absorpci akrylamidu dochází v zásadě třemi způsoby, a to pokožkou, dýchacím a trávicím systémem. Po absorpci trávicí soustavou je akrylamid široce distribuován do celého organismu. Při pokusech na potkanech bylo zjištěno, že nejvíce akrylamidu je ukládáno ve svalech (48 %), dále v kůži (15 %), krvi (12 %) a játrech (7 %). Nejnížší obsahy akrylamidu byly naopak zjištěny v mozku a míše (méně než 1 %). Je také známo, že akrylamid dokáže procházet placentou a jeho výskyt byl zjištěn také v mateřském mléku (Matoso et al. 2019).

K nejvyšší expozici akrylamidem dochází u lidí právě dietárním příjmem. Průměrný denní příjem akrylamidu ve stravě se odhaduje na 0,85 µg na kg tělesné hmotnosti (Krishnakumar & Visvanathan 2014).

Toxikologické testy na akrylamid byly provedeny na mnoha živočišných druzích (např. na hlodavcích, prasatech, opicích i na kočkách a psech). Výsledky těchto studií byly zhodnoceny Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA – European Food Safety Authority) a bylo zjištěno, že akrylamid má četné negativní účinky na testované organismy a potenciálně tedy i na člověka (Halford & Curtis 2019).

Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC – International Agency for Research on Cancer) klasifikovala akrylamid jako potenciální lidský karcinogen (skupina 2A). Stále ale neexistují zákonné maximální limity pro obsah akrylamidu v potravinářských výrobcích (Gökmen 2016). Platí však, že spotřebitelé by měli být při výběru potravin obezřetní a měli by se vyvarovat potravinám, kde se předpokládá vyšší obsah akrylamidu (Svoboda et al. 2015).

1.5.1 Pozitivní význam akrylamidu

Akrylamid je klasifikován jako procesní kontaminant v potravinách, proto nelze potvrdit, že by měl pozitivní význam v pravém slova smyslu. Vzniká však Maillardovou reakcí, která značně přispívá ke zlepšení organoleptických vlastností výrobků, jako je např. barva a chuť (Gökmen 2016).

Maillardova reakce neboli neenzymatické hnědnutí je reakcí zodpovědnou za výslednou chuť a aroma tepelně upravených potravin, má tedy zásadní vliv na smyslovou kvalitu a atributy požadované spotřebitelem. Barevná změna tepelně upravených produktů je přičítána zejm. melanoidinům, aroma zapříčiňují pyraziny a thioly a změna textury je dána vznikem vazeb mezi proteiny a polysacharidy (Starowicz & Zieliński 2019).

Bylo potvrzeno, že tvorba akrylamidu souvisí s barvou výsledného produktu, tedy čím je produkt tmavší, tím více akrylamidu bude pravděpodobně obsahovat. Otázkou však zůstává, jaké množství akrylamidu přijímaného v potravě je pro zdraví člověka již škodlivé (Svoboda et al. 2015).

1.5.2 Negativní význam akrylamidu

Akrylamid je považován za látku vysoce nebezpečnou pro lidské zdraví, a to i proto, že vykazuje několik toxických účinků najednou. Jedná se o účinky neurotoxické, karcinogenní, mutagenní, genotoxické a byl prokázán i negativní vliv na reprodukci (Cwíková 2013). Jednotlivé účinky budou dále podrobněji rozebrány v následujících odstavcích.

Neurotoxické účinky

Akrylamid patří mezi známé silné neurotoxiny, neboť ovlivňuje jak centrální nervový systém (CNS), tak periferní nervový systém (PNS). Celkový toxický účinek však závisí na délce expozice a expoziční dávce. Neurotoxicitu vykazuje pouze monomer akrylamidu, zatímco akrylamidové polymery již toxické nejsou. Neurotoxické účinky patří mezi nejvíce prostudované, protože byly zjištěny mezi prvními (díky přímé expozici akrylamidem na pracovišti a experimentech na zvířatech). Třicet let probíhající výzkum tak umožnil pochopení mechanismu neurotoxického účinku akrylamidu (Erkekoglu & Baydar 2014).

Akrylamid může reagovat s cysteinovými zbytky přítomnými v presynaptickém membránovém proteinu, a tedy výrazně snížit uvolňování neurotransmiterů, což v konečném důsledku může vést k degeneraci neuronů. Dlouhodobý kontakt s akrylamidem může vést k nevratnému poškození nervového systému inhibicí přenosu impulsů mezi neurony. Je však třeba zdůraznit, že neurotoxické účinky spojené s dietární expozicí akrylamidem se projevují až při velmi vysokých dávkách. Toxický účinek akrylamidu na nervovou soustavu se v praxi využívá k urychlení procesu postupu neuronální degenerace u experimentálních zvířat a následnému výzkumu neuropatie (Pingot et al. 2013).

Bylo zjištěno, že u laboratorních zvířat je NOAEL (dávka bez pozorovatelného účinku) pro neurotoxicitu 0,2-0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ na den a LOAEL (nejnižší dávka s pozorovatelnými účinky) 2 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ na den (Zamani et al. 2017). Neurotoxické účinky se projevují nejčastěji ataxií (porucha koordinace pohybů) a svalovou slabostí. Tyto příznaky se u lidí projevují spíše výjimečně, zejména při kontaktu s akrylamidem v pracovním prostředí a ve vysokých dávkách a u lidí, kteří jsou vystaveni akrylamidu inhalací či dermální expozicí (Capuano & Fogliano 2016).

Genotoxické a cytotoxické účinky

Oxidační stres vyvolaný expozicí akrylamidem může vést až k cytotoxickým a genotoxickým účinkům. Volné radikály totiž napadají jednotlivé orgány, zejm. mitochondrie. Genotoxický účinek akrylamidu spočívá v oxidaci DNA bází, což vede až k fragmentaci DNA (Semla et al. 2017).

Genotoxické účinky akrylamidu jsou spojovány především s jeho metabolitem, glycinamidem. Samotný akrylamid totiž vykazuje poměrně nízkou reaktivitu vůči DNA (Parzefall 2008).

Karcinogenní účinky

Přestože byl akrylamid klasifikován jako pravděpodobný lidský karcinogen již v roce 1994, neexistuje dostatek studií, které by karcinogenní účinek u lidí potvrzovaly. Vzhledem k tomu, že má však akrylamid podobnou strukturu jako některé karcinogeny (např. akrylonitril), je velmi pravděpodobné, že může zvyšovat riziko výskytu některých druhů rakoviny. Často bývá akrylamid spojován s výskytem rakoviny prsu a ledvin (Zamani et al. 2017). Předpokládá se však, že karcinogenita akrylamidu vychází z jeho přeměny na glycinamid, který má mutagenní a genotoxické účinky (Capuano & Fogliano 2011).

Karcinogenita akrylamidu byla studována na potkanech, myších a krysách, kdy jim byl podáván rozpuštěný v pitné vodě. Výsledkem těchto pokusů byl zvýšený výskyt adenomu štítné žlázy, varlat a mléčné žlázy. Karcinogenita je spojována s přeměnou akrylamidu na glycinamid,

adukcí na DNA a následnou mutagenezí. Na druhou stranu však aktuální epidemiologické studie dosud nepotvrdily pozitivní souvislost mezi příjmem akrylamidu v potravě a zvýšeným rizikem rakoviny u lidí (Capuano & Fogliano 2016).

Reprodukční toxicita a teratogenní účinky

Díky nízké molekulové hmotnosti a dobré rozpustnosti ve vodě akrylamid prochází placentou a stopové množství se nachází také v mateřském mléku savců. Proto může mít vliv na prenatální a časný postnatální vývoj kojenců. Odhaduje se, že asi 50 % akrylamidu požitého v potravě může být přeneseno přes placentální krev do embrya. Nicméně studie o vlivu na ranný vývoj člověka zatím chybí (Semla et al. 2017).

Embryotoxické účinky akrylamidu byly studovány na zvířecích modelech (zejm. hlodavcích). Mláďata samic vystavených vysokým dávkám akrylamidu měly nižší porodní hmotnost a velikost mozku ve srovnání s kontrolní skupinou. Dále mláďata trpěla svalovou dystrofií a strukturálními změnami mozkové kůry. Reprodukční toxicita se dále projevuje v negativním vlivu na samčí plodnost. V experimentech prováděných na potkanech vedla expozice akrylamidem již po 8 dnech k prokazatelnému snížení plodnosti (Semla et al. 2017).

Kromě mláďat má akrylamid vliv také na dospělé jedince. Ve studii provedené na samicích bylo prokázáno, že se snížila hmotnost vaječníků a zhoršil se vývoj oocytů ve srovnání s kontrolní skupinou. Oocyty dále vykazovaly narušené meiotické dělení. U samců byl pozorován vliv akrylamidu na Leydigovy a Sertoliho buňky, u kterých došlo ke snížení životnosti a následně k apoptóze vyšší než u kontrolní skupiny, což bylo prokázáno zvýšenou expresí apoptických genů. Leydigovy buňky kultivované v médiu obsahujícím glycinamid vykazovaly snížení syntézy progesteronu v důsledku apoptózy vyvolané volnými radikály. Dále bylo zjištěno, že podávání akrylamidu samcům hlodavců po dobu 6 měsíců v dávce odpovídající 10,5 µg akrylamidu / kg u lidí mělo za následek poškození DNA spermií, aniž by však byla ovlivněna celková plodnost (Matoso et al. 2019).

Reprodukční toxicita jako důsledek dietárního příjmu u lidí však zatím nebyla potvrzena a není zcela objasněn ani mechanismus účinku akrylamidu na reprodukci u pokusných zvířat (Kumar et al. 2018).

1.5.3 Pozitivní a negativní význam akrylamidu v pekařských výrobcích

Díky vysokým teplotám a nízké vlhkosti vznikají při tepelné úpravě pekařských výrobků chemické reakce, které mají různé vlivy na výsledné produkty. Mezi výsledky těchto reakcí patří také zlepšení textury a organoleptických charakteristik, jako je chuť, vůně a barva výrobků, které jsou požadovány spotřebiteli. Zároveň ale mohou vznikat potenciálně nebezpečné sloučeniny, kam patří i akrylamid. Jelikož jsou pekařské výrobky konzumovány širokou škálou spotřebitelů, je významný také dietární příjem akrylamidu z těchto výrobků (Gökmen 2016).

Maillardova reakce, kterou akrylamid vzniká, má v pekařských výrobcích mnoho pozitivních i negativních účinků. Tuto reakci poprvé popsal Louis-Camille Maillard v roce 1912, kdy pozoroval, že po mírném zahřátí cukrů a aminokyselin vznikla žlutohnědá barva. Jde o soubor reakcí, které vedou nejen k typickému zlatohnědému zbarvení, ale také k vzniku

některých aromatických látek, antioxidačních produktů, výživovým změnám produktů a ke vzniku některých toxických sloučenin (Bastos et al. 2012).

Mezi pozitivní účinky Maillardovy reakce na pekařské výrobky patří vznik hnědého zbarvení (díky vzniku melanoidinů), dále vznik aromatických látek a antioxidantů. Negativní účinek Maillardovy reakce pak spočívá zejména ve snížení nutriční hodnoty potravin (např. snížená využitelnost lysinu) a vzniku některých toxických produktů, kam patří i karcinogenní a mutagenní látky (Ciesarová 2005).

Význam pro sensorické a technologické vlastnosti pekařských výrobků

Pečení je proces, kterým se z těsta složeného z mouky, vody a dalších přísad vytváří pečivo s jedinečnými sensorickými vlastnostmi. Barva pečiva je dokonce prvním sensorickým aspektem, který zákazník při nákupu pečiva hodnotí. K hnědnutí výrobků dochází při vysoké teplotě a nízké vlhkosti, kdy dochází ke vzniku mnoha barevných produktů různé intenzity (Purlis 2010).

Maillardovy reakční produkty (MRP) mají mnoho pozitivních i negativních účinků. Melanoidiny, které způsobují hnědé zbarvení pekařských produktů, jsou považovány za látky prospěšné, protože vykazují antioxidační účinky. Antioxidační aktivita MRP také významně přispívá k prodloužení doby skladovatelnosti pekařských produktů (Ciesarová 2009). Důležitými prekurzory aromatických látek jsou aminokyseliny, mezi nimi např. ornithin, prolin, lysin a arginin. Základními aromatickými látkami chleba, které z těchto aminokyselin vznikají, jsou pak pyraziny (Velíšek & Hajšlová 2009).

1.6 Výskyt v potravinách a konkrétní příklady

V potravinách akrylamid vzniká během tepelné úpravy, nejčastěji při teplotách 120 - 210 °C. Nejvyšší obsah akrylamidu byl registrován u potravin bohatých na škrob, které byly zpracovávány pečením, smažením či pražením. Konkrétně se jedná o brambory a výrobky z nich (zejména bramborové lupínky), dále cereální výrobky (pekárenské a pečivárenské výrobky) a další tepelně upravené potraviny (např. káva a kávovinové náhražky) (Cwiková 2013). Průměrné obsahy konkrétních kategorií průmyslově vyráběných výrobků uvádí následující tabulka 1.

Tab. 1 Obsah akrylamidu ve vybraných výrobcích ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Vzorek	n	Rozmezí	Průměrný obsah
Brambůrky	15	160 - 1530	836
Káva	7	< 25 - 358	307
Chléb	4	< 25 - 125	206
Sušenky	4	100 - 259	206
Krekry	5	118 - 470	333
Bramborové hranolky předsmažené	4	65 - 137	99
Bramborové hranolky po usmažení	2	1582 - 1588	1586

Zdroj: Svoboda et al. (2015)

Kromě tepelně upravených výrobků se akrylamid nachází také v potravinách, které nebyly vystaveny silnému záhřevu, a to např. v sušeném ovoci či v olivách, ale i v lískových oříšcích a mandlích. Obvykle se však nenachází v potravinách upravených vařením či mikrovlnným ohřevem. Naopak tepelně upravené výrobky živočišného původu, jako je maso a ryby, akrylamid běžně obsahují, ale pouze ve velmi malém až zanedbatelném množství. Přesto existuje velká variabilita obsahu akrylamidu v různých druzích potravin, což je způsobeno jak množstvím prekurzorů (redukujících cukrů a aminokyselin) v surovinách, tak podmínkami přípravy potravin. Proto se může značně lišit skutečný obsah akrylamidu v domácích výrobcích a průmyslově zpracovaných produktech (Capuano & Fogliano 2011).

Jako problém při vykazování obsahu akrylamidu v potravinách se jeví kolísání hodnot stanovených v dané kategorii výrobků (např. bramborové lupínky), což je dáno odchylkami vyskytujícími se u různých výrobců těchto potravin. Tato variabilita následně ztěžuje i stanovení expozice akrylamidem ve stravě konzumentů, která je jedním z nejdůležitějších faktorů při zvažování možných nepříznivých účinků na lidské zdraví a hodnocení rizik (Lineback et al. 2012).

Expozice akrylamidem závisí nejen na samotném obsahu v potravinářských výrobcích, ale zejména na spotřebovaném množství dané potraviny či výrobku. I ten produkt, který vykazuje relativně nízkou koncentraci akrylamidu, může být hlavním přispěvatelem k dietární

expozici akrylamidem, pokud je konzumován často a ve velkém množství (Capuano & Fogliano 2016).

Existuje předpoklad, že k dietární expozici akrylamidem u západní populace dochází zejména konzumací smažených bramborových hranolků (16-30 %), smažených bramborových lupínků (6-46 %), kávy (13-39 %), pečiva a sušenek (10-20 %) a chleba a křehkého chleba (10-30 %). Další potraviny přispívají k příjmu akrylamidu méně než 10 %. Jsou však značné rozdíly mezi jednotlivými zeměmi, které se odvíjí od složení potravního koše (Velíšek & Hajšlová 2009).

1.6.1 Akrylamid v pekařských výrobcích

Pekařské výrobky jsou dle vyhlášky č. 18/2020 Sb. definovány jako výrobky získané tepelnou úpravou těst nebo hmot, jejichž sušina je s výjimkou trvanlivého a jemného pečiva ze šlehaných hmot, proteinových a čistožrných výrobků a bezlepkových pekařských výrobků v převažujícím podílu tvořena mlýnskými obilnými výrobky. Jinými slovy jde o všechny potravinářské výrobky, které mají jako svou základní složku obilnou mouku a byly podrobeny procesu pečení. Základní kategorie pekařských výrobků se (v ČR) nazývají: chléb, běžné pečivo, jemné pečivo a trvanlivé pečivo (Dostálová et al. 2014, Šedivý et al. 2015). Obecně vzato mají tyto výrobky velký význam v lidské výživě, neboť jen za rok 2018 bylo v České republice spotřebováno přes 90 kg chleba a pšeničného pečiva na osobu (ČSÚ 2019).

Díky poměrně vysokým teplotám během pečení a nízkému obsahu vody vznikají v pečivu během řady chemických reakcí organické sloučeniny, které způsobují změnu chuti, barvy a aroma, které jsou u konzumentů žádoucí. Zároveň ale vznikají i potenciálně nebezpečné sloučeniny, jako je právě akrylamid (Gökmen 2016). Tabulka 2 shrnuje orientační obsahy akrylamidu nalezené v různých pekařských výrobcích.

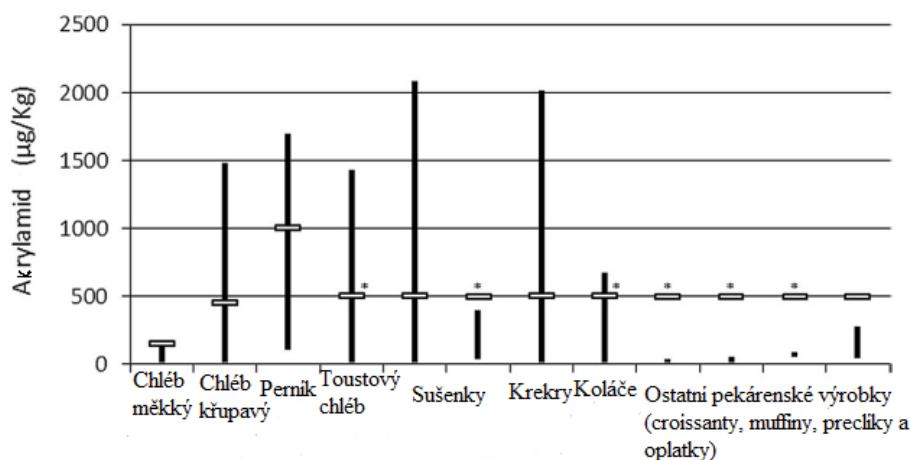
Tab. 2 Orientační obsahy akrylamidu v pekařských výrobcích

Pekařský výrobek	Orientační obsah akrylamidu (µg /kg)
Měkký chléb	
1. Pšeničný chléb	80
2. Ostatní měkké chleby	150
Sušenky a oplatky	500
Trvanlivé pečivo	500
Křupavý chléb	450
Perník	1000
Ostatní výrobky	500
Sušenky a suchary pro kojence a malé děti	200

Zdroj: EFSA (2013)

Graf 1 následně zobrazuje rozsah nalezených množství akrylamidu v pekařských výrobcích ve srovnání s orientačními obsahy z předchozí tabulky. Orientační hodnoty z tabulky 2 jsou zobrazeny v grafu 1 bílými obdélníky. Produkty, pro které nebyla přímo stanovena orientační hodnota, byly zařazeny do kategorie „Ostatní výrobky“ a jsou označeny v grafu hvězdičkou.

Graf 1 Rozsah obsahu akrylamidu v pekařských výrobcích (vč. znázornění orientačních hodnot akrylamidu na základě sledování EFSA)



Zdroj: Mesias & Morales (2016)

Jak je patrné z předchozí tabulky a grafu, některé pekařské výrobky vykazují vyšší obsah akrylamidu ve srovnání s orientačními hodnotami, tudíž by u nich byl v budoucnu vhodný další monitoring, případně i provedení některých opatření vedoucích ke snížení obsahu akrylamidu (Mesias & Morales 2016).

Obsah akrylamidu v pekařských výrobcích se může velmi lišit v závislosti na složení výchozích surovin a teplotě při tepelné úpravě. U některých výrobků byly zjištěny minimální koncentrace akrylamidu (např. některé druhy chleba a jemného pečiva), u jiných koncentrace poměrně vysoké (např. perník či některé druhy sušenek a krekrů). I když není obsah akrylamidu u běžného pečiva natolik vysoký, je konzumováno v mnohem větším množství oproti ostatním pekařským výrobkům. Dle dat publikovaných společností EFSA, přispívají pekařské výrobky 20-60 % k celkovému příjmu akrylamidu, přičemž nejvíce jsou zasaženy děti (kvůli nízké tělesné hmotnosti) a adolescenti z důvodu vysoké spotřeby výrobků obsahujících akrylamid (Gökmen 2016).

Akrylamid v chlebu se pohybuje v pšenično-žitném chlebu v rozmezí od 15 až do 161 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, v chlebu žitném je jeho obsah vyšší (68 až 205 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Obsah akrylamidu zde závisí zejména na druhu a stupni vymletí mouky, době a teplotě pečení i kvašení a použití různých aditiv (mléčná a citrónová kyselina). Nejvíce akrylamidu je pak obsaženo v chlebové kůrce (Cwiková 2014).

Obsah akrylamidu byl zjišťován také v tradičních českých výrobcích, jako je pšenično-žitný chléb a rohlíky. Bylo zjištěno, že nejnižšího obsahu akrylamidu je dosaženo, pokud je použit výhradně žitný kvásek, který obsahuje přirozeně vzniklé mikroorganismy. Při použití kvásku spolu s komerčními pekárenskými kvasnicemi obsah akrylamidu prokazatelně stoupal. Forstova et al. (2014) uvádí jako důvod vyšší kyselost těsta při použití kvásku z žitné mouky. Celkový obsah akrylamidu byl průměrně roven 16 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, zatímco v chlebové kůrce dosahovaly hodnoty až 155 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Vzhledem k narůstající oblíbenosti menších chlebů tak může obsah akrylamidu v těchto pekařských výrobcích potenciálně stoupat. U rohlíků byl

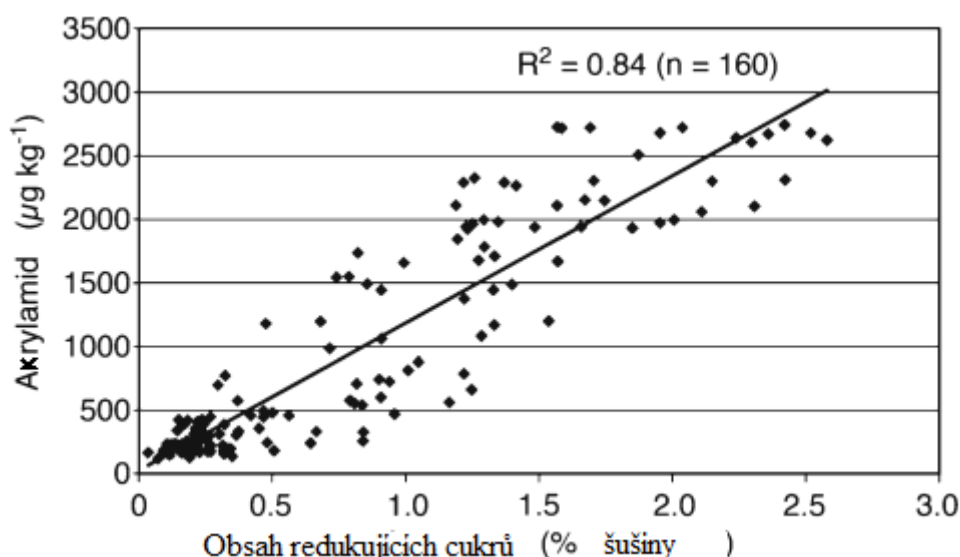
zjištěn velmi nízký obsah akrylamidu, obvykle nižší než $10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ tohoto pečiva (Forstova et al. 2014).

1.6.2 Další zdroje akrylamidu

Výrobky z brambor

Zpracované bramborové výrobky jsou ve srovnání s jinými skupinami výrobků na akrylamid poměrně bohaté. Obsah akrylamidu je u nich významně ovlivněn odrůdou brambor a způsobem pěstování. Ačkoli není přítomen v syrových ani vařených bramborách, při smažení a pečení akrylamid vzniká, a to hlavně z asparaginu spolu s glukózou či fruktózou. Bylo zjištěno, že existuje přímá úměra mezi obsahem redukujícího cukru v surovině (bramborách) a množstvím vzniklého akrylamidu při tepelné úpravě (Bethke & Bussan 2013). Graf 2 zobrazuje tuto závislost.

Graf 2 Závislost obsahu akrylamidu na obsahu redukujících cukrů v surovině



Zdroj: Bethke & Bussan (2013)

Nejvyšší obsah akrylamidu byl zjištěn ve smažených bramborových výrobcích, kde může dosahovat až $5312 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. V bramborových lupíncích se hodnoty akrylamidu pohybují v průměru okolo $389 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ a u smažených hranolků dosahovaly průměru $239 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (EFSA 2015).

Existují však významné rozdíly i mezi stejnými výrobky před a po tepelné úpravě, kdy jde zejména o před smažené výrobky z brambor. Obsah akrylamidu v před smažených bramborových hranolcích se pohybuje do $137 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Po tepelné úpravě fritováním ale obsah akrylamidu vzrůstá více než desetkrát (na $1588 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Svoboda et al. 2015).

Výsledný obsah akrylamidu u této skupiny výrobků je významně ovlivněn konečnou fází zpracování, proto se doporučují nižší teploty smažení tak, aby finální výrobky získaly světle zlatou barvu (Cwиковá 2014).

Káva

Káva je jedním z dalších možných zdrojů akrylamidu, neboť zelená káva obsahuje prekurzory akrylamidu. Pražená káva obsahuje 0,1-2,2 mg.kg⁻¹ akrylamidu (Schouten et al. 2020). Příjem akrylamidu v kávě záleží na stupni pražení a typu použité kávy. Alves et al. (2010) uvádí, že se obsah akrylamidu významně liší u dvou hlavních druhů kávy. Robusta má totiž oproti Arabice díky zvýšenému obsahu asparaginu i zvýšený obsah akrylamidu v pražené kávě.

Dále bylo zjištěno, že při úpravě kávy pouze lehkým pražením je obsah akrylamidu vyšší (průměrně 374 µg.kg⁻¹) oproti střednímu (266 µg.kg⁻¹) a tmavému pražení (187 µg.kg⁻¹) (EFSA 2015). Mezi intenzitou pražení a obsahem akrylamidu tedy existuje inverzní vztah. Hladiny akrylamidu se totiž zvyšují zejména v prvních minutách pražení, následně obsah akrylamidu při dalším pražení klesá. Předpokládá se, že k tomuto procesu dochází díky interakci s kávovými melanoidiny (Schouten et al. 2020).

Množství akrylamidu nezávisí pouze na podmínkách pražení a druhu kávy, ale také na stupni vytřídění nedozrálých plodů, neboť právě nedozrálá kávová zrna obsahují nejvíce volného asparaginu (Cwиковá 2014).

Kávové náhražky

Kávové náhražky neboli kávoviny obsahují ve srovnání s kávou mnohem vyšší obsahy akrylamidu. EFSA (2015) uvádí, že průměrný obsah akrylamidu v kávových náhražkách činí 1499 µg.kg⁻¹, což několikanásobně více ve srovnání s kávou. Nejvyšší obsah akrylamidu byl detekován u náhražek vyrobených z čekanky (průměrný obsah 2 942 µg.kg⁻¹), které významně předčily i kávové náhražky na bázi obilovin (průměrný obsah 510 µg.kg⁻¹) (EFSA 2015).

Dětská výživa

Co se týká dětské výživy, je zde obsah akrylamidu poměrně nízký, u sušených kojeneckých mlék se pohybuje v rozmezí 3,21–9,06 µg.kg⁻¹. U dětských příkrmů je však obsah akrylamidu variabilnější, pohybuje se od 6,8 µg.kg⁻¹ až do 582 µg.kg⁻¹ v závislosti na obsahu ovoce a sladidel (Cwиковá 2014). U dětské výživy na bázi obilovin byl však detekován vyšší obsah akrylamidu než u ostatních výrobků (EFSA 2015).

Voda

Mezi další zdroje akrylamidu lze řadit i vodu, kam se tato látka dostává zejména z flokulantů používaných pro úpravu vod. Představuje riziko především kvůli poměrně rychlé rozpustnosti a mobilitě ve vodě, díky které se může dostávat do povrchových i podzemních vod. Bakteriální degradace akrylamidu ve vodě je sice možná, ale trvá 8-12 dní v závislosti na podmínkách daného vodního prostředí (Tepe & Çebi 2019).

1.6.3 Akrylamid a dietární expozice

Expozice jakékoliv škodlivé látky v potravinách závisí zejména na obsahu dané látky a spotřebovaném množství dané potraviny. Mezi zdroje akrylamidu můžeme zahrnout širokou škálu potravin konzumovaných po celém světě a vyráběných přímo v domácnostech, v restauracích či produkovaných potravinářským průmyslem. Světová zdravotnická organizace (WHO) odhaduje denní příjem akrylamidu ve stravě v rozmezí hodnot 0,3-2 mg.kg⁻¹ tělesné hmotnosti člověka. Mezi hlavní zdroje akrylamidu pak patří smažené bramborové výrobky (zejména hranolky a bramborové lupínky), běžné pečivo a sušenky a dále ostatní kategorie potravin včetně kávy (Krishnakumar & Visvanathan 2014; Capuano & Fogliano 2016).

Tabulka 3 uvádí průměrný denní příjem akrylamidu ve vybraných státech. Získaná data ve většině případech korelují se složením potravního koše, která je v daných zemích běžná. Nejnižší příjem akrylamidu ve stravě má dle očekávání Japonsko a Čína, nejvyšší pak země západní Evropy a USA. Poměrně překvapivý byl zjištěný příjem akrylamidu v Korei, vzhledem k tomu, že Korejci mají stravu velmi podobnou státům s nejnižšími příjmy akrylamidu vůbec. Obecně lze tedy konstatovat, že určitý obsah akrylamidu je v lidské stravě běžně obsažen (Koszucka et al. 2019).

Tab. 3 Průměrný denní příjem akrylamidu ve vybraných státech

Stát	Průměrný denní příjem akrylamidu (µg/kg)
Korea	1.04
Mexiko	0.68
Švédsko	0.50
Estonsko	0.48
Itálie	0.45
Nizozemsko	0.32
Německo	0.32
Kanada	0.29
Čína	0.19
Japonsko	0.10–0.15

Zdroj: Koszucka et al. (2019)

Velíšek & Hajšlová (2009) dále uvádějí, že ve Švédsku je podíl kávy na dietární expozici akrylamidem asi 39 %, zatímco v Holandsku pouhých 13 %. Ve Spojených státech se připisuje kávě pouhých 7 % denního příjmu akrylamidu, zatímco smaženým výrobkům z brambor až 39 % (Velíšek & Hajšlová 2009).

Dietární příjem akrylamidu se však liší také v závislosti na věku. EFSA (2015) uvádí, že nejvíce exponovanými skupinami jsou děti a adolescenti. Z provedených průzkumů vyplynulo, že průměrná dietární expozice u dětí činí 0,5-1,9 µg.kg⁻¹ tělesné hmotnosti. Oproti tomu u dospělých je odhadována dietární expozice akrylamidem na 0,4-0,9 µg.kg⁻¹ tělesné hmotnosti. Příjem akrylamidu u dětí je významně zvyšován smaženými výrobky z brambor, snídaňovými cereáliemi a dalšími výrobky z obilovin (EFSA 2015).

















1.6.4 Faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v potravinách



Rozsáhlé studie mechanismů vzniku akrylamidu v potravinách odhalily, že pro výsledný obsah v tepelně zpracovaných výrobcích jsou klíčové následující faktory (Velíšek & Hajšlová 2009):

- Obsah prekurzorů akrylamidu (redukujících cukrů, asparaginu, příp. dalších volných aminokyselin ve výchozí surovině)
- Teplota aplikovaná při zpracování či výrobě
- Obsah vody ve výrobku
- Hodnota pH
- Použití aditiv v receptuře

Konkrétní faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v jednotlivých kategoriích potravin zobrazuje obrázek 3.

Obr. 3 Faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v potravinách

Kategorie	Agronomické faktory	Receptura	Proces přípravy	Finální příprava
Bramborové produkty	 sacharidy		 teplota, předúprava	 barva
Chléb, sušenky, pekařské zboží	 asparagin	 NH ₄ HCO ₃	 kynutí, vlhkost	 barva
Snídaňové cereálie	 asparagin			
Káva			 tmavé pražení	 skladování

 nízký nebo žádný vliv  vysoký vliv

Zdroj: Confederation of Food and Drink Industries in the EU (2009)

U bramborových produktů je omezujícím faktorem tvorby akrylamidu zejména obsah redukujících cukrů. Ten se liší v závislosti na kultivaru (tedy i genotypu), vegetačním období i skladovacích podmínkách. Konvenční skladovací teplota (cca 4 °C) může významně zvýšit obsah sacharidů v bramborách. Současné trendy tedy směřují k výběru odrůd s nižším obsahem redukujících cukrů a ke zvyšování průměrné skladovací teploty na 8 °C (Pedreschi et al. 2014).

U pekařských výrobků (a snídaňových cereálií) hraje naopak nejdůležitější roli při tvorbě akrylamidu obsah asparaginu v mouce jakožto výchozí suroviny. Obecně je obsah asparaginu vyšší v moukách celozrnných, proto mohou celozrnné výrobky obsahovat i více akrylamidu. Obsah akrylamidu v obilovinách však opět závisí na genotypu rostliny, není však natolik závislý na podmínkách skladování. Klíčovou úlohu může hrát také hnojení obilovin. Se

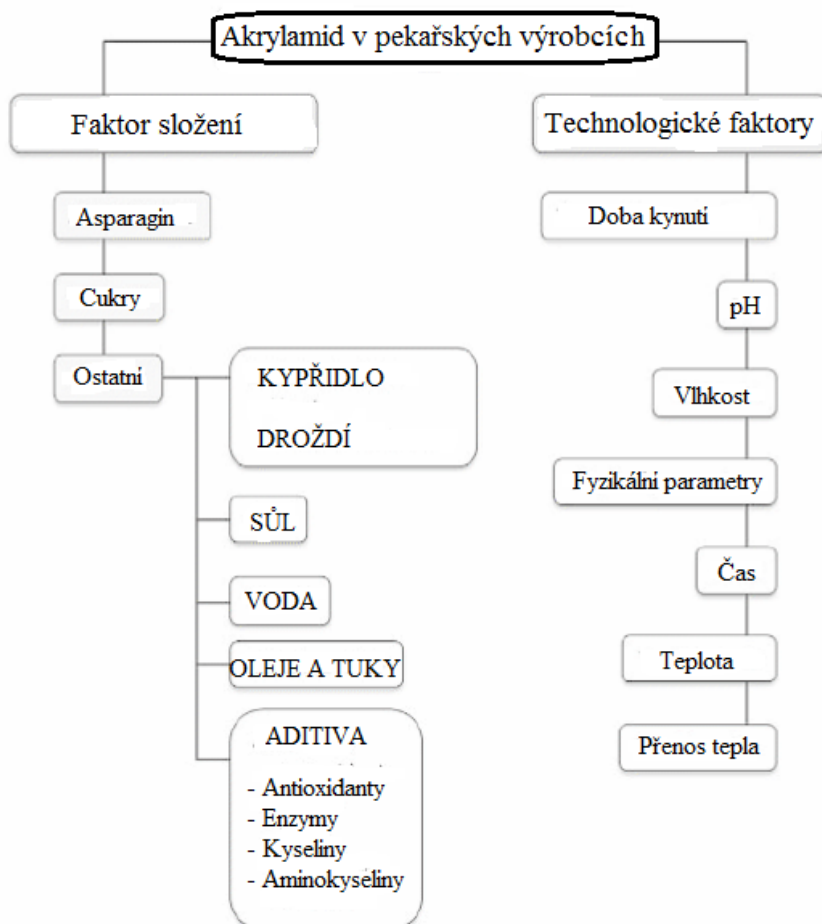
zvyšující se dostupností dusíku rostlině totiž vzrůstá i obsah asparaginu ve finální surovině, tedy v zrně (Pedreschi et al. 2014).

Ukázalo se, že u kávy má větší vliv obsah volného asparaginu nežli obsah redukujících cukrů. Na obsah akrylamidu v kávě mají největší vliv skladovací podmínky. Dále je obsah akrylamidu silně závislý i na teplotě při pražení, přičemž nižší obsah akrylamidu byl zjištěn u tmavě pražené kávy (Capuano & Fogliano 2016).

Faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v pekařských výrobcích

Faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v pekařských výrobcích shrnuje obrázek 4. Bylo prokázáno, že klíčovým faktorem vzniku akrylamidu v pekařských výrobcích je obsah volného asparaginu ve výchozích surovinách. Obsah volného asparaginu se velmi liší v závislosti na odrůdě a druhu obiloviny, důležitou roli hrají ale i klimatické a geografické podmínky. Obecně lze však konstatovat, že mouky celozrnné mají vyšší podíl volného asparaginu oproti jiným druhům mouk (Capuano & Fogliano 2016, Corol et al. 2016).

Obr. 4 Faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v pekařských výrobcích



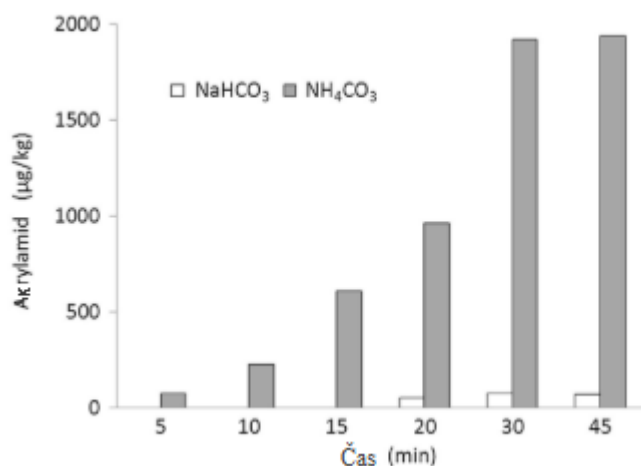
Zdroj: Gökmen (2016)

Hlavními přísadami jsou v pekařských produktech mouka, voda, sůl, droždí (či jiné použité kypřidlo), případně další přísady (např. oleje a tuky či různá aditiva). Je známo, že

asparagin a redukující cukry jsou hlavními prekurzory vzniku akrylamidu. U pečiva je, jak již bylo zmíněno výše, hlavním prekurzorem asparagin, který je zároveň limitujícím faktorem vzniku akrylamidu v pekařských výrobcích. Bylo totiž zjištěno, že přídavek asparaginu do těsta významně ovlivní výsledný obsah akrylamidu ve výrobku, zatímco přídavek redukujících cukrů nikoli. Hlavním zdrojem asparaginu je v pečivu mouka, proto vždy záleží na druhu použité mouky, ale také konkrétním kultivaru, podmínkách pěstování a stupni vymletí zrn. Obsah redukujících cukrů může mít větší vliv u sladkého pečiva, kdy se doporučuje nahrazovat redukující cukry sacharózou (Gökmen 2016).

Ostatní složky pekařských výrobků mají také nemalý vliv na výsledný obsah akrylamidu. Droždí (neboli kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*) dokážou využívat asparagin v procesu fermentace, proto lze prodloužením doby kynutí těsta docílit snížení obsahu asparaginu, což je uvedeno také v technologických faktorech na obrázku 4. Jako kypřící přípravky se nejčastěji používají hydrogenuhličitan sodný (čatěji nazývaný jedlá soda) a uhličitan amonný. Bylo zjištěno, že uhličitan amonný zvyšuje obsah akrylamidu, zatímco hydrogenuhličitan sodný obsah akrylamidu snižuje, neboť zvyšuje pH (Gökmen 2016). Tento vztah zobrazuje následující obrázek 5.

Obr. 5 Výskyt akrylamidu po přidavku hydrogenuhličitanu sodného a hydrogenuhličitanu amonného



Zdroj: Gökmen (2016)

Obsah akrylamidu však mohou ovlivňovat i další přísady, mezi něž patří sůl, tuky a oleje, přídavek vody a různá aditiva. Sůl neboli chlorid sodný je i přes malý obsah v pekařských výrobcích velmi významnou složkou, protože ovlivňuje technologické i sensorické parametry pekařských výrobků. Sůl má také prokazatelný inhibiční efekt na proces vzniku akrylamidu. Mezi aditiva, která mohou snižovat obsah akrylamidu patří antioxidanty, enzymy, kyseliny či aminokyseliny (Gökmen 2016).

Všechny tyto skupiny aditiv jsou poměrně perspektivní, neboť jsou používány jen ve velmi malém množství, a proto tolik neovlivňují sensorické změny v produktech. Příkladem může být přídavek organických kyselin, což je považováno za jednoduchou a efektivní metodu snížení obsahu akrylamidu v pekařských výrobcích. Dále se může jednat o různé antioxidanty,

kationty či aminokyseliny (Claus et al. 2008). Podrobněji bude tato problematika rozebrána v kapitole týkající se minimalizace akrylamidu v pekařských výrobcích dále.

Technologické faktory výroby hrají důležitou roli při tvorbě akrylamidu. Lze konstatovat, že barva kůrky u pečiva silně koreluje s obsahem akrylamidu v daném pečivu. V tomto ohledu jsou nejpodstatnější faktory teploty a vlhkosti vzduchu během pečení. Je uváděno, že ve srovnání s konvenčními podmínkami lze procesem optimalizace těchto procesů snížit obsah akrylamidu až o 50 %. Dalšími možnostmi, jak lze snížit obsah akrylamidu, je také pečení v parní troubě, tedy při vyšší vlhkosti a snižováním teploty pečení (Keramat et al. 2010).

Kromě teploty je důležitý i přenos tepla při procesu pečení. Při srovnání etážových (přenos tepla sáláním) a horkovzdušných (přenos tepla konvekci) pecí byl zjištěn vyšší obsah akrylamidu u chlebu pečeném v horkovzdušné troubě. Je to s nejvyšší pravděpodobností dáno tím, že nucená cirkulace vzduchu vede k tomu, že se kůrka chlebu dříve vysuší a nízký obsah vlhkosti následně vede ke zvýšené tvorbě akrylamidu (Claus et al. 2008).

1.6.5 Akrylamid ve výrobcích v ČR

Problematikou výskytu akrylamidu ve výrobcích prodávaných v České republice se zabývala Potravinářská komora ČR, která provedla výzkum zaměřený na různé skupiny výrobků, který byl zveřejněn v roce 2018. Výsledky tohoto výzkumu ve srovnání s porovnávacími hodnotami akrylamidu jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Výskyt akrylamidu ve vybraných výrobcích v ČR

Testovaná skupina potravin	Stanovený obsah akrylamidu (µg/kg)	Porovnávací hodnota akrylamidu (µg/kg)
Káva instantní	270-650	850
Káva mletá nebo zrnková	140-300	400
Pšenično-žitný chléb 1. skupina	30-75	100
Pšenično-žitný chléb 2. skupina	< 30	100
Pšeničné pečivo	< 30	50
Ostatní běžné pečivo	< 30 (15 výrobků), 30-62 (5 výrobků)	100
Snídaňové cereálie z kukuřice	< 75	150
Snídaňové cereálie ostatní	< 30 - 290	300
Jemné pečivo	< 30	300

Zdroj: Potravinářská komora ČR (2018)

Tímto výzkumem bylo zjištěno, že všechny testované skupiny výrobků zdaleka nedosahují porovnávacích hodnot pro akrylamid, které stanovila Evropská unie. Proto lze konstatovat, že problém vysokého obsahu akrylamidu u pekařských výrobků a kávy u nás pravděpodobně není natolik závažný. Výzkum se však netýkal výrobků z brambor a dalších skupin výrobků, které mohou obsahovat více akrylamidu v porovnání s testovanými výrobky, ačkoli jsou konzumovány v menší míře (Potravinářská komora ČR 2018).

1.7 Legislativa EU a eliminační opatření

V roce 2015 zveřejnil Evropský úřad pro bezpečnost potravin vědecké stanovisko týkající se akrylamidu v potravinách. Odborníci z Panelu pro kontaminanty v potravinovém řetězci (zkráceně CONTAM) potvrdili, že akrylamid představuje potenciální riziko v podobě karcinogenity pro člověka. Zároveň však uvedli i to, že současná dietární expozice není znepokojující (EFSA 2015).

1.7.1 Nařízení Komise EU

Nařízení Komise Evropské unie 2017/2158 ze dne 20. listopadu 2017 stanovuje zmírňující opatření a porovnávací hodnoty pro snížení přítomnosti akrylamidu v potravinách. Toto nařízení uvádí, že s ohledem na potenciální karcinogenní účinky akrylamidu je nutné zajistit bezpečnost potravin, tedy snížit obsah akrylamidu pomocí vhodných zmírňujících opatření. Ta by měla vést ke snížení množství akrylamidu bez nežádoucího ovlivnění kvality a mikrobiální bezpečnosti výrobků (Nařízení Komise (EU) 2017/2158 2017)

Ke zjišťování účinnosti zmírňujících opatření byly jako ukazatele stanoveny porovnávací hodnoty. Má se za to, že uplatněním správné praxe by se měl obsah akrylamidu v potravinách snížit o 10-15 %. Účinnost zmírňujících opatření by měla být ověřována odběrem vzorků a následnou analýzou. Bylo by tedy vhodné stanovit požadavky na odběr vzorků a analýzu, které by měli provozovatelé potravinářských podniků provádět. Porovnávací hodnoty jsou uvedeny v tabulce v Příloze 1.

Zmírňující opatření platí pro:

- a) hranolky, jiné krájené (fritované) výrobky a plátkované bramborové lupínky z čerstvých brambor;
- b) bramborové lupínky, snacky, kreky a jiné bramborové výrobky z bramborového těsta;
- c) chléb;
- d) snídaňové cereálie (kromě obilné kaše);
- e) jemné pečivo: keksy, sušenky, suchary, cereální tyčinky, scones, kornouty, oplatky, lívance a perník, jakož i kreky, křupavé chleby a náhražky chleba. V této kategorii je krekr trvanlivá sušenka (pečený výrobek se základem z obilné mouky);
- f) kávu:
 - i) praženou kávu;
 - ii) instantní (rozpustnou) kávu;
- g) náhražky kávy;
- h) potraviny pro malé děti a obilné příkrmy určené pro kojence a malé děti.

Související doporučení Komise EU 2019/1888 pak uvádí také seznam konkrétních potravin, u kterých se doporučuje monitorovat obsah akrylamidu. Mezi pekařské výrobky, u kterých by se měl monitorovat obsah akrylamidu patří kromě běžného pečiva také pita chléb, tortilly, croissanty, donuty a koblihy, dále speciální běžné pečivo (chléb pumprnikl, ciabatta s

olivami, cibulový chléb apod.), palačinky a lívance, fritované křupavé sladké výrobky a churros (Doporučení Komise (EU) 2019/794 2019).

Konkrétní zmírňující opatření se liší podle toho, co podnik vyrábí. Pro provozovatele potravinářských podniků produkující chléb a jemné pečivo jsou jako zmírňující opatření navržena: prodloužení doby fermentace (kvasu nebo droždí), snížení teploty a prodloužení doby pečení a neposlední řadě také optimalizace obsahu vlhkosti těsta. Samotné výrobky pak musí mít světlejší výslednou barvu a mělo by se zamezit také vzniku tmavě opečené kůrky, pokud tmavá barva nesouvisí se specifickým složením či povahou chleba (Nařízení Komise (EU) 2017/2158 2017).

1.7.2 Acrylamide Toolbox

Po zjištění akrylamidu v potravinách se legislativní orgány a potravinářský průmysl rozhodly zjistit, jak je možné snížit obsah akrylamidu v souvislosti s tzv. principem ALARA. Organizace FoodDrinkEurope tyto snahy koordinovala a shromáždila výsledky v publikaci nazvané Acrylamide Toolbox. Výše zmíněný princip ALARA představuje zkratku anglických slov „as low as reasonably achievable“, což v překladu znamená „tak málo, jak je jen rozumně dosažitelné“. To pro výrobce znamená, že by měli přijmout opatření sloužící ke snížení daného kontaminantu (v tomto případě tedy akrylamidu) (Potravinářská komora ČR 2019).

Publikace s názvem Acrylamide Toolbox je vydávána již od roku 2013. Nejnovější publikace vydaná v roce 2019 shrnuje základní poznatky o akrylamidu a představuje změny, které nastaly od roku 2013. Acrylamide Toolbox představuje dostupné nástroje snížení akrylamidu v potravinách, které mohou využívat jak malé a střední podniky, tak podniky velké. Tato doporučení se zaměřují na výrobky z brambor a pekařské výrobky, ale zmiňovány jsou také snídaňové cereálie, káva a další výrobky s vyššími obsahy akrylamidu (FoodDrinkEurope 2019).

1.7.3 Akrylamid a FDA

FDA neboli Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (anglicky Food and Drug Administration) je americká vládní agentura, která zodpovídá za kontrolu nejen potravin, ale také léčiv a doplňků stravy, kosmetických přípravků apod. Byla založena již v roce 1906 a v čele tohoto úřadu stojí tzv. komisař (FDA 2020).

FDA zahájila řadu aktivit již v roce 2002, kdy byl poprvé objeven akrylamid v potravinách. Součástí jejích snah bylo v první řadě vypracování akčního plánu pro akrylamid, dále vývoj dostatečně citlivých metod pro jeho stanovení, analýza obsahu akrylamidu v potravinách, zdroje a množství dietární expozice pro americkou populaci, provedení toxikologických výzkumů a v neposlední řadě i informování spotřebitelů o akrylamidu a zapojení se do mezinárodních snah o výzkum a snižování obsahu akrylamidu v potravinách. Součástí akčního plánu, vzniklého již v roce 2004 byl mimo jiné vývoj levných screeningových metod stanovení akrylamidu a identifikace mechanismů jeho tvorby v potravinách. V roce 2013 byly zveřejněny Pokyny pro potravinářský průmysl týkající se akrylamidu v potravinách. Lze konstatovat, že FDA vyvinula značné úsilí za účelem stanovení toxických účinků akrylamidu a vývoji možných zmírňujících opatření v potravinách. Navzdory tomu však nestanovila

maximální povolené limity pro akrylamid v potravinářských výrobcích (Mustăţea & Popa 2015).

1.7.4 Nástroje minimalizace obsahu akrylamidu v potravinách

V celosvětovém měřítku bylo vyvinuto značné úsilí při navrhování strategií vedoucích k redukci akrylamidu ve vybraných skupinách potravinářských výrobků. Tam patří zejména výrobky z brambor, výrobky z obilovin a káva (Lineback et al. 2011).

Hlavním problémem při snaze snížit obsah akrylamidu v potravinářských produktech se ukázalo být to, že tato látka vzniká Maillardovou reakcí, která kromě tvorby akrylamidu způsobuje žádanou barvu, chuť i strukturu finálního výrobku. Proto se může stát, že se snížením obsahu akrylamidu v potravinách poklesne i organoleptická kvalita daných produktů. Úsilí by se proto mělo zaměřit na oddělení procesů tvorby akrylamidu od průběhu Maillardovy reakce. Bylo navrženo několik strategií snížení obsahu akrylamidu v potravinách, některé z nich však způsobují nežádoucí změny výrobků. Jako příklad lze uvést nadměrné zhnědnutí a tvorba nežádoucích příchutí v důsledku přidání glycinu či naopak nedostatečné zhnědnutí v důsledku snížení teploty při tepelné úpravě (Capuano & Fogliano 2016).

Většina metod minimalizace akrylamidu v potravinách je přesto založena na snížení intenzity Maillardovy reakce, a to buď eliminací prekurzorů v surovinách či změnou technologických parametrů ve výrobě. Některé techniky se zabývají i odebráním akrylamidu až poté, co je v potravinách vytvořen. Za nejúčinnější jsou pak považovány technologie kombinované, protože není tolik ovlivněna organoleptická kvalita potravin (Pedreschi et al. 2014). V zásadě tedy jde o dva způsoby minimalizace akrylamidu, a to snížení obsahu prekurzorů či změny různých parametrů v procesu výroby.

Snížení obsahu prekurzorů

Nejúčinnějším způsobem, jak lze snížit obsah akrylamidu v potravinách je snížení obsahu jeho prekurzorů ve výchozích surovinách. Bylo zjištěno, že obsah volných aminokyselin i redukcujících cukrů silně ovlivňuje genetika a že existuje vysoká variabilita mezi různými kultivary (Xu et al. 2014). Proto je možno využívat šlechtění či genetické modifikace za účelem snížení obsahu prekurzorů v surovinách (např. bramborách či obilí) (Rifai & Saleh 2020).

Jednou z dalších možností, jak lze dosáhnout snížení obsahu asparaginu, je použití mikrobiálního enzymu asparaginázy. Tento enzym dokáže hydrolyzovat asparagin na kyselinu asparagovou a amoniak. Přídavkem asparaginázy do těst bylo docíleno snížení akrylamidu ve výrobcích o 34-92 %. Ošetření brambor asparaginázou před smažením pak vedlo ke snížení akrylamidu o 60-85 % u hranolků a až o 60 % u bramborových lupínků. FDA označila použití asparaginázy za bezpečné a může být tedy použita i pro potravinářské výrobky (Friedman 2015).

Bylo zjištěno, že některé druhy bakterií dokážou využívat akrylamid jako zdroj uhlíku a dusíku a některá probiotika mohou dokonce snižovat hladinu akrylamidu prostřednictvím vazby na buněčnou stěnu či produkci enzymu asparaginázy. Bakterie mléčného kvašení a některé probiotické bakterie proto mohou být použity jako nástroje pro snížení obsahu

akrylamidu v potravinách, ale také mohou fungovat jako detoxikanty přímo v lidském organismu. Je však zapotřebí provést více studií in vivo, které by objasnily mechanismus působení těchto bakterií na akrylamid (Khorshidian et al. 2020).

Změny parametrů v procesu výroby

Tvorba akrylamidu v potravinách může být dále významně ovlivněna i procesem výroby. Obsah akrylamidu ve výsledných produktech je možné ovlivnit i na jednotlivých úrovních technologického zpracování, tzn. například vhodnou úpravou receptury. Důležitým faktorem je přitom finální úprava výrobků, kdy je doporučováno při tepelném zpracování použití nižší teploty po delší dobu, avšak s negativním důsledkem snížení hodinové produkce výrobků (Faměra 2019).

Faktory zpracování potravin, jako je teplota, pH či přídavek aditiv tak mohou hrát významnou roli. Zdá se, že ke snížení obsahu akrylamidu přispívá snížení pH, neboť bylo zjištěno, že nejvíce akrylamidu se tvoří, pokud je pH rovno 8. Proto lze snižovat obsah akrylamidu ponořením do roztoků organických kyselin. Nízké pH však může mít negativní vliv na chuť potravin (v závislosti na koncentraci použitých kyselin) (Pedreschi et al. 2014).

Za nejkritičtější technologické faktory jsou však obecně považovány doba a teplota při tepelné úpravě výrobků. Vyšší teplota a delší doba trvání tepelné úpravy vedou jednoznačně k vyššímu obsahu akrylamidu. U bramborových výrobků se mimo jiné doporučuje blanšírování z důvodu vyluhování prekurzorů (redukujících cukrů) před samotnou tepelnou úpravou výrobku (Krishnakumar & Visvanathan 2014).

Neméně důležitý je také obsah vody ve výrobku. Bylo zjištěno, že nejvíce akrylamidu se tvoří, pokud ve vodní aktivitě (a_w) mezi hodnotami 0,4 a 0,8 (Rifai & Saleh 2020).

Další možností, jak lze přispět ke snižování akrylamidu je také použití aditiv. Mezi aditiva zkoumaná v souvislosti s akrylamidem patří zejména antioxidanty, enzymy, aminokyseliny, vitaminy a kationty prvků. Přídavek antioxidantů ovlivňuje Maillardovu reakci, která vede k tvorbě akrylamidu. Antioxidanty přítomné v rozmarýnovém extraktu, bambusových listech či v zeleném čaji mohou účinně redukovat obsah akrylamidu v potravinách. Podobně funguje i přídavek některých kationtů (např. Na^+ , Ca^{2+} či Mg^{2+}). Stejný účinek v podobě pozitivní redukce obsahu akrylamidu může mít i přídavek některých aminokyselin, mezi něž patří glycin, cystein, methionin, lysin či glutathion (Krishnakumar & Visvanathan 2014).

Snížení obsahu akrylamidu v pekařských výrobcích

Jak již bylo zmíněno, klíčovým faktorem pro tvorbu akrylamidu v pekařských výrobcích je obsah asparaginu ve výchozích surovinách. Obsah volného asparaginu je odlišný u různých druhů obilovin i jejich kultivarů a zvyšuje se i s množstvím otrub v mouce, takže celozrnné mouky obsahují obvykle více tohoto prekurzoru nežli jiné druhy mouk. Uvádí se, že velký vliv na obsah asparaginu má i způsob pěstování obilovin, tedy geografické a klimatické podmínky a agronomická praxe. Bylo zjištěno, že některé agronomické postupy mají významný dopad na vznik volného asparaginu. Jako příklad lze uvést hnojení sírou, kdy obsah asparaginu přímo závisí na obsahu síry v půdě. Všechny tyto aspekty ovlivňují množství asparaginu

v mouce a jejich identifikace vedla ke konkrétním postupům snížení obsahu akrylamidu v pekařských výrobcích (Capuano & Fogliano 2016).

Snahy omezit hromadění volného asparaginu v pekařských výrobcích zahrnovalo následující strategie (Curtis & Halford 2016):

1. Identifikace již existujících odrůd s nízkými koncentracemi asparaginu zrn
2. Identifikace genotypů s nízkým obsahem asparaginu v zrně, které prozatím nejsou současnými komerčními odrůdami, ale mohly by být začleněny do šlechtitelských programů
3. Rozvíjení komplexního porozumění metabolismu asparaginu
4. Vysvětlení genetických a environmentálních faktorů, které mají vliv na akumulaci asparaginu v zrně
5. Pochopení vztahu mezi obsahem asparaginu, obsahem síry a dusíku v zrně a tvorbou akrylamidu
6. Identifikace lokusů kvantitativních znaků (QTL), genů a markerů pro použití šlechtiteli rostlin k produkci odrůd s velmi nízkým obsahem akrylamidu

Kromě výše uvedených postupů se objevují i snahy o snížení akrylamidu v pekařských výrobcích pomocí úpravy technologických postupů výroby těchto specifických produktů. Byly navrženy změny receptury spočívající v nahrazení hydrogenuhličitanu amonného jiným kypřicím činidlem, přidání vybraných aminokyselin (glycinu), vápenatých solí, antioxidantů či organických kyselin (Capuano & Fogliano 2016).

Obrázek 5 shrnuje konkrétní nástroje, které mají za cíl snížit obsah akrylamidu v pekařských výrobcích a jejich efekt na výsledný produkt.

Obr. 5 Nástroje snížení obsahu akrylamidu v pekařských výrobcích

<p>Výběr surovin</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Složení cukrů v obilných zrnech není klíčovým faktorem vzniku akrylamidu. • Bylo zjištěno, že půdy zbavené síry mají značný vliv na koncentraci volného asparaginu u některých obilovin. Menší množství síry v půdě vede ke zvýšení koncentrací asparaginu v plodině, a tudíž vyššímu riziku vzniku akrylamidu. Tepelně upravená pšenice vyrobená z mouky s nedostatečným obsahem síry také ovlivňuje spektrum aromatických sloučenin a tím i organoleptické vlastnosti.
<p>Receptura</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Některé předem zpracované látky mohou již obsahovat vysoké množství akrylamidu, které by mohlo mít vliv na obsah v hotovém výrobku. • Pokud se používají kypřicí látky, například v tvrdých sladkých sušenkách, pomůže někdy nahrazení hydrogenuhličitanu amonného. Mezi jeho alternativy patří uhličitan draselný s vinanem draselným nebo difosforečnan sodný s hydrogenuhličitanem sodným. • Bylo prokázáno, že přidavkem vápenatých solí (uhličitan vápenatý nebo síran vápenatý) prokazatelně snižuje tvorbu akrylamidu. • Asparagináza je určena k vyzkoušení pro určité výrobky, např. perník, křupavý chléb (knäckebrot) a sušenky s vysokým obsahem tuku a cukru. • Používá-li se fruktóza ve výrobcích jako je perník, měla by být nahrazena glukózou. Měly by se používat pouze glukózové sirupy s nízkým obsahem fruktózy.

	<ul style="list-style-type: none"> • Při menším množství celozrnné mouky se tvoří méně akrylamidu.
Návrh procesu	<ul style="list-style-type: none"> • Pečení při nižší teplotě po delší dobu, ale na stejný konečný obsah vlhkosti byl účinný na snížení obsahu. Následná zpětná vazba k tepelné úpravě v závislosti na obsahu vlhkosti. • Doba a teplotu během pečení nastavujte, aby se zabránilo nadměrnému zhnědnutí kůrky.
Vlastnosti hotového výrobku	<ul style="list-style-type: none"> • Může to mít vliv na zmenšení množství těsta, chuť nebo strukturu. Jsou-li použity jako alternativa sodné soli, dejte si pozor, aby hotový výrobek neobsahoval příliš mnoho sodíku. • Výrobek bude mít určitě světlejší, méně „propečenou“ barvu. • Dejte pozor, aby výrobek nebyl nedopečený, což by mohlo způsobit mikrobiologické problémy při skladování.

Zdroj: Potravinářská komora ČR (2019)

Přídavkem glycinu, organických kyselin, vápenatých solí a antioxidantů se značně snižuje obsah akrylamidu ve výsledných výrobcích. Nevýhoda tohoto postupu spočívá ve snížení sensorické kvality po použití některých z těchto přídavných látek. Další strategií může být i zvětšení objemu pekařských výrobků, protože nejvíce akrylamidu se nachází zpravidla v povrchové vrstvě („kůrce“) těchto výrobků. Pokud jde o změnu technologie výroby, je na místě prodloužit dobu fermentace pekařských výrobků, protože tento postup prokazatelně snižuje obsah asparaginu v těstě. Další možností je přídavek enzymu asparaginázy, který je schopen katalyzovat hydrolyzu asparaginu, a tím opět snižovat jeho obsah. Na závěr je důležité zmínit také technologii tepelné úpravy, kde je velmi důležitá optimalizace času a teploty pečení (tj. nižší teplota po delší dobu) pekařských výrobků tak, aby byl obsah akrylamidu co nejnižší, ale zároveň byla zachována sensorická kvalita výrobků (Cwиковá 2014; Capuano & Fogliano 2016).

1.7.5 Monitoring obsahu akrylamidu v potravinách

Vzhledem k tomu, že Komise Evropské unie zařadila akrylamid mezi kontaminanty v potravinách, a tedy jako složku představující potenciální riziko pro lidské zdraví, bylo dospěno k závěru, že je třeba jeho obsah v potravinách pravidelně sledovat. To se týká zejména potravin s vysokým obsahem akrylamidu nebo potravin, které jsou konzumovány velmi často (Koszucka et al. 2019).

V letech 2007-2010 byl ve 25 evropských zemích proveden rozsáhlý monitoring obsahu akrylamidu u vybraných skupin výrobků. Z tohoto průzkumu vyplynulo několik trendů. Pokles obsahu akrylamidu nastal u sušenek a obilné dětské výživy. Nárůst byl naopak pozorován u kávovinových náhražek, instantní kávy a hranolek z čerstvých brambor (Cwиковá 2014). Výsledky provedeného monitoringu obsahu akrylamidu uvádí následující tabulka 4.

Tab. 4 Výsledky monitoringu obsahu akrylamidu provedeného v letech 2007-2010

Kategorie potravin	Rok 2007		Rok 2008		Rok 2009		Rok 2010	
	X	M	X	M	X	M	X	M
Hranolky (upravené ke konzumaci)	356	2668	277	2466	342	3380	338	2174
Bramborové lupínky	551	4180	580	4382	639	4804	675	4533
Předsmažené hranolky	306	2175	223	3025	270	2762	331	3955
Čerstvý chléb	75	1778	53	565	46	1460	30	425
Snídaňové cereálie	149	1600	155	2072	139	1435	138	1290
Sušenky, kreky, chlebové čipsy	326	4200	272	3307	247	4095	333	5849
Káva a náhražky kávy	373	4700	393	7095	463	4300	527	8044
Dětská výživa jiná než obilná	29	162	22	180	38	677	69	1107
Dětská výživa obilná	119	1215	69	1200	72	710	51	578
Snack (nebramborový)	275	21110	238	2120	208	621	192	1910
Müsli, obilná kaše	241	1315	33	112	58	487	80	420

X – průměrná hodnota [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$], M – maximální hodnota [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Zdroj: Cwиковá (2014)

V souvislosti s problematikou monitoringu akrylamidu v potravinách vydala Komise EU Doporučení 2019/1888. To doporučuje další monitoring u vybraných skupin potravinářských výrobků a zároveň stanovuje povinnost členských států a provozovatelů potravinářských podniků předat do 1. října každého roku údaje shromážděné během roku předchozího organizaci EFSA (Doporučení Komise (EU) 2019/1888 2019).

1.7.6 Doporučení pro výrobce potravin a spotřebitele

Obecným doporučením plynoucím z rozsáhlých studií akrylamidu je omezit tvorbu akrylamidu pomocí modifikace technologických podmínek a volbou vhodné suroviny s nízkým obsahem prekurzorů akrylamidu. Konkrétní strategie pro minimalizaci tvorby akrylamidu vycházejí zejména ze znalosti mechanismů Maillardovy reakce (Velíšek & Hajšlová 2009).

Doporučení pro výrobce potravin

Doporučení pro výrobce potravin se liší v závislosti na tom, jakou skupinu výrobků podnik produkuje. Pro výrobky z brambor by se měly vybírat odrůdy s nízkým obsahem redukujících cukrů a brambory by měly být skladovány při teplotách nad 6 °C. Při procesu smažení by se mělo dbát na optimalizaci tohoto procesu tak, aby byl snížen výsledný obsah akrylamidu. Proto by teplota neměla překročit 175 °C (Nařízení Komise (EU) 2017/2158 2017).

Co se týká pekařských výrobků, je velmi důležité je tepelně upravovat jen do dosažení světlé zlatavé barvy, nikoli do barvy tmavší. Dále je doporučováno pečení při nižší teplotě po delší dobu. V neposlední řadě je pekařským podnikům doporučováno prodloužit dobu fermentace výrobků. U jemného pečiva se doporučuje nahradit hydrogenuhličitan amonný jinými kypřícími látkami a fruktózu glukózou z důvodu minimalizace akrylamidu. Snižování doby pečení však může mít negativní vliv na výsledné výrobky, které mohou mít příliš světlou barvu nebo mohou způsobovat mikrobiologické problémy při skladování. Proto se doporučuje dbát na správnou optimalizaci pekařských technologií (EFSA 2015).

Doporučení pro spotřebitele

Doporučení pro minimalizaci akrylamidu u potravin připravovaných v domácnosti by měla být přizpůsobena kulinářským tradicím a národním stravovacím návykům. Omezit vznik akrylamidu může i pečlivý výběr surovin a šetrná tepelná úprava pokrmů. Pro běžné konzumenty platí základní pravidlo „nepřipalujte, mírně osmažte“. To znamená, že kupříkladu při opékání chleba by měla být barva spíše zlatavá nežli hnědá a při smažení by nemělo docházet k přesmažení a připálení. Brambory by neměly být skladovány v chladničce, protože se tím zvyšuje obsah cukru, a tedy i akrylamidu po tepelné úpravě smažením či pečením. Obecně platným doporučením pro spotřebitele je dodržovat zásady zdravého stravování a jíst vyváženou stravu a využívat různých způsobů tepelné úpravy pokrmů (EFSA 2015).

1.8 Metody stanovení akrylamidu v potravinách

Objev akrylamidu v potravinách vedl ke zkoumání hladin této teoreticky nebezpečné látky a urychlil vývoj metod jeho stanovení v potravinách (Keramat et al. 2011). Pro detekci a stanovení obsahu akrylamidu v tepelně opracovaných výrobcích byla vyvinuta řada metod. Tyto metody jsou založené na rozdílných principech, přičemž nejčastěji se využívají metody chromatografické. Chromatografické metody umožňují rychlé, přesné a reprodukovatelné stanovování akrylamidu. Široce využívána je např. plynová chromatografie a vysokoúčinná kapalinová chromatografie. Pokročilé metody kvantifikace akrylamidu v potravinách jsou důležité pro přesné posouzení expozice touto škodlivou sloučeninou (Oracz et al. 2011).

Nejčastěji používané metody, tedy plynová a kapalinová chromatografie, se využívají pro stanovení akrylamidu ve vodných roztocích či tepelně neopracovaných surovinách. Tepelně opracované potraviny se stanovují (kvůli větším interferencím) těmito metodami ve spojení se selektivními detektory (např. hmotnostní spektrometr) (Papoušek et al. 2013).

Chromatografie obecně patří mezi metody separační, neboť se při ní využívá rovnováhy mezi dvěma nemísitelnými fázemi. Má mnohostranné využití a její hlavní výhoda spočívá v tom, že lze současně směs separovat (zjistit složení) i koncentraci jejích složek. Základem této metody je distribuce složek směsi mezi dvě fáze, které se nazývají fáze stacionární a fáze mobilní. Stacionární fáze může mít různou podobu (např. tuhá fáze či částice), mobilní fázi je pak nejčastěji plyn či kapalina. Tato metoda závisí na tzv. rozdělovacím koeficientu, který vyjadřuje poměr rovnovážných koncentrací v obou zmíněných fázích (Káš et al. 2012).

1.8.1 Kapalinová chromatografie

Kapalinová chromatografie (LC) je běžně používanou metodou pro separaci a kvantifikaci sloučenin dobře rozpustných ve vodě. Koncentrace akrylamidu je nejčastěji testována vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií (HPLC) spojenou s hmotnostní spektrometrií (MS) (Oracz et al. 2011). Jedná se o separační metodu založenou na rozdílu v distribuci látek mezi dvě nestejnorodé fáze. První (mobilní) fází je kapalina, která prostupuje fází stacionární. Základem této metody je odlišná afinita složek směsi k těmto dvěma fázím. Její výhoda spočívá v možném použití pro široké spektrum sloučenin, včetně netěkavých i termolabilních látek (Káš et al. 2012).

1.8.2 Plynová chromatografie

Plynová chromatografie (GC) je další chromatografickou metodou, kde je však mobilní fáze tvořena nosným plynem. Kvantifikace akrylamidu v potravinách se provádí za použití plynové chromatografie spolu s hmotnostním spektrometrem, stejně jako u kapalinové chromatografie. Tato technika umožňuje současné oddělení látky z matricové sloučeniny a provedení kvantitativních stanovení. Její hlavní výhodou je poměrně rychlé a jednoduché stanovení a potřeba pouze malého množství vzorku. Princip této metody spočívá v tom, že v koloně neustále prochází nosný plyn, do kterého je vpraven vzorek, který se odpaří a je dále unášen nosným plynem. Vzorek projde dělicím procesem a detektor dále zachytí koncentraci separovaných látek. Nakonec je určen druh a zastoupení jednotlivých složek vzorku (Káš et al. 2012).

Závěr

Akrylamid je organickou sloučeninou, která se nachází zejména v tepelně upravených potravinách s vyšším obsahem škrobu. Vyskytuje se ve dvou hlavních formách, a to buď jako monomer či jako polymer. Polymerní forma akrylamidu, zvaná polyakrylamid, má široké využití v chemicko-technologickém průmyslu.

V potravinách se akrylamid samovolně tvoří při tepelných úpravách převážně z volného asparaginu a redukujících cukrů při teplotách vyšších než 120 °C. Reakce, při které akrylamid vzniká, se nazývá Maillardova reakce. Dochází při ní k žádoucí změně barvy, chuti a dalších sensorických vlastností potravinářských výrobků. Negativní význam akrylamidu spočívá v potenciálních rizicích pro lidské zdraví, zejména pak v potenciální karcinogenitě.

Tvorba akrylamidu v potravinách je ovlivněna různými faktory, mezi něž patří např. složení výrobku či podmínky zpracování. Nejčastěji se v potravinách tvoří při procesech jako je pečení, smažení, grilování či pražení. Nejdůležitějšími skupinami výrobků, které přispívají k dietární expozici akrylamidem jsou výrobky z brambor, pekařské výrobky a káva. Průměrný denní příjem akrylamidu je odhadován na 0,85 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Vzhledem k potenciálním rizikům, která jsou spojována s akrylamidem, se jeho problematikou začala zabývat také Evropská unie. Ta vydala v roce 2017 nařízení, kterým stanovila zmírňující opatření a porovnávací hodnoty pro snížení přítomnosti akrylamidu v potravinách.

Obsah akrylamidu v potravinách je možno redukovat pomocí velkého množství nástrojů, například snížením obsahu prekurzorů akrylamidu, úpravou technologického zpracování potravin či změnou receptury výrobku. Je však vždy nutné dbát na dopad těchto změn na sensorické a kvalitativní vlastnosti výrobků. Doporučení pro výrobce potravin a spotřebitele pak spočívá ve volbě vhodné suroviny s nízkým obsahem prekurzorů akrylamidu a modifikaci technologických podmínek při tepelné úpravě.

V roce 2018 provedla Potravinářská komora ČR výzkum, který se zaměřoval na výskyt akrylamidu v pekařských výrobcích. Výsledkem bylo zjištění, že obsah akrylamidu v těchto výrobcích nepřevyšoval hodnoty, které jsou stanoveny Evropskou unií. Lze tedy konstatovat, že problém vysokého obsahu akrylamidu v České republice není natolik závažný. Přesto je dobré mít na paměti, že v tomto případě platí přísloví „stokrát nic umožilo osla“.

Literatura

ALVES, Rita C., C. SOARES, Susana CASAL, J.O. FERNANDES a M. Beatriz P.P. OLIVEIRA, 2010. Acrylamide in espresso coffee: Influence of species, roast degree and brew length. *Food Chemistry* [online]. **119**(3), 929-934 [cit. 2020-02-07]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.07.051. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814609009595>.

BASTOS, Deborah Markowicz, Érica MONARO, Érica SIGUEMOTO a Mariana SÉFORA, 2012. *Maillard Reaction Products in Processed Food: Pros and Cons* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/maillard-reaction-products-in-processed-food-pros-and-cons>.

BETHKE, Paul C. a Alvin J. BUSSAN, 2013. Acrylamide in Processed Potato Products. *American Journal of Potato Research* [online]. **90**(5), 403-424 [cit. 2020-02-07]. DOI: 10.1007/s12230-013-9321-4. ISSN 1099-209X. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12230-013-9321-4>.

CAPUANO, Edoardo a Vincenzo FOGLIANO, 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT - Food Science and Technology* [online]. **44**(4), 793-810 [cit. 2020-02-03]. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.11.002. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643810003798>.

CAPUANO, E. a V. FOGLIANO, 2016. CABALLERO, Benjamin. *Encyclopedia of Food and Health*. United Kingdom: Elsevier. ISBN 978-0-12-384947-2.

CIESAROVÁ, Zuzana, 2005. MINIMALIZÁCIA OBSAHU AKRYLAMIDU V POTRAVINÁCH. *Chemické listy* [online]. **2005**(99), 483-491 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005_07_483-491.pdf.

CIESAROVÁ, Z., K. KUKUROVÁ, A. BEDNÁRIKOVÁ a F. J. MORALES, 2009. Effect of heat treatment and dough formulation on the formation of Maillard reaction products in fine bakery products – benefits and weak points. *Journal of Food and Nutrition Research (Slovak Republic)* [online]. **48**(1), 20-30 [cit. 2020-02-29]. ISSN 13368672.

CLAUS, Achim, Reinhold CARLE a Andreas SCHIEBER, 2008. Acrylamide in cereal products: A review. *Journal of Cereal Science* [online]. **47**(2), 118-133 [cit. 2020-02-21]. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.06.016. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521007001257>.

COROL, Delia I., Catherine RAVEL, Marianna RAKSZEGI, Gilles CHARMET, Zoltan BEDO, Michael H. BEALE, Peter R. SHEWRY a Jane L. WARD, 2016. 1 H-NMR screening for the high-throughput determination of genotype and environmental effects on the content of asparagine in wheat grain. *Plant Biotechnology Journal* [online]. **14**(1), 128-139 [cit. 2020-03-08]. DOI: 10.1111/pbi.12364. ISSN 14677644. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/pbi.12364>.

CWIKOVÁ, Olga, 2014. TOXICKÉ ÚČINKY AKRYLAMIDU A JEHO VÝSKYT V POTRAVINÁCH. *Chemické listy*. **108**, 205-210.

DOSTÁLOVÁ, Jana a Pavel KADLEC, 2014. *Potravinářské zbožížnalství: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-208-2.

ERKEKOGLU, Pinar a Terken BAYDAR, 2014. Acrylamide neurotoxicity. *Nutritional Neuroscience* [online]. **17**(2), 49-57 [cit. 2020-02-05]. DOI: 10.1179/1476830513Y.0000000065. ISSN 1028415X.

FAMĚRA, Oldřich, 2019. Nebezpečný akrylamid: Nepéct, nesmažit, negrilovat? *Výživa a potraviny*. **74**(5), 124-125.

FORSTOVA, Veronika, Beverly BELKOVA, Katerina RIDDELLOVA, Lukas VACLAVIK, Josef PRIHODA a Jana HAJLSLOVA, 2014. Acrylamide formation in traditional Czech leavened wheat-rye breads and wheat rolls. *Food Control* [online]. **38**, 221-226 [cit. 2020-02-23]. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.10.022. ISSN 09567135.

FRIEDMAN, Mendel, 2003. Chemistry, Biochemistry, and Safety of Acrylamide. A Review. *Journal of agricultural and food chemistry* [online]. **51**, 4504-4526 [cit. 2019-12-27]. DOI: 10.1021/jf030204+. ISSN 15205118.

FRIEDMAN, Mendel a D. S. MOTTRAM, 2005. *Chemistry and safety of acrylamide in food*. New York: Springer. ISBN 9780387239200.

GÖKMEN, Vural, [2016]. *Acrylamide in food: analysis, content, and potential health effects*. Boston: Elsevier/AP, Academic Press is an imprint of Elsevier. ISBN 9780128028322.

HALFORD, Nigel G. a Tanya CURTIS, 2019. *Acrylamide in food*. New Jersey: World Scientific. ISBN 9781786346582.

KÁŠ, Jan, Milan KODÍČEK a Olga VALENTOVÁ, 2012. *Laboratorní techniky biochemie*. 2. vyd. Praha: VŠCHT. ISBN 978-80-7080-586-2.

KHEZERLOU, Arezou, Mahmood ALIZADEH-SANI a Ali EHSANI, 2018. Formation, Properties, and Reduction Methods of Acrylamide in Foods: A Review Study. *Journal of Fasting and Health* [online]. **6**(1 (special on Food Safety)), 52-59 [cit. 2019-12-29]. DOI: 10.22038/jnfh.2018.34179.1133. ISSN 23452587.

KHORSHIDIAN, Nasim, Mojtaba YOUSEFI, Mahdi SHADNOUSH, Seyed Davar SIADAT, Mehrdad MOHAMMADI a Amir M MORTAZAVIAN, 2020. Using probiotics for mitigation of acrylamide in food products: A mini review. *Current Opinion in Food Science* [online]. [cit. 2020-02-20]. DOI: 10.1016/j.cofs.2020.01.011. ISSN 22147993. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214799320300114>.

KOSZUCKA, Agnieszka, Adriana NOWAK, Ireneusz NOWAK a Ilona MOTYL, 2019. Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 1-16 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.1080/10408398.2019.1588222. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2019.1588222>.

KRISHNAKUMAR, T. a R. VISVANATHAN, 2014. Acrylamide in Food Products: A Review. *Food Processing* [online]. **5**(7), 1-10 [cit. 2020-01-27]. DOI: 10.4172/2157-7110.1000344. ISSN 21577110.

KUMAR, Jaya, Srijit DAS a Seong Lin TEOH, 2018. Dietary Acrylamide and the Risks of Developing Cancer: Facts to Ponder. *Frontiers in Nutrition* [online]. **5** [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.3389/fnut.2018.00014. ISSN 2296-861X. Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnut.2018.00014/full>.

LINEBACK, David R., James R. COUGHLIN a Richard H. STADLER, 2012. Acrylamide in Foods: A Review of the Science and Future Considerations. *Annual Review of Food Science and Technology* [online]. **3**(1), 15-35 [cit. 2020-02-04]. DOI: 10.1146/annurev-food-022811-101114. ISSN 1941-1413. Dostupné z: <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-022811-101114>.

MATOSO, Viviane, Paula BARGI-SOUZA, Fernanda IVANSKI, Marco A. ROMANO a Renata M. ROMANO, 2019. Acrylamide: A review about its toxic effects in the light of Developmental Origin of Health and Disease (DOHaD) concept. *Food Chemistry* [online]. **283**, 422-430 [cit. 2020-02-03]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.054. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814619301220>.

MESIAS, Marta a Francisco J. MORALES, 2016. Acrylamide in Bakery Products. *Acrylamide in Food* [online]. Elsevier, 2016 [cit. 2020-02-05]. DOI: 10.1016/B978-0-12-802832-2.00007-3. ISBN 9780128028322. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128028322000073>.

MUSTĂȚEA, Gabriel, 2015. Acrylamide in Food – EU versus FDA Approaches. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca: Food Science and Technology* [online]. **72**(2), 145-152 [cit. 2019-12-29]. DOI: 10.15835/buasvmcn-fst:11654. ISSN 23442344.

MUSTĂȚEA, Gabriel a Mona Elena POPA, 2015. Acrylamide in Food – EU versus FDA Approaches. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Food Science and Technology* [online]. **72**(2), 145-152 [cit. 2020-02-21]. DOI: 10.15835/buasvmcn-fst:11654. ISSN 2344-5300. Dostupné z: <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/fst/article/view/11654>.

ORACZ, Joanna, Ewa NEBESNY a Dorota ŻYŻELEWICZ, 2011. New trends in quantification of acrylamide in food products. *Talanta* [online]. **86**, 23-34 [cit. 2020-02-13]. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.08.066. ISSN 00399140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0039914011007946>.

PAPOUŠEK, Roman, Petra NOVÁKOVÁ a Petr BARTÁK, 2013. ANALÝZA AKRYLAMIDU METODOU GC-MS. *Chemické listy*. **2013**(107), 255-260.

PARZEFALL, Wolfram, 2008. Minireview on the toxicity of dietary acrylamide. *Food and Chemical Toxicology* [online]. **46**(4), 1360-1364 [cit. 2020-02-06]. DOI:

10.1016/j.fct.2007.08.027. ISSN 02786915. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278691507003171>.

PEDRESCHI, Franco, María Salomé MARIOTTI a Kit GRANBY, 2014. Current issues in dietary acrylamide: formation, mitigation and risk assessment. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. **94**(1), 9-20 [cit. 2020-02-13]. DOI: 10.1002/jsfa.6349. ISSN 00225142. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.6349>.

PINGOT, Daria, Kacper PYRZANOWSKI, Jaromir MICHAŁOWICZ a Bożena BUKOWSKA, 2013. Toxicity of acrylamide and its metabolite – Glicydamide. *Medycyna Pracy* [online]. **64**(2), 259-271 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.13075/mp.5893/2013/0022. ISSN 04655893.

PURLIS, Emmanuel, 2010. Browning development in bakery products - A review. *Journal of food engineering* [online]. **99**(3), 239-249 [cit. 2020-02-29]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008. ISSN 02608774.

RAFFAN, Sarah a Nigel G. HALFORD, 2019. Acrylamide in food: Progress in and prospects for genetic and agronomic solutions. *Annals of Applied Biology* [online]. **175**(3), 259-281 [cit. 2020-02-03]. DOI: 10.1111/aab.12536. ISSN 0003-4746. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/aab.12536>.

RIFAI, Lubna a Fatima A. SALEH, 2020. A Review on Acrylamide in Food: Occurrence, Toxicity, and Mitigation Strategies. *International Journal of Toxicology* [online]. [cit. 2020-02-22]. DOI: 10.1177/1091581820902405. ISSN 1091-5818. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1091581820902405>.

SEMLA, M., Z. GOC, M. MARTINIAKOVÁ, R. OMELKA a G. FORMICKI, 2017. Acrylamide: a Common Food Toxin Related to Physiological Functions and Health. *Physiological Research* [online]. **66**(2), 205-217 [cit. 2020-01-27]. ISSN 08628408.

SCHOUTEN, Maria Alessia, Silvia TAPPI a Santina ROMANI, 2020. Acrylamide in coffee: formation and possible mitigation strategies – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 1-15 [cit. 2020-02-07]. DOI: 10.1080/10408398.2019.1708264. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2019.1708264>.

STAROWICZ, Małgorzata a Henryk ZIELIŃSKI, 2019. How Maillard Reaction Influences Sensorial Properties (Color, Flavor and Texture) of Food Products? *Food Reviews International* [online]. **35**(8), 707-725 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.1080/87559129.2019.1600538. ISSN 8755-9129. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2019.1600538>.

SVOBODA, Zdeněk, Renata MIKULÍKOVÁ, Olga CWIKOVÁ, Sylvie BĚLÁKOVÁ a Karolína BENEŠOVÁ, 2015. Monitoring of Acrylamide Content in Selected Foods. *Kvasný průmysl* [online]. **61**(7-8) [cit. 2019-12-27]. DOI: 10.18832/kp2015021. ISSN 25708619.

ŠEDIVÝ, Petr, Martin HANUS, Eva NOVÁKOVÁ a Pavel SKŘIVAN, 2015. *Pekařská technologie*. Praha: Odborné nakladatelství a vydavatelství Pekař a cukrář. Knižnice Pekaře a cukráře. ISBN 978-80-905481-2-1.

TEPE, Yalçın a Ayşegül ÇEBİ, 2019. Acrylamide in Environmental Water: A Review on Sources, Exposure, and Public Health Risks. *Exposure and Health* [online]. **11**(1), 3-12 [cit. 2020-02-08]. DOI: 10.1007/s12403-017-0261-y. ISSN 2451-9766. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12403-017-0261-y>.

VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ, 2009. *Chemie potravin*. Rozš. a přeprac. 3. vyd. Tábor: OSSIS. ISBN 978-80-86659-16-9.

XU, Yi, Bo CUI, Ran RAN, Ying LIU, Huaping CHEN, Guoyin KAI a Jianxin SHI, 2014. Risk assessment, formation, and mitigation of dietary acrylamide: Current status and future prospects. *Food and Chemical Toxicology* [online]. **69**, 1-12 [cit. 2020-02-19]. DOI: 10.1016/j.fct.2014.03.037. ISSN 02786915. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278691514001744>.

ZAMANI, Ehsan, Mohammad SHOKRZADEH, Marjan FALLAH a Fatemeh SHAKI, 2017. A review of acrylamide toxicity and its mechanism. *Pharmaceutical and Biomedical Research* [online]. **3**(1), 1-7 [cit. 2020-02-05]. ISSN 24234486.

Legislativní dokumenty:

Doporučení Komise (EU) 2019/794, 2019. In: Brusel: Úřední věstník Evropské unie, ročník 2019, L 129/37.

Doporučení Komise (EU) 2013/647, 2013. In: Brusel: Úřední věstník Evropské unie, ročník 2013, 301/15.

Doporučení Komise (EU) 2019/1888, 2019. In: Brusel: Úřední věstník Evropské unie, ročník 2019, L 290/31.

Nařízení Komise (EU) 2017/2158, 2017. In: Brusel: Úřední věstník Evropské unie, ročník 2017, L 304/24.

Vyhláška č. 18/2020 Sb., o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2020 [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-18#f6707464>.

Internetové zdroje:

About FDA, 2020. *U.S. Food and Drug Administration* [online]. USA: FDA [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.fda.gov/about-fda>.

AKRYLAMIDY, 2019. *Potravinářská komora České republiky* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.foodnet.cz/slozka/?jmeno=Akrylamidy&id=1120>.

Faktory ovlivňující tvorbu akrylamidu v potravinách. In: *FoodDrinkEurope* [online]. Belgie: FoodDrinkEurope, 2009 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4113548-Projekt-msmt-c-2b06168.html>.

FoodDrinkEurope, 2019. *Acrylamide Toolbox* [online]. Brusel: FoodDrinkEurope [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.fooddrinkeurope.eu/publication/fooddrinkeurope-updates-industry-wide-acrylamide-toolbox/>.

Samostatné přílohy

Příloha 1 Porovnávací hodnoty pro přítomnost akrylamidu v potravinách

Porovnávací hodnoty pro přítomnost akrylamidu v potravinách podle čl. 1 odst. 1 jsou tyto:

Potravina	Porovnávací hodnota [µg/kg]
Hranolky (k přímé spotřebě)	500
Bramborové lupínky z čerstvých brambor a z bramborového těsta Bramborové krekry Jiné bramborové výrobky z bramborového těsta	750
Měkký chléb a) Pšeničný chléb b) Měkký chléb, jiný než pšeničný chléb	50 100
Snídaňové cereálie (kromě obilné kaše) — výrobky z otrub a celozrnné cereálie, zrna pufovaná v pufovacím dělu — pšeničné a žitné výrobky ⁽¹⁾ — výrobky z kukuřice, ovsa, pšenice špaldy, ječmene a rýže ⁽¹⁾	300 300 150
Sušenky a oplatky Krekry s výjimkou bramborových krekřů Křupavý chléb Perník Výrobky podobné ostatním výrobkům této kategorie	350 400 350 800 300
Pražená káva	400
Instantní (rozpustná) káva	850
Náhražky kávy a) náhražky kávy výhradně z obilovin b) náhražky kávy ze směsi obilovin a čekanky c) náhražky kávy výhradně z čekanky	500 ⁽²⁾ 4 000
Potraviny pro malé děti, obilné příkrmy pro kojence a malé děti, kromě sušenek a sucharů ⁽³⁾	40
Sušenky a suchary pro kojence a malé děti ⁽³⁾	150

⁽¹⁾ Jiné než celozrnné cereálie a/nebo jiné než otrubové cereálie. Obilovina přítomná v největším množství určuje kategorii.
⁽²⁾ Porovnávací hodnota, která se použije na náhražky kávy ze směsi obilovin a čekanky, zohledňuje relativní podíl těchto složek v konečném výrobku.
⁽³⁾ Podle definice v nařízení (EU) č. 609/2013.

Zdroj: Nařízení Komise (EU) 2017/2158 (2017)

Příloha 2 Směrné hodnoty akrylamidu na základě monitoringu v letech 2007-2012

Směrné hodnoty akrylamidu na základě údajů EFSA z monitorování v letech 2007–2012

Potravina	Směrná hodnota (µg/kg)	Poznámka
Hranolky k přímé spotřebě	600	Výrobek prodáváný k přímé spotřebě podle definice v oddíle C bodě 1 přílohy doporučení 2010/307/EU
Bramborové lupínky z čerstvých brambor a z bramborového těsta	1 000	Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 2 a oddíle C bodě 10 přílohy doporučení 2010/307/EU
Bramborové kreky		
Měkký chléb		Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 4 přílohy doporučení 2010/307/EU
a) Pšeničný chléb	80	
b) Měkký chléb jiný než pšeničný chléb	150	
Snídaňové cereálie (kromě ovesné kaše)		Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 5 přílohy doporučení 2010/307/EU
— výrobky z otrub a celozrnné cereálie, pufované zrní (vztahuje se na pufované, pouze pokud je vyznačeno)	400	
— pšeničné a žitné výrobky (*)	300	
— výrobky z kukuřice, ovsa, pšenice špaldy, ječmene a rýže (**)	200	
Sušenky a oplatky	500	Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 6 přílohy doporučení 2010/307/EU
Kreky s výjimkou bramborových krekrů	500	
Křupavý chléb	450	
Perník	1 000	
Výrobky podobné ostatním výrobkům této kategorie	500	
Pražená káva	450	Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 7.1 přílohy doporučení 2010/307/EU
Instantní (rozpuštěná) káva	900	Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 7.2 přílohy doporučení 2010/307/EU
Náhražky kávy		Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 7.3 přílohy doporučení 2010/307/EU
a) převážně obilné náhražky kávy	2 000	
b) jiné náhražky kávy	4 000	
Příkrmy pro kojence jiné než obilné příkrmy (***)		Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 8 přílohy doporučení 2010/307/EU
a) bez švestek	50	
b) se švestkami	80	
Sušenky a suchary pro kojence a malé děti	200	Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 9.1 přílohy doporučení 2010/307/EU
Obilné příkrmy pro kojence a malé děti (***), kromě sušenek a sucharů	50	Výrobek v prodávaném stavu podle definice v oddíle C bodě 9.2 přílohy doporučení 2010/307/EU

Zdroj: Doporučení Komise (EU) 2013/647 (2013)