

# Chemická rizika při přípravě pokrmů

Jana Kavečková

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jana KAVEČKOVÁ**  
Osobní číslo: **T090600**  
Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**  
  
Téma práce: **Chemická rizika při přípravě pokrmů.**

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika používaných způsobů tepelné úpravy pokrmů.
2. Rizikové reakce a procesy probíhající při tepelné úpravě pokrmů.
3. Charakteristika vybraných rizikových sloučenin vzniklých při tepelných úpravách a metody jejich stanovení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. VELÍŠEK, Jan. Chemie potravin 3.1. Tábor: OSSIS, 1999. ISBN 80-902391-5-3.
2. KREJČÍ, Petr a Václav FORMAN. Základy technologické přípravy pokrmů. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006. ISBN 80-7318-399-4
3. KOCOUREK, Vladimír a Jana HAJŠLOVÁ. Metody stanovení cizích látek v potravinách: Laboratorní příručka Díl III.1. Praha 2: Středisko potravinářských informací Výzkumný ústav potravinářský, 1992. ISBN 80-85120-35-6
4. VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ. Chemie potravin II.3. Tábor: SSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-16-9
5. SUHAJ, Milan a Milan KOVÁČ. Přírodní toxikanty a antinutriční látky v potravinách: Příručka. Bratislava: VÚ potravinářský, 1996

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Marta Severová**

Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

**6. ledna 2012**


Termín odevzdání bakalářské práce:

**21. května 2012**

Ve Zlíně dne 15. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku vzniku škodlivých až toxických látek v potravinách při jejich tepelném zpracování, zejména během kuchyňských úprav. Snahou bylo rovněž charakterizovat principy vzniku toxinů, procesy a reakce, díky kterým se tyto látky v potravinách tvoří, některé nejdůležitější a nejběžnější skupiny toxinů a způsoby kontroly jejich množství v potravinách.

Klíčová slova: Maillardova reakce, oxidace lipidů, pokročilá glykace, toxické sloučeniny

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on the issue of harmful and toxic substances in food when subjected to heat treatment, especially during cooking treatments. The aim was also to characterize the principles of toxins, processes and reactions that make these substances in food form, some of the most important and most common group of toxins and ways to control their levels in food.

Keywords: Maillard reaction, oxidation of lipids, advanced glycation, toxic compounds

## **Poděkování**

Děkuji touto cestou vedoucí své bakalářské práce Ing. Martě Severové za její rady, pomoc a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce.

## **Motto:**

Dokonalost není v životě cílem, tím je jen věčně trvající proces zdokonalování, zrání, pročišťování... Jako takový je jediným morálním cílem růst. ( J. Dewey )

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

ÚVOD.....	10
<b>1 CHARAKTERISTIKA POUŽÍVANÝCH ZPŮSOBŮ TEPELNÉ ÚPRAVY POKRMŮ .....</b>	<b>11</b>
1.1 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VAŘENÍ POTRAVIN.....	11
1.1.1 Vaření v páře .....	11
1.1.2 Vaření s použitím nízkých teplot .....	12
1.1.3 Vaření v tlakové páře .....	12
1.1.4 Vaření v kombinovaném prostoru.....	12
1.1.5 Pošívání.....	12
1.2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP DUŠENÍ POTRAVIN .....	13
1.3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP PEČENÍ POTRAVIN .....	13
1.3.1 Pečení na pánvi.....	14
1.3.2 Pečení na roštu a rožni .....	14
1.3.3 Opékání – restování.....	14
1.4 TECHNOLOGICKÝ ZPŮSOB SMAŽENÍ POTRAVIN .....	14
1.5 MIKROVLNNÝ OHŘEV .....	15
1.6 INFRAČERVENÝ OHŘEV .....	16
1.7 UZENÍ.....	16
1.8 TOASTOVÁNÍ .....	16
1.9 EXTRUZE .....	17
1.10 KARAMELIZACE .....	17
1.11 PRAŽENÍ.....	18
1.12 SUŠENÍ .....	18
<b>2 RIZIKOVÉ REAKCE A PROCESY PROBÍHAJÍCÍ PŘI ÚPRAVĚ POKRMŮ.....</b>	<b>19</b>
2.1 VLIV TEPLOT NA ZÁKLADNÍ SLOŽKY POTRAVIN .....	19
2.2 MAILLARDOVA REAKCE .....	19
2.2.1 Význam Maillardovy reakce .....	22
2.2.2 Antioxidační účinky produktů Maillardovy reakce.....	23
2.2.3 Inhibitory Maillardovy reakce .....	23
2.2.4 Vliv MR na kvalitu zrajících vín.....	24
2.2.5 Maillardova reakce mléka a mléčných výrobků.....	24
2.2.5.1 Důsledky Maillardovy reakce v mléce:.....	26
2.3 CHEMICKÉ REAKCE PŘI SMAŽENÍ POTRAVIN: .....	27
2.3.1 Změny složení potravin během smažení .....	29
2.4 VZNIK TOXICKÝCH LÁTEK BĚHEM TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ .....	29
2.4.1 Vliv kreatinu, aminokyselin a sacharidů .....	30
2.4.2 Vliv tuku.....	31



2.5	POKROČILÁ GLYKACE.....	32
2.5.1	Obsah AGE v potravinách.....	32
2.5.2	Inhibitory AGE.....	33
<b>3</b>	<b>RIZIKOVÉ SLOUČENINY VZNIKAJÍCÍ PŘI TEPELNÝCH ÚPRAVÁCH .....</b>	<b>34</b>
3.1	KARCINOGENNÍ LÁTKY V POTRAVINÁCH .....	34
3.2	NITROSOSLOUČENINY .....	35
3.3	HETEROCYKLICKÉ AMINY .....	36
3.4	POLYCYKLICKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY .....	37
3.5	AKRYLAMID .....	40
3.6	FURAN (C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O) .....	42
3.7	AKROLEIN (CH <sub>2</sub> =CH-CHO) .....	43
3.8	HYDROPEROXIDY, EPOXIDY A NENASYCENÉ ALDEHYDY .....	43
3.9	MALONALDEHYD (HOOC-CH <sub>2</sub> -CHO).....	44
3.10	ETHYL-KARBAMÁT (H <sub>2</sub> NCOOCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> ).....	44
3.11	AGE, ALE .....	45
<b>4</b>	<b>METODY STANOVENÍ VYBRANÝCH RIZIKOVÝCH SLOUČENIN.....</b>	<b>46</b>
4.1	TESTOVÁNÍ KVALITY OLEJE POUŽÍVANÉHO KE SMAŽENÍ.....	46
4.1.1	Standardní analytická metoda .....	46
4.1.2	Testy pro rychlé stanovení kvality oleje.....	46
4.2	STANOVENÍ ETHYLKARBAMÁTU V LIHOVINÁCH .....	47
4.3	STANOVENÍ MUTAGENNÍ AKTIVITY .....	48
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>58</b>

## ÚVOD

V poslední době je věnována velká pozornost mikrobiologické nezávadnosti pokrmů a kontrolnímu systému HACCP. Mikrobiologická rizika z pokrmů bývají často velmi závažná a jejich účinek se dostavuje velmi brzy. Chemická rizika však hrají rovněž svou roli. Tepelnou úpravou vzniká řada nejen látek nevyužitelných v lidské výživě, nebo látek snižujících nutriční hodnotu potravin, ale i látek škodlivých až toxických, které mohou zhoršit průběh některých chronických onemocnění u člověka, nebo zvýšit pravděpodobnost jejich výskytu.

Potraviny jsou pravidelně kontrolovány Státní inspekcí, čímž je zaručena jejich zdravotní nezávadnost jak z hlediska mikrobiologického, tak z hlediska chemického. Ovšem díky použití nevhodných technologických postupů, zejména příliš dlouhého nebo příliš intenzivního záhřevu, mohou představovat takto ošetřené potraviny určitá rizika. Tato rizika bývají často velmi závažná, protože jejich následky se obvykle projeví až po dlouhé době. Dnešní moderní konzumenti však stále více dávají přednost pokrmům zahříváním s výraznou chutí a vůní. [1]

# 1 CHARAKTERISTIKA POUŽÍVANÝCH ZPŮSOBŮ TEPELNÉ ÚPRAVY POKRMŮ

Kuchyňskou úpravou dochází k přeměně potravin v pokrm, zvyšuje se stravitelnost, chuťnost, využitelnost živin, mění se vzhled. Dochází k odbourávání toxických látek (toxiny v rybách, luštěninách, zejména sóji) a antinutričních látek (avidin ve vaječném bílku), které brání využití jiných živin. Stoupá hygienická nezávadnost potravin. Působením vysokých teplot se inaktivuje řada bakterií a cizopasníků, na druhé straně se likviduje velké množství vitamínů, minerálních látek, esenciálních aminokyselin. K záporným jevům patří vznik zdravotně závadných látek a zhoršení sensorické jakosti potravin. Je třeba zabránit ztrátám živin a ostatních složek nezbytných pro výživu člověka. Důležitý je vliv teploty (Obr.1). [2,3]

## 1.1 Technologický postup vaření potravin

Vaření je tepelná úprava, která probíhá ve vodní lázni nebo v prostředí s horkou vodní parou, při normálním nebo zvýšeném tlaku. Teplota při klasickém způsobu vaření ve vodní lázni je 100°C. Při vaření dochází ke ztrátám vyluhováním. Látky rozpustné ve vodě přechází do vývaru a tím potravina ztrácí na nutriční hodnotě a chuťově se ochuzuje. Čím větší je množství tekutiny, tím větší ztráty vznikají. Proto je výhodnější vaření v páře, nebo vaření ve vodní lázni. Na vodní lázni se připravují pokrmy, u kterých hrozí větší riziko připálení například pokrmy s vyšším obsahem cukru, mléka, vajec a speciální krémy a paštiky. K vaření se řadí i spařování (blanšírování). Jde o přelití potraviny vařící vodou nebo krátké povaření. Blanšírování je možno použít před technologickým zpracováním potravin pro odstranění čpavého aroma, například u hlávkového zelí, kapusty, pro částečné změknutí suroviny nebo pro usnadnění odstraňování slupky například u mandlí, rajčat, některých druhů ovoce a podobně. Používá se také při přípravě ledvinek a jemných druhů zeleniny. Uvařené pokrmy jsou lehce stravitelné a vhodné i pro léčebnou výživu.[2]

### 1.1.1 Vaření v páře

Potravina se upravuje v prostoru naplněném proudící vodní parou. Teplota dosahuje 99 - 100°C. Při tomto způsobu úpravy nedochází ke ztrátám vyluhováním. Potravina si zachovává většinu z původního obsahu vitamínů a minerálních látek, rovněž si zachovává

svou barvu, chuť a soudržnost. Přenos tepla se děje kontaktním způsobem z horké páry na surovinu. Vhodné zejména pro vaření zeleniny, ovoce, rýže, ryb, vajec, ale i pro spařování. [2,4]

### **1.1.2 Vaření s použitím nízkých teplot**

Vaření při teplotě 30 – 90°C. Jedná se o parní provoz. Tento způsob se používá při přípravě krémů a paštik. Díky nízkým teplotám nedochází k velkým hmotnostním ztrátám a připravovaná surovina si může udržet svou biologickou hodnotu. Nahrazuje klasickou vodní lázeň. Snižuje se doba přípravy. [2]

### **1.1.3 Vaření v tlakové páře**

Pára proudící v prostoru má vyšší tlak, než atmosferický. Teplota páry se pohybuje v rozmezí 110 – 120°C, tlak páry dosahuje hodnot 0,08 – 0,1 MPa. Zvýšením tlaku se současně zvyšuje teplota a zkracuje se doba přípravy. Využití zejména pro potraviny s vysokým obsahem škrobu jako brambory, rýže a zeleniny. Použití metody snižuje váhové úbytky pokrmu, při současném udržení kvality potravin. [2,4]

### **1.1.4 Vaření v kombinovaném prostoru**

Kombinovaný prostor představuje proudící horkou vodní páru a horký vzduch. Teplota v prostoru je 100 – 250°C. Za těchto podmínek se výrazně snižuje váhový úbytek způsobený únikem vody, tuku a také únik aromatických látek. Slouží především k přípravě hovězího masa, vepřového masa, drůbeže a ryb. [4]

### **1.1.5 Pošírování**

Pošírování probíhá při teplotě 65 – 80°C. Na tuto hodnotu klesá teplota po nahřátí na původních 100°C. Jde o velmi šetrnou metodu úpravy. Pošírování, nebo-li táhnutí se používá hlavně pro jemné a křehké potraviny, dále pro úpravu jehněčího masa, ryb, brambor a zeleniny. Provádí se buďto ve velkém množství tekutiny, v malém množství tekutiny, ve vodní lázni bez promíchávání nebo při neustálém šlehání, nebo v kombinaci s parou. Potravina se tepelně zpracovává ve vodě, vývaru, octu, víně, mléce nebo v bylinkách. Přenos tepla je uskutečňován kontaktním způsobem. [2,4]

## 1.2 Technologický postup dušení potravin

Dušení je tepelná úprava velmi podobná vaření. Rozdíl je především v množství použité vody. Pokrm se připravuje v uzavřené nádobě s minimálním množstvím tekutiny i tuku. Z potraviny se uvolňuje šťáva, která se využívá k dalšímu dušení. Tím dochází ke zvýraznění chuti. Nedochozí prakticky ke ztrátám vyluhováním, protože vydušená šťáva se stává součástí pokrmu. K dušení se používají stejně velké kusy potraviny. K zabránění úniku chuťových látek z masa se maso před dušením opéká. Bílkovina na povrchu masa se mírně srazí a maso si zachová šťavnatost. Při přípravě některých potravin je nutno pro zlepšení chuti použít příslušného koření. Klasický postup dušení je možno nahradit použitím konvektomatu. V tomto případě se jedná o kombinovaný provoz s využitím páry a horkého vzduchu při teplotě 50 – 250°C. Snižuje se doba úpravy. [2]

## 1.3 Technologický postup pečení potravin

Při použití této tepelné úpravy působíme na potravinu horkým vzduchem, jehož teplota se pohybuje v rozmezí hodnot 120 – 250°C. Teplotu volíme podle druhu potraviny. Klasický způsob pečení probíhá bez nuceného oběhu vzduchu. Teplota vzduchu je v tomto případě přibližně 180 – 200°C. Moderním způsobem je pečení s nuceným oběhem vzduchu. Vzduch se ohřívá na 100 – 250°C a je rozháněn ventilátorem. Výhodou je rovnoměrné působení vzduchu na potravinu ze všech stran. Vlivem zvýšené teploty se z potraviny odpařuje voda, dochází ke srážení bílkovin na povrchu a vytváří se kůrka. Ta se zároveň stává určitou bariérou pro únik rozpustných látek. Vytváří se charakteristické aroma a chuť pečené potraviny. U masa rozeznáváme různé stupně propečení:

- Polopropečené , kdy teplota uvnitř masa dosahuje přibližně 60°C, maso zůstává na řezu růžové, šťavnaté.
- Středně propečené, kdy maso zůstává na řezu bledě růžové a teplota uvnitř masa nepřesáhla 70°C.
- Zcela propečené , kdy u masa bylo dosaženo stejnoměrného propečení ve všech místech. Barva je rovněž v každém místě stejná. [2,4]

### 1.3.1 Pečení na pánvi

Potravina se opéká v malém množství tuku. Používá se při přípravě masa, opékání brambor, úpravě palačinek apod. [2,4]

### 1.3.2 Pečení na roštu a rožni

Pečení na roštu nebo rožni se nazývá grilování. Grilování může mít kontaktní způsob ohřevu, kdy teplo přechází na potravinu dotykem s rozehrátým tělesem, nebo bezkontaktní. Přenos tepla je uskutečněn sáláním. Nejprve se potravina prudce opeče, aby se uzavřely póry a následně se teplota sníží. Grilujeme na elektrickém nebo plynovém grilu, grilovací pánvi nebo přímo na grilu s dřevěným uhlím. [2,4]

### 1.3.3 Opékání – restování

Opékání probíhá při vysokých teplotách 300 – 350°C, bez použití tekutiny nebo tuku. Přenos tepla je uskutečněn kontaktem nebo radiací. Opéká se maso, uzenina, zelenina, toustový chléb. [4]

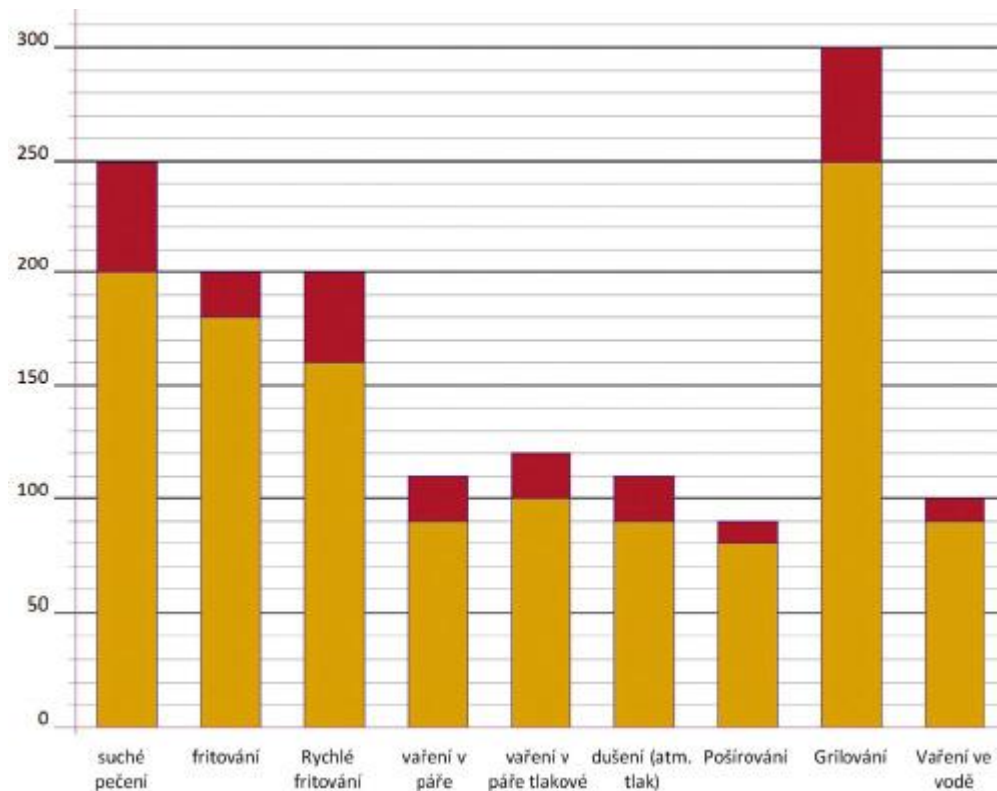
## 1.4 Technologický způsob smažení potravin

Cílem smažení je vytvořit na povrchu potraviny zlatohnědou křupavou kůrku s typickou oblíbenou vůní a chutí smažené potraviny. Během smažení působíme na surovinu rozpáleným tukem o teplotě 170 – 180°C. Tuk je používán hlavně pro zlepšení přenosu tepla od zdroje k potravíně. Dochází ke zvýšení energetické hodnoty potraviny a zároveň ke zhoršení stravitelnosti. Smažit můžeme dvěma způsoby:

*Smažení v tenké vrstvě tuku* – tento způsob je u nás více zažitý. Používá se v domácnostech a ke smažení dochází pouze z jedné strany. Vrstva tuku má tloušťku přibližně 2 – 5 mm. Příprava trvá 5 – 10 min a teplota přehřátého tuku na pánvi dosahuje okolo 180°C.

*Smažení v hluboké vrstvě tuku* – obecně nazývané fritování. Fritování se dříve využívalo spíše v průmyslu. Dnes je již běžně rozšířené i v domácnostech. Surovina je při smažení ponořena do tuku o síle vrstvy 20 – 150 mm, nebo v něm plave. Smažení tak může probíhat z obou stran zároveň. Doba přípravy je 2 – 10 min a surovina se vkládá do tuku přehřátého na 150 – 180°C. Další zásadní změnou je několikanásobné použití tuku na smažení.

Teplota tuku se během smažení mění. Tuk je ochlazován odpařenou vodou z povrchu potraviny. Při dlouhém smažení dojde k odpaření velkého množství vody, ztratím na hmotnosti, smrštění potraviny a připravený pokrm je příliš vysušený a nechutný. Potraviny mohou také absorbovat smažící olej, anebo naopak vypustit tuk do smažícího oleje. Z tohoto důvodu se smažené pokrmy nezařazují při dietní stravě. Při úpravě předpřipravených potravin, je možno použít menšího množství tuku. Vhodnějším se však jeví úplné ponoření do tuku. Před smažením se potravina většinou obaluje v trojbalu nebo různých druzích těstíček, zabraňuje se tak větším výměnám tuku mezi potravinou a smažícím tukem a vytékání šťávy do tuku a jeho následnému připalování. Smažení patří k nejrychlejším kuchyňským úpravám. [2,5,6]



Obr.1: Rozsah teplot u jednotlivých druhů tepelného zpracování [4]

## 1.5 Mikrovlnný ohřev

Při tomto způsobu ohřevu je nejvyšší teploty dosahováno generováním uvnitř potraviny, nikoliv na povrchu, jako u klasického ohřevu. Povrchová teplota tak nestoupne nad teplotu ostatních částí a netvoří se křusta. Díky této základní změně nedochází ke vzniku některých

toxických látek jako aminy a nitrosaminy. Nedostatečným prohřátím povrchu se však nejenže nevytváří křupavá kůrka, ale povrch vysychá. Potravina si zachovává svůj původní vzhled. Nevyvíjí se typické aroma ani zbarvení. Ve snaze připravit pokrm s typickým aroma, barvou a chutí, se potravina často dopéká klasickou cestou. Rovněž je možno upravit recepturu nebo změnit způsob balení použitím nových obalových materiálů. Jako velmi vhodné se ukázaly obalové materiály, které absorbují mikrovlnné záření. Příkladem je polyesterový film potažený vrstvou hliníku, jehož tloušťkou se ovlivňuje teplota předávaná povrchu potraviny. Úprava receptury spočívá zejména v přidavku umělých aromat nebo v natírání potraviny směsí obsahující aminokyseliny a redukující cukry. Výhodou mikrovlnného ohřevu je jeho rychlost. [3,6,7,]

## 1.6 Infračervený ohřev

Je používán hlavně při výrobě sušenek, pečení masa nebo chleba. Jde o bezkontaktní ohřev elektromagnetickým zářením, kde zdrojem tepla je elektřina nebo přírodní plyn. Doba pečení je oproti klasickým metodám kratší, přináší tedy i úsporu energie. Výrobky získané infračerveným ohřevem jsou ve srovnatelné sensorické kvalitě jako výrobky získané konvenčními tepelnými metodami přípravy. [6,7]

## 1.7 Uzení

Uzení se řadí mezi velmi rizikové postupy tepelného zpracování potravin. K rizikovým faktorům, vznikajícím působením tepla na potraviny je nutno přičíst karcinogenitu látek, které vznikají tepelným rozkladem dřeva. Tyto karcinogeny sebou nese kouř a při samotném procesu uzení je předává potravíně. Při neodborném domácím uzení se může karcinogenita oproti povolené hranici až tisíckrát zvýšit. V průmyslovém uzení je většinou používán kouřový koncentrát, který je těchto karcinogenních látek zbaven. Dříve se používal přímý kouř i k sušení pivovarského sladu, od čehož se již upustilo, a tím značně pokleslo množství karcinogenních látek v pivu. [1]

## 1.8 Toastování

Toastování je u nás poměrně novým kuchyňským procesem, který stále více nabývá na oblibě. Záhřevem se zlepšuje chuť chleba a pečiva, ale na druhé straně se snižuje nutriční hodnota připravovaných toastů, z důvodu znehodnocení bílkovin na povrchu. Zřetel se bere



zejména na esenciální aminokyselinu lysin, která vytváří nevyužitelnou formu. Důkazem znehodnocení bílkovin působením tepla, je vznik hnědého zbarvení. [1]

## 1.9 Extruze

Extruze probíhá za podmínek, které jsou velmi příznivé pro Maillardovu reakci. Vedle vysokých teplot – až 210°C, je příznivým faktorem malý obsah vody. Z hlediska výživy jsou závažné i vysoké ztráty aminokyseliny lysinu, které mohou dokonce dosahovat až 50%. Při extruzi spolu navzájem působí vysoký tlak, teplota a stříhové síly. Potravina je jim vystavena jen velmi krátce. Kvalitu výsledného produktu je možno zlepšit přidavkem neredukujících cukrů, například sacharosy, místo cukrů redukujících, snížením teploty nebo zvýšením množství přidané vody. Použití extruze je dosti široké, např. výroba sušenek, cereálních snídaní a další. Výsledný efekt je ovlivněn zejména rychlostí plnění extrudéru, otáčkami a konfigurací šneku. [7]

## 1.10 Karamelizace

Karamelizace cukrů probíhá při teplotách 150 – 190°C, teplota však může dosahovat až 240°C, což výrazně podporuje průběh Maillardovy reakce. Samotný karamel začíná vznikat již v okamžiku, kdy teplota překročí hodnotu 120°C. Karamel je hnědá až hnědočerná amorfní látka s různým složením. Vyrábí se nejčastěji ze sacharosy, fruktosy, glukosy, škrobového sirupu, případně s použitím škrobu. V průmyslové výrobě se navíc používají látky urychlující karamelizaci, ty jsou spolu se základními surovinami zahřívány přibližně 5 – 10 hodin při teplotě 120 – 180°C. Rozlišuje se několik druhů karamelů:

*Karamely s kladným elektrickým nábojem* – při výrobě se jako katalyzátor přidává amoniak.

*Karamely se záporným elektrickým nábojem* – vyrobené za přídavku siřičitanu nebo síranu amonného.

*Karamely bez elektrického náboje* – vyrobené s přídavkem hydroxidu sodného.

Rozpouštěním karamelu vzniká cukerný kulér. Karamely se používají k barvení alkoholických i nealkoholických nápojů, octa, piva, pekařských a masných výrobků i cukrovinek. Karamelizace se ve velmi malé míře používá i v domácnostech při přípravách moučníků. [7]

### 1.11 Pražení

Pražení se uplatňuje hlavně při zpracování kakaových bobů, kávy (Obr.2), ořechů. Pražením kakaových bobů vzniká až několik set těkavých sloučenin, pražením zelené kávy dokonce ještě o něco více. Při teplotách pražení dochází k rychlému rozkladu sacharidů a vzniku pigmentů a kyselin. V současné době se používá rovněž nový proces pražení při teplotě vyšší, než 230°C. Ztráty polysacharidů a tím i obsah kyselin jsou podstatně nižší. Pražení se v poslední době využívá i při domácí kulinární úpravě díky pánvím na smažení bez tuku. V tomto případě se totiž již nejedná o smažení, ale o pražení. [5,7]



Obr.2: Postupné zbarvení zrn kávy během pražení [8]

### 1.12 Sušení

Technologie sušení se používá hlavně při zpracování mléka, ovoce a zeleniny. V tomto procesu se Maillardova reakce probíhající vlivem působení vysokých teplot při sušení projevuje vysloveně negativně. Během tepelného zpracování i nevhodného skladování sušeného mléka dochází k vysokým ztrátám lysinu, který se tak stává limitující aminokyselinou. [7]

## 2 RIZIKOVÉ REAKCE A PROCESY PROBÍHAJÍCÍ PŘI ÚPRAVĚ POKRMŮ

### 2.1 Vliv teplot na základní složky potravin

**Sacharosa :** Zahříváním potravin obsahující sacharosu dochází ke zvýšení její sladkosti. Sacharosa se vlivem působení vyšších teplot rozkládá na své dva stavební monosacharidy glukosu a fruktosu. Tyto monosacharidy vykazují dohromady vyšší vjem sladké chuti, než samotný disacharid sacharosa. Nastolením teplot okolo 200°C však již začíná probíhat karamelizace. [3]

**Tuky:** Tuky působením vysokých teplot degradují na glycerol a volné mastné kyseliny. Nejenže mastné kyseliny zhoršují chuť potravin, ale hlavně snadněji podléhají oxidačním reakcím, které probíhají mnohem rychleji u déle používaných fritovacích olejů. Ty pak mohou obsahovat až 30% oxidačních produktů. Dosažením 200°C se glycerol mění na páchnoucí, oči a sliznice dráždící akrolein. Reakce pokračují tvorbou uhlovodíků všech skupenství. [ 3,5]

**Bílkoviny:** Vložením bílkovin do prostředí s vysokou teplotou, začne probíhat reakce zvaná denaturace. Bílkoviny se rozkládají a stávají se tak přístupnější trávícím enzymům a tedy i stravitelnější. Dochází však k celkovým ztrátám bílkovin a k znehodnocení esenciálních aminokyselin. Např. vařením ve vodě se bílkoviny vyluhují do vývaru a ztratí se tak až 9 % hmotnosti bílkovin. Mezi žádoucí jevy při vaření bílkovin patří například odstranění toxických látek přirozeně se vyskytujících v luštěninách, odolných vůči suchému teplu. Při vysokých teplotách se však z bílkovin mohou tvořit pro lidskou výživu nevyužitelné nebo zdraví škodlivé až toxické látky. [3]

### 2.2 Maillardova reakce

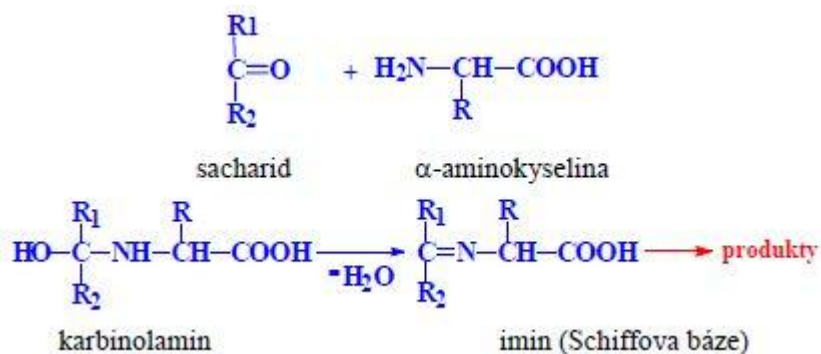
Maillardovu reakci popsal v roce 1912 francouzský chemik Louis-Camille Maillard. Patří k nejrozšířenějším a nejvýznamnějším reakcím u potravin při zpracování nebo při jejich skladování. Přesto dosud neznáme přesně všechny pochody, které při ní probíhají. Jedná se o soubor reakcí, do kterých vstupují redukující cukry a aminosloučeniny. Vzniklé produkty, velmi reaktivní karbonylové sloučeniny následně reagují vzájemně mezi sebou nebo s přítomnými aminosloučeninami. Konečným produktem reakcí jsou hnědé pigmenty Me-

lanoidiny. Z tohoto důvodu se Maillardova reakce řadí mezi reakce neenzymového hnědnutí. Mezi nejčastější sacharidy, které se účastní reakce se řadí hlavně glukosa, fruktosa, u masa a masných výrobků ribosa, u mléka laktosa, u cereálních výrobků maltosa, dále sacharidy vázané glykosidovou vazbou v glykoproteinech, glykolipidech, heteroglykosidech. Neredukující cukry vstupují do reakce až po hydrolyze na monosacharidy. U některých potravin, zvláště u sýrů, vstupují do reakce spolu s bílkovinami a aminokyselinami i biogenní aminy. Do reakce se zapojují rovněž degradační produkty sacharidů a aminokyselin – aminy, amoniak, aldehydy a také karbonylové sloučeniny a to již přítomné v potravinách jako primární látky, nebo vznikající z jiných prekurzorů, než sacharidů, např. aldehydy vzniklé oxidací tuků. [7,9]

Maillardova reakce je velmi složitý proces, k základním reakcím tohoto procesu se řadí:

- Vznik glykosylaminů a přesmyk na aminodeoxycukry
- Další reakce glykosylaminů
- Rozklad aminodeoxycukrů
- Vznik aminoreduktonů
- Streckerova degradace aminokyselin
- Vznik melanoidinů [7]

***Vznik glykosylaminů a přesmyk na aminodeoxycukry*** - Začíná adicí aminoskupiny aminosloučeniny na atom uhlíku karbonylové skupiny redukujícího sacharidu. Následnou dehydratací vzniká imin, nebo – li Schiffova báze (Obr.3). Reaktivita obou vstupujících látek závisí na pH prostředí. Iminy jsou většinou velmi nestálé a účastní se dalších reakcí. Iminy vzniklé z cukrů se mění na glykosylaminy. N-glykosylaminy v závislosti na prostředí podléhají dalším reakcím. Důležitým faktorem je zejména teplota, pH a aktivita vody. N-glykosylaminy se stabilizují Amadoriho nebo Heynsovým přesmykem. Výsledným produktem jsou Amadoriho sloučeniny (ketosaminy) nebo Heynsovy sloučeniny (aldosaminy). Přesmyky jsou vesměs kyselými katalyzovány, mohou ale probíhat i v silně bazickém prostředí. [7]



Obr.3: Vznik Schiffovy báze [8]

**Další reakce glykosylaminů** - Vedle Amadoriho a Heynsova přesmyku se N-glykosylaminy mohou účastnit i dalších reakcí. Například reakcí s další molekulou aldosu ještě před Amadoriho přesmykem vzniká z aldosylaminu dialdosylamin, který následně přesmykuje na diketosamin. Může docházet k přeměně Schiffových bází na cyklické sloučeniny, k tvorbě oxokyselin a prekursoru akrylamidu.

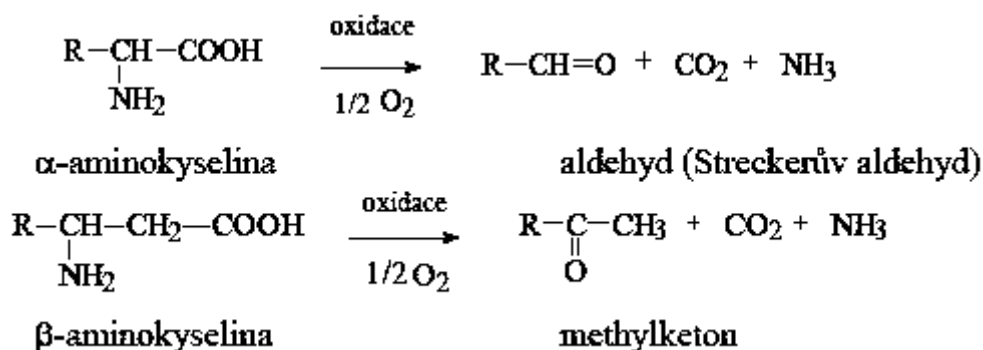
**Rozklad aminodeoxycukrů** - Aminodeoxycukry jsou silná redukční činidla. Diketosaminy degradují na ketosaminy a další sloučeniny. Ketosaminy se dále rozkládají. Rozklad aldosaminů probíhá obdobně, ale vzniká částečně i původní ketosa. Reakcí rozkladných produktů, které obsahují karbonylovou skupinu s aminosloučeninami vznikají látky obsahující dusík nebo síru, tyto jsou charakteristickými produkty vznikajícími při Maillardově reakci.

**Rozklad deoxyhexulós** - Při rozkladu deoxyhexulós mohou vznikat v přítomnosti většího množství aminokyselin deriváty furanu a pyrrolu, pyrazinu a imidazolu. Významnými produkty jsou furanony a deriváty furanu.

**Vznik aminoreduktonů** - Výchozím substrátem pro vznik aminoreduktonů jsou 1-deoxyhexodiulosy. Jejich rozkladem a reakcí s primárními a sekundárními aminy vznikají cyklické aminoreduktony.

**Streckerova degradace aminokyselin** (Obr.4) - Význam této důležité reakce je především ve vzniku senzorycky aktivních Streckerových aldehydů. Dalším produktem reakce je amoniak. Aldehydy mají význam především pro tvorbu hnědých pigmentů, melanoidinů a řady heterocyklických sloučenin, které se podílejí na typickém aroma potraviny. Do reakce vstupují kromě jiných také aldosity, ketosy,  $\alpha$ -dikarbonylové sloučeniny, deriváty

furan-2-karbaldehydu a sloučeniny vzniklé rozkladem cukrů jako např. glyoxal, methylglyoxal. [7 ]



Obr.4: Streckerova degradace aminokyselin [8]

**Vznik melanoidinů** - Zpočátku dochází k tvorbě bezbarvých sloučenin, premelanoidinů. Kondenzací nebo polymerací vznikají barevné dusíkaté makromolekulární melanoidiny. Melanoidiny mají antioxidační i prooxidační účinek. Nejvyšší antioxidační aktivitu mají sloučeniny vzniklé reakcemi degradačních produktů cukrů.

Průběh Maillardovi reakce značně ovlivňuje teplota, tlak, aktivita vody, druh a dostupnost reaktantů a pH prostředí, ve kterém reakce probíhá. Kontrolou a regulací těchto faktorů je možno reakci do určité míry korigovat. [7]

### 2.2.1 Význam Maillardovy reakce

Maillardova reakce je významná zejména z pěti hledisek:

- Vznik hnědého zbarvení – jako žádoucího projevu při pečení, smažení, pražení nebo jako nežádoucího projevu např. při výrobě sušených potravin, ovoce, zeleniny, zvláště pak mléka
- Vznik aromatických látek i aromatických látek s nežádoucími organoleptickými vlastnostmi
- Výživové hledisko – snížení nutriční hodnoty potravin v důsledku reakce cukrů a jiných karbonylových sloučenin s lysinem, který je esenciální a často limitující aminokyselinou. Bílkoviny reagují s redukujícími cukry především prostřednictvím ε- aminoskupiny vázaného lysinu.

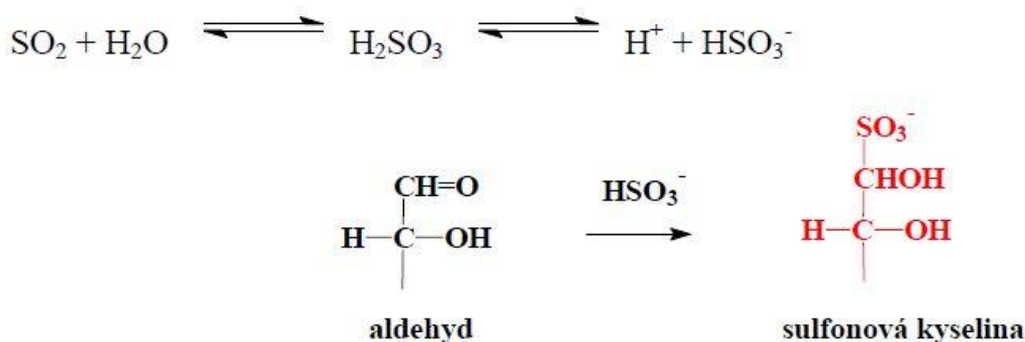
- Vznik toxických látek, především mutagenních a karcinogenních.
- Antioxidační aktivita – některé reakční produkty, zejména reduktony a barevné melanoidiny vykazují antioxidační vlastnosti. [7]

### 2.2.2 Antioxidační účinky produktů Maillardovy reakce

Antioxidační vlastnosti produktů Maillardovy reakce jsou předmětem výzkumu. Byl zkoumán např. antioxidační účinek fruktosyl argininu, jako produktu Maillardovy reakce. LDL lipoprotein byl vystaven účinku  $\text{Cu}^{2+}$  v přítomnosti 5%  $\text{CO}_2$  po dobu 24 hodin při teplotě  $37^\circ\text{C}$ , čímž došlo k lipidové peroxidaci. Přídavkem fruktosyl argininu se významně potlačil účinek oxidace. Zároveň byly buňky plicní artérie vystaveny působení oxidovaného LDL, rovněž při  $37^\circ\text{C}$  po dobu 24 hodin s použitím 5%  $\text{CO}_2$ . Byly zjištěny zvýšené hladiny mléčnanové dehydrogenázy, což ukazovalo na poškození buněčné membrány, a zvýšené hladiny reaktivních látek kyseliny barbiturové. Pomocí fruktosyl argininu byly tyto reakce potlačeny. Účinkům oxidovaného LDL byly vystaveny také myší makrofágy. Zvýšená tvorba peroxidů byla i v tomto případě potlačena přídavkem fruktosyl argininu. Studie prokázala, že fruktosyl arginin vykazuje silné antioxidační účinky. [10]

### 2.2.3 Inhibitory Maillardovy reakce

Inhibitorem reakcí neenzymatického hnědnutí je úprava obsahu vody, snížení teploty, zkrácení doby tepelného působení, úprava pH, odstranění jednoho z reakčních partnerů, použití látek inhibujících nebo zpomalujících reakci. Vhodné je použití oxidu siřičitého nebo hydrogensířičitanů (Obr.5). [7]



Obr.5: Inhibice Maillardovy reakce [8]

#### 2.2.4 Vliv MR na kvalitu zrajících vín

Ve víně díky zrání a dlouhodobějšímu vyzrávání stoupá teplota, což podporuje průběh Maillardovy reakce. Dalšími možnými příčinami nástupu Maillardovy reakce jsou tepelné zásahy do moštu či vína, plnění do lahví za vysokých teplot, nebo vystavení vína teplotám vyšším, než 20°C, například působením slunečního záření při přepravě. Vznikající aldehydy a sloučeniny síry ovlivňují celkové aroma. Za příznivé aroma jsou považovány ořechové, kávové, karamelové a kořenité tóny, způsobené přítomností látek nazrálejší povahy. Nepříznivé aroma vařeného květáku nebo mokrého psa vytváří akrolein nebo methanethiol, vzniklý přeměnou tepelně nestabilních aldehydů. Dalším z nebezpečných produktů Maillardovy reakce je furfural. Ve víně se však tvoří ve velmi malém množství. [11]

#### 2.2.5 Maillardova reakce mléka a mléčných výrobků

Mlékárenský průmysl se často zabývá otázkou zabránění reakcím neenzymatického hnědnutí mléka a mléčných výrobků vlivem vysokých teplot při technologickém zpracování, zejména při pasteraci, sušení a sterilizaci. Studium reakčních mechanismů Maillardovy reakce probíhá již od počátku minulého století. [12]

Výchozími látkami reakce v mléce jsou laktosa a rezidua lysinu v mléčných proteinech. Obsah volných aminokyselin v mléce je poměrně nízký. Lysinová rezidua v kaseinu jsou více reaktivní, než rezidua lysinu v sérových proteinech. Disacharid laktosa se skládá ze dvou monosacharidů glukosy a galaktosy. Samotná glukosa a galaktosa jsou v mléce obsaženy jen ve velmi nízkých koncentracích. Maillardova reakce v mléce (Obr.6) má tři základní fáze, časnou, pokročilou a finální.

1. *Časná fáze* – reakcí laktosy a lysinu vzniká Schiffova báze, která následně přesmykuje na Amadoriho sloučeninu laktulosyllysin. Tímto dochází k přeměně aldosy na ketosu. Když není příliš vysoká teplota a dlouhá reakční doba, je mléko poměrně stabilní. V této fázi dochází k největším ztrátám lysinu, respektive v jeho dostupnosti. Lysin vázaný v laktulosyllysinu není z hlediska výživy využitelný. Obsah Amadoriho sloučenin vzniklých v průběhu reakce se dá měřit několika způsoby. Analysou aminokyselin po enzymatickém štěpení proteinu, což je časově náročné. Nepřímou metodou, kdy se stanovuje množství lysinu v tepelně ošetřeném mléce. Metoda je založena na podobném množství lysinu a Amadoriho sloučenin v mléce. Prodloužením doby záhřevu však může dojít ke zkreslení, protože lysin již netvoří



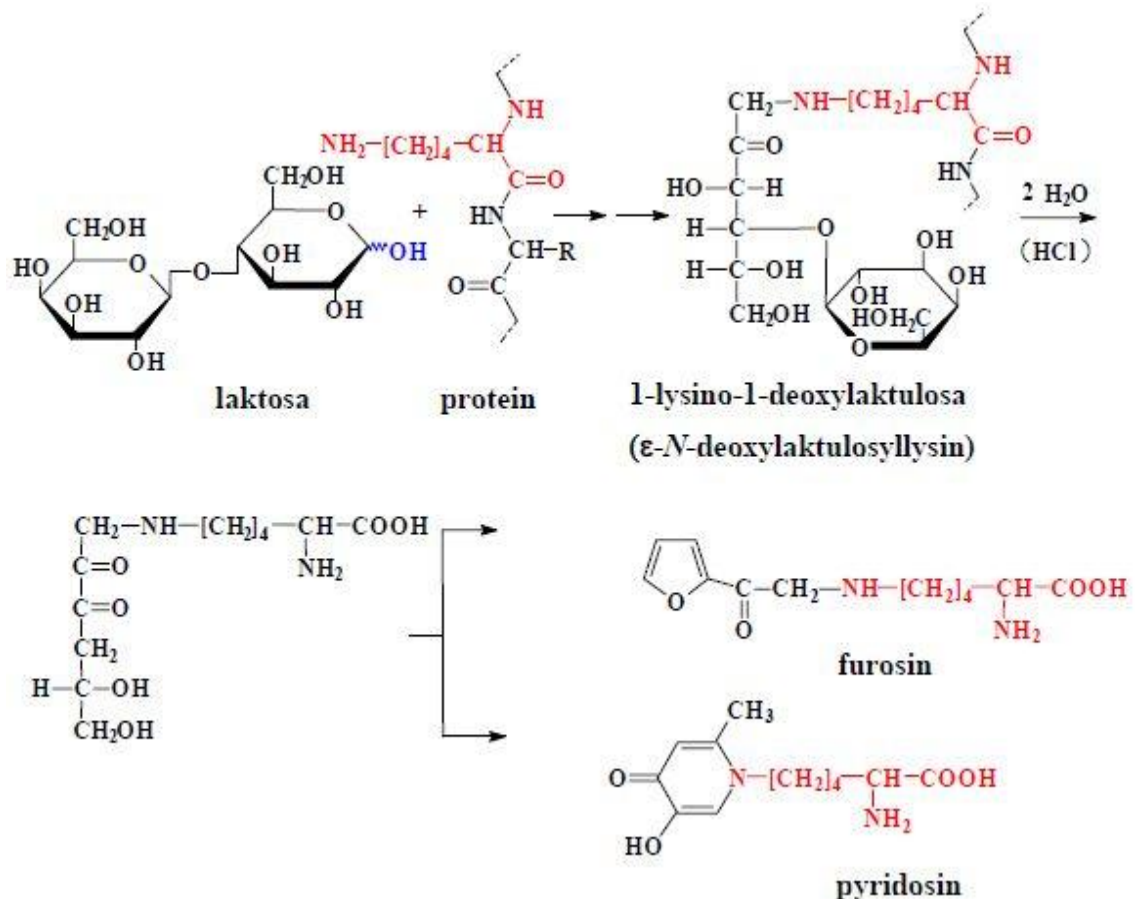
další Amadoriho sloučeniny. Furosinová metoda využívá furosinu, vzniklého degradací Amadoriho sloučenin. Stanovení se provádí pomocí iontové chromatografie nebo kapilární elektroforézy. Na furosin se přemění asi jen 30 – 40% Amadoriho sloučenin, proto je výsledek nejistý. Přesto se používá k orientačnímu stanovení stupně tepelného poškození mléka.

2. *Pokročilá fáze* – rozklad Amadoriho sloučenin probíhá dvěma cestami. Vznikají deoxy-sloučeniny, velmi reaktivní meziprodukty. Jejich vznik i obsah lze určit jen velmi obtížně. Sloučeniny podléhají enolizaci a cyklizaci, to vede ke vzniku  $\beta$ -pyranu a 3-furanu. Oba produkty jsou převedeny na galaktosylisomaltol. Kondenzací se tvoří acetylpyrrol, pyridinium betain a furanon – amin. Některé z těchto produktů vstupují do reakcí s bílkovinami.
3. *Finální fáze* – kondenzace amino sloučenin, tvorba hnědých pigmentů melanoidinů a zesílení proteinů. Poslední fáze Maillardovy reakce není z chemického hlediska dostatečně charakterizována. Dle velkého množství zesíťovaných bílkovin, lze usuzovat, že všechny důležité látky účastníci se reakcí, nebyly dosud identifikovány. Melanoidiny jsou většinou vázány na proteiny. Z důvodů velkých ztrát lysinu v konečné fázi se předpokládá, že dochází k jeho vazbě s melanoidiny. [7,13]

Současně s Maillardovou reakcí probíhá v mléce rovněž izomerizace laktosy. Jejím produktem je furfurylalkohol a kyselina mravenčí. Při teplotách nad 100°C se projevuje více vliv izomerizace. Například při sterilizační teplotě 120°C pochází 80% produktů z reakcí izomerizace oproti 20% z reakcí neenzymatického hnědnutí. Koncentrace těchto látek je velmi nízká. V sušeném mléce probíhá Maillardova reakce mnohem rychleji a výrazněji. Důvodem je nízký obsah vody. Ztráty lysinu v sušeném mléce jsou dosti vysoké, záleží ovšem na použité technologii. Při sušení na válci činí ztráty 10 – 30%, při sprejovém sušení do 3% a při sublimačním sušení nedochází ke ztrátám lysinu vlivem sušení prakticky vůbec. [7,13]

Reakce, ve kterých jsou výchozími látkami volná glukosa a galaktosa probíhají jiným mechanismem a mají jinou reakční rychlost. Reaktivita monosacharidů je vyšší, než reaktivita disacharidů a vznikají různé produkty. [14,15]

Celkový obsah glykovaných proteinů (AGE) v mléce je velmi nízký. Důvodem může být vliv pH. Optimální pH pro reakce neenzymatického hnědnutí je 8 – 10, pH mléka se pohybuje okolo hodnoty 6,6. [13]



Obr.6: Maillardova reakce mléka [8]

### 2.2.5.1 Důsledky Maillardovy reakce v mléce:

- Vznik chuťových látek jako nízkomolekulárních produktů štěpení Amadoriho sloučenin.
- Vliv na nutriční hodnotu mléka. Blokáci lysinových zbytků dochází ke ztrátám na výživové hodnotě.
- Zabarvení mléka díky tvorbě pigmentů melanoidinů.

- V důsledku působení vysokých teplot mohou vznikat mutagenní a karcinogenní látky. Toto hrozí pouze ve spáleném mléce. V klasicky tepelně ošetřeném mléce se mutageny nevyskytují.
- Probíhá polymerizace mléčných proteinů.
- V průběhu pokročilé fáze vznikají antioxidační látky.
- Tepelně ošetřené mléko může vykazovat nižší alergický potenciál. Avšak teploty používané při pasteraci (60 – 70°C) ani teploty sušení, či odpařování, stejně tak zahřátí po dobu 2 – 5 min na 100°C ke snížení alergenicity nevedlo. Pozitivní účinek v tomto ohledu mělo teprve zahřátí na 100°C po dobu 10 min. Ale ani tímto způsobem nebylo dosaženo úplné eliminace alergenicity. [13,16]

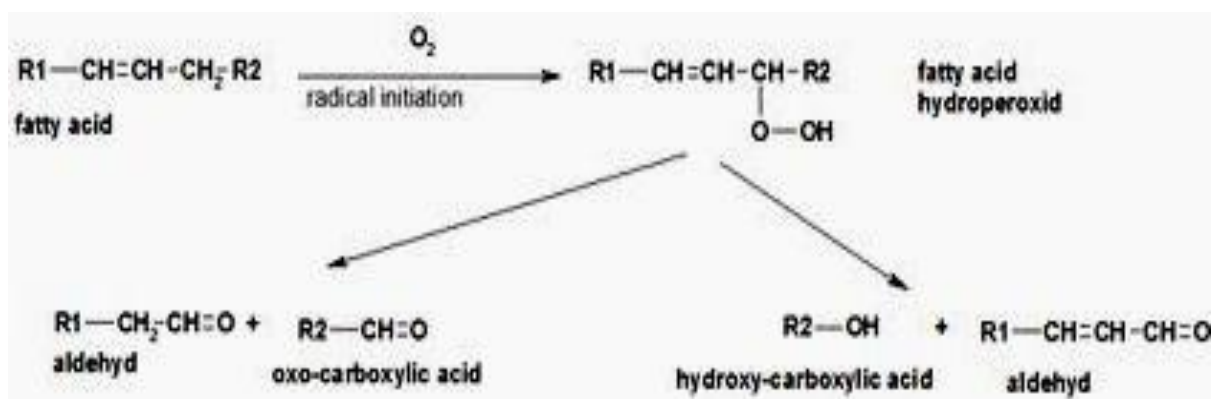
### 2.3 Chemické reakce při smažení potravin:

Ve smažicím oleji probíhají vlivem vysokých teplot při smažení celkem tři 4 typy reakcí.

1. *Reakce hydrolytické* - Jsou hlavními reakcemi probíhajícími při smažení. Ze smažené potraviny se uvolňuje vodní pára, která působí na horký olej. Ten se rozkládá na glycerol a volné mastné kyseliny. Přeměnou glycerolu vzniká těkavý akrolein. Část mastných kyselin vyprchá a zbylé mastné kyseliny ovlivňují sensorickou jakost potraviny. Přítomné polární látky reakci urychlují. Směrem k nižším degradačním produktům reakce probíhá rychleji. [5,7]
2. *Oxidační reakce* – Oxidací vznikají hydroperoxydy (Obr.7). Jejich obsah v oleji nepřesahuje 1% hmotnosti, což je způsobeno rozkladem hydroperoxidů za vysokých teplot, jakých je při smažení dosaženo. Rychlost oxidace je zpočátku vysoká. Spotřebováním kyslíku rozpuštěného v oleji však klesá a je nutno přijmout další kyslík ze vzduchu. Napěněním povrchu oleje se zvětšuje jeho plocha a tím rychlost difuze kyslíku do oleje. [5]
3. *Polymerační procesy* – Souhrn reakcí mezi volnými mastnými kyselinami a vzájemných reakcí mezi vzniklými volnými radikály. Volné mastné kyseliny vstupují do reakce svými karboxylovými skupinami, které se navazují na hydroxylové a epoxidové skupiny oxidovaných mastných kyselin. [7]

4. *Pyrolytické reakce* – Produkty oxidace, kromě toho, že polymerují, podléhají dehydrataci nebo reagují s bílkovinami a dalšími složkami potravin. Tím vznikají sloučeniny odpovědné za konečné aroma a barvu smažené potravin a zároveň se snižuje výživová hodnota dané potravin. Dehydratací dochází k přeměně glycerolu na dráždivý akrolein. [7]

Opakovaným používáním oleje na fritování, se v oleji hromadí oxidační produkty. Díky různému chemickému složení potravin, vzniká u každého smaženého produktu aroma, které je typické právě pro danou potravinu. Například u masa tvoří aroma sirné a dusíkaté heterocykly, u bramborových hranolků methional a pyrony. Vůni pokrmu ovlivňuje i typ použitého oleje. V první fázi smažení je obsah degradačních produktů v oleji malý. Jejich postupným hromaděním se rozvíjí aroma. Po několikanásobném použití stoupne jejich koncentrace v oleji natolik, že působí nepříjemně. Dobrymi oleji ke smažení vzhledem k obsahu kyseliny linolové, která je vhodným prekurzorem pro vývoj kladně hodnoceného aroma jsou rostlinné oleje. Ty jsou však při vysokých teplotách velmi nestálé, což znamená, že by se olej musel často měnit. Hydrogenované tuky jsou mnohem stálejší, ale mají nízký obsah kyseliny linolové a obsahují nepříliš přijatelné nenasycené izomerní kyseliny. Smažení na sádle dodává pokrmům dobré chuťové vlastnosti, existují ale námitky z hlediska výživy. Nejvíce přijatelným se jeví olivový olej. Díky malému množství linolové kyseliny je stálý a přítomnost kyseliny olejové přesto zaručuje příjemnou vůni. Při dosažení hranice 10% polymerů a 25% polárních látek má dojít k výměně smažícího oleje. [5]



Obr.7: Schéma oxidace nenasycené mastné kyseliny [8]

### 2.3.1 Změny složení potravin během smažení

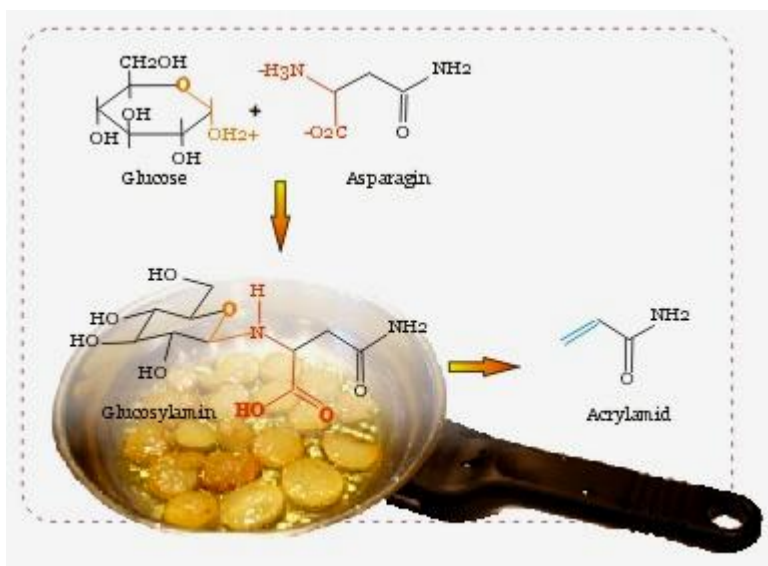
Změny složek potravin a obsahu živin při smažení jsou výrazné hlavně v povrchové vrstvě. Tvoří se barva, vůně a chuť vlivem dusíkatých látek rozpustných ve vodě, jako jsou pyrroly, pyraziny, furanopyraziny a furanopyrroly. Tyto a další produkty vznikají v důsledku Maillardovy reakce a interakcí mezi produkty vzniklými rozkladem smažícího tuku a volnými aminokyselinami nebo bílkovinami ve smažené potravine. Především bývají spojeny s příjemnými chuťovými vlastnostmi. Stačí jen nízké koncentrace pyrazinů k vnímání jejich vůně. Solené potraviny obsahují chlorid sodný a draselný. Hydrolyzou vzniklá kyselina chlorovodíková částečně uniká a hydroxidy tvoří s volnými mastnými kyselinami mýdla, která díky pění urychlují oxidační procesy v oleji. Denurací a změnami bílkovin a volných aminokyselin, rozkladem vitaminů, především kyseliny askorbové, vitaminu E a karotenů a únikem minerálních látek dochází ke snížení výživové hodnoty smažené potraviny. [5,6]

### 2.4 Vznik toxických látek během tepelného zpracování

Toxické sloučeniny vznikající určitou tepelnou úpravou se vyskytují pravidelně v některých skupinách potravin. Smažení patří mezi rizikové tepelné úpravy potravin. Dodržením předepsaných teplot při smažení lze výrazně omezit vznik silně toxických látek. Nejvyšší teplota se udržuje ve vrchní vrstvě smaženého produktu. Vlivem vysokých teplot zde probíhají chemické a fyzikální změny (Obr.8). Tvoří se krusta, která se dehydratuje a je více porézní, než spodní vrstvy potraviny. Odpařená voda z krusty jde směrem dovnitř, zatímco voda a šťáva uvolněná denurací bílkovin postupuje směrem ven. Únikem vody po denuraci bílkovin dochází ke ztrátě hmotnosti, která je o to větší, čím více se zvyšuje vnitřní teplota potraviny. Již při teplotě 65 – 70°C činí 20%. Je prokázáno, že mutagenní aktivita se zvyšuje s rostoucí teplotou a klesajícím obsahem vody. Rovněž čas hraje důležitou roli. Prodloužení doby tepelné expozice nad prvních 10 min znamená nárůst mutagenní aktivity. Naopak zkrácením z 15 na 8 min se aktivita sníží. Teplota je však hlavním faktorem pro vznik mutagenní aktivity. Kontaktní smažení, fritování, grilování znamená vyšší nebezpečí, než například pečení, dušení, vaření nebo příprava v mikrovlnné troubě. [6,17]

Výsledky různých studií prokázaly, že hranicí mutagenní aktivity v hovězím mase je teplota 200 – 250°C. Nárůstem teploty na 300°C dojde k výraznému zvýšení aktivity. U vepřového masa se zvýšením teploty o každých 50°C mutagenní aktivita zdvojnásobí. Hovězí

maso připravované při teplotě 115°C - 245°C nevykazovalo při počátečních teplotách prakticky žádnou mutagenní aktivitu. Až při teplotě 180°C byl zaznamenán nepatrný nárůst, při teplotě 245°C již byla mutagenní aktivita prokázána. Nejvyšší podíl karcinogenních látek obsahují připálené usazeniny nad hladinou oleje a zbytky po smažení v pánvi. Při smažení hamburgerů obsahovaly tyto usazeniny až 23% z celkového množství karcinogenů, u kuřecího masa 20 – 40 %. Odstraněním usazenin a zbytků se významně sníží množství karcinogenních látek ve smažené potravíně. Smažené kuřecí a hovězí maso obsahuje stejnou skladbu toxických látek v podobném poměru, ryby obsahují rovněž stejnou skladbu, ale v nižších dávkách. [5,6]



Obr.8: Smažení bramborových lupínků [8]

#### 2.4.1 Vliv kreatinu, aminokyselin a sacharidů

Aminokyseliny, kreatin a sacharidy jsou důležitými prekurzory termických mutagenů. Kreatin je uložen ve svalovině vázaný s fosfátem jako forma zásobní energie. Působením tepla transformuje na reaktivnější kreatinin. Vyšší koncentrace kreatinu zvyšuje mutagenní aktivitu. Předpokládá se, že maso s bílými vlákny obsahuje více kreatinu, než maso s červenými vlákny, protože má rychlejší energetický metabolismus. Existuje studie, která prokazuje vyšší mutagenitu v tepelně upraveném bílém kuřecím maso, než v kuřecím maso červeném. Mutagenní aktivita je odlišná i v případě různých aminokyselin. Nejvyšší aktivitu vykazuje treonin, následuje glycin a lysin, naopak tryptofan a prolin mají inhibiční

účinek. Cukry se uplatňují v reakcích neenzymového hnědnutí. Redukujícími cukry běžně se vyskytujícími v masě jsou glukosa, fruktosa, ribosa, galaktosa, arabinosa, erytroza. Až několikanásobně zvyšuje mutagenní aktivitu přidávek glukosy a glukosy-6 fosfátu. Přídavek malého množství glukosy aktivitu zvyšuje 2 – 3x. Opačný efekt má přidání velkého množství, kdy je promutagenní činnost téměř potlačena. Aktivita se mění také podle toho, který cukr je do potraviny před tepelnou úpravou přidán. Přídavkem 4% glukosy, čisté laktosy nebo laktosy ze sušeného mléka mutagenní aktivita poklesla o 40 – 70%. Vysoká koncentrace cukrů, zejména glukosy a laktosy, v potravine blokuje přeměnu kreatinu na kreatinin a souborem Maillardových reakcí vznikají jiné sloučeniny, než při nízké koncentraci. Pro tvorbu mutagenů je optimální, jestliže objem redukujících sacharidů přítomných v potravine je poloviční, než objem aminokyselin a kreatinu, což je podobný poměr jako poměr nativních monosacharidů k aminokyselinám a kreatinu v hovězím masě. [6]

#### 2.4.2 Vliv tuku

Na mutagenní aktivitu, vznikající při tepelném zpracování potravin má vliv i obsah tuku v potravine. Je však obtížné rozlišit, zda jde o chemický nebo spíše fyzikální vliv. Při studiích vlivu tuku na mutagenitu byly smaženy při stejné teplotě hovězí karbanátky s různým obsahem tuku. Při obsahu 8% tuku vykazovalo maso mírnou mutagenní aktivitu, při 15% tuku byla aktivita nejvyšší a při 30% mírně poklesla. Stejný pokus s plátky masa o obsahu tuku 2,8 – 16,6%, ukázal, že nejnižší mutagenní aktivita byla v masě s nejvyšším obsahem tuku. Vysokým obsahem tuku v potravine zřejmě dochází k naředění mutagenních prekurzorů a k lepšímu přenosu tepla, díky čemuž je možno zkrátit dobu smažení. Použitím různých typů tuků na smažení nedošlo k žádným změnám mutagenní aktivity. Pouze při smažení jehněčího masa na másle, margarínu, nebo v olivovém oleji, dosahovala mutagenní aktivita nejvyšších hodnot u masa smaženého na másle. Studie vlastností tuku vypuštěného z kuřecího masa během grilování ukázala, že některé fyzikální a chemické vlastnosti tuku se nemění například index lomu, zmydelnění. Došlo však k závažnému poškození tuku oxidací a k výraznému zhoršení parametrů barvy. Tuk se stal náchylnějším k účinkům molekulárního kyslíku, tvořily se oxidy cholesterolu a došlo ke změnám mastných kyselin. Přičemž teplota a čas působily jako hlavní faktory ovlivňující rychlost probíhajících reakcí a množství oxidačních produktů cholesterolu. Oxidy cholesterolu se ukázaly jako karcinogenní, cytotoxické a mutagenní. Tuk vykazoval velké množství heterocyclic-

kých sloučenin vytvořených díky Maillardově reakci. Prekurzory byly pentosy – ribosa a aminokyselina cystein. Heterocyklické aminy se tvoří hlavně z volných aminokyselin, kreatinu a monosacharidů. Tuk z grilovaného kuřecího masa působí genotoxicky a konzumace rovněž zvyšuje riziko srdečních a cévních chorob. [6, 18]

## 2.5 Pokročilá glykace

Pokročilá glykace nebo-li glykosylace je proces navazující na Maillardovu reakci a oxidaci lipidů. Dikarbonylové sloučeniny, vytvořené během Maillardovy reakce nebo oxidace lipidů, reagují s reaktivními zbytky aminokyselin. Dochází k zesíťování bílkovin a ke změně jejich vlastností a funkce. Takto vzniklé proteiny se nazývají melanoproteiny. Obdobným procesem je glykosylace, kdy vznikají stejně nebo podobně modifikované bílkoviny. Glykace probíhá i spontánně v živých organismech. Hlavními prekurzory produktů glykace jsou glyoxal, methylglyoxal a 3-deoxyhexosulose. Jsou však i další sloučeniny, které se mohou uplatnit v procesu glykace, například:  $\alpha$ -hydroxykarbonylové deriváty sacharidů, některé produkty rozkladu hydroperoxidů lipidů, produkty transformace kyseliny askorbové a další. Konečným produktem pokročilé glykace jsou vysoce oxidační a patogenní glykotoxiny označované souhrnně zkratkou AGE (Advanced Glycation Ends products). [7,19]

### 2.5.1 Obsah AGE v potravinách

Nejvyšší obsah AGE se nachází v masu a živočišných produktech. Ze srovnávání různých typů masa se stejnou nebo obdobnou tepelnou úpravou vzhledem k obsahu AGE, se ukázalo, že skutečně záleží na tom, o jaký druh masa se jedná. Nejhuře z tohoto srovnání vyšlo hovězí maso spolu se sýry, následuje drůbež, poté vepřové maso, ryby a vejce. Nejlépe se umístilo jehněčí maso s relativně nízkou koncentrací AGE. Naopak potraviny s vysokým obsahem sacharidů, například cereálie, ovoce, zelenina, mléko vykazují poměrně nízký obsah AGE i po tepelném zásahu. Tvorbu produktů glykace výrazně zvyšuje suché teplo, ale i tepelně neupravené potraviny živočišného původu mohou obsahovat velké koncentrace AGE. U sýrů to může být způsobeno vysokými teplotami při pasteraci a dlouhou výdrží při pokojové teplotě. U másla a olejů vysokou teplotou při extrakci a čištění. Rovněž u sýrů s vysokým obsahem tuku a letitých sýrů jako Parmazán je možno pozorovat vysoké množství AGE. Potraviny s vysokým obsahem AGE: roztíratelné tuky jako máslo, margarín, krémový sýr, majonéza, oleje, ořechy, potraviny připravené pomocí suchého tepla - sušen-



ky, chipsy. Potraviny s nízkým obsahem AGE: obiloviny, luštěniny, ovoce, zelenina, pečivo, odtučněné mléko, mléčné výrobky s vysokým obsahem vody – jogurty, mražené krémy, pudinky. Oproti tomu nápoj připravený z mléka a kakaového koncentráту obsahuje vysoké množství AGE. Důležitý je vliv tepla a vody. Pečené kuře obsahuje 4x více AGE, než kuře dušené. Míchaná vejce měla o 50 – 75% méně AGE v případě, že byl ke smažení použit olej, margarín nebo olej ve spreji. Patrně z důvodu vyššího obsahu vody, antioxidantů a nižšího obsahu redukujících cukrů. [19]

### 2.5.2 Inhibitory AGE

Mezi inhibiční faktory při glykosylaci patří kyselé prostředí – citronová šťáva nebo ocet, snížení teploty a doby přípravy, antioxidant aminoguanidin, příprava při použití vlhkého tepla. Naložením hovězího masa na 1h do marinády se směsí citronové šťavy a octa došlo ke snížení obsahu AGE o více, než o polovinu oproti přípravě nemarinovaného masa. [19]

### 3 RIZIKOVÉ SLOUČENINY VZNIKAJÍCÍ PŘI TEPELNÝCH ÚPRAVÁCH

#### 3.1 Karcinogenní látky v potravinách

Mezi 12 vlivy, které se v hospodářsky vyspělých zemích významnou měrou podílí na vzniku nádorových onemocnění, jsou potraviny na prvním místě. Jejich podíl činí 40 – 60%. V potravinách se tak může vyskytovat velké množství karcinogenních a mutagenních sloučenin. Nejzávažnější skupiny sloučenin uvádí tabulka 1. Do potravin se dostávají jako kontaminanty, nebo jsou přirozenou složkou potraviny, nebo mohou vznikat v procesu výroby či kulinární úpravou v důsledku působení vysokých teplot. Jejich koncentrace jsou za normálních okolností velmi malé a v jednotlivých dávkách nepředstavují vážnější riziko. Účinek těchto látek se však sčítá a to i po dobu desítek let. Nutno brát ohled i na další karcinogenní faktory jako například kouření a vliv alkoholu. K poklesu počtu nádorů vyvolaných karcinogeny může mimo jiné vést i celkové omezení množství stravy, či omezení příjmu bílkovin nebo energetického příjmu. Důležitá je také skladba stravy. Strava s vysokým podílem živočišných a rafinovaných potravin, vysokým obsahem tuku a cukru se nejeví jako příliš vhodnou.

Skladba potravy, její obsahové složky, ale i její celkové množství, stejně jako způsob její přípravy, mají rozhodující vliv na vznik nádorového onemocnění. [20]

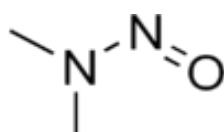
Tabulka 1 Nejzávažnější skupiny karcinogenních látek u lidí a odhadnutý počet jimi indukovaných nádorů na milion obyvatel [20]

Skupiny karcinogenních látek	Odhadnutý počet indukovaných nádorů
Ethanol	< 4 000
N-Nitrososloučeniny	135
Ethyl-karbamát	100
Aromatické aminy	15 - 150
Polycyklické aromatické uhlovodíky	6 - 14
Monocyklické aromatické uhlovodíky	neurčeno

Pokračování tabulky 1

Alkyl- a arylhalogenidy	neurčeno
Alkylační činidla	neurčeno

### 3.2 Nitrososloučeniny



Obr.9: Vzorec N-nitrosodimethylaminu [21]

Ze všech nitrososloučenin jsou z hlediska jejich vzniku v potravinách nejvýznamnější N-nitrosaminy, které jsou klasifikovány jako extrémně potentní karcinogeny. Mohou vyvolávat karcinomy prakticky všech orgánů. Nejvíce nitrosaminů je možné najít v potravinách konzervovaných uzením a slanými nebo kyselými nálevy. Zejména maso je bohatým zdrojem složek, ze kterých mohou vznikat nitrosaminy. O to větší riziko představuje maso konzervované dusitany nebo dusičnany, které značně přispívají k tvorbě N-nitrosaminů. V takto upraveném masu se tvoří N-nitrosodimethylamin (Obr.9), který je nejvíce nebezpečným a zároveň nejběžnějším nitrosaminem. Dále vzniká N-nitrosopyrrolidin a N-nitrosopiperidin. Obsah N-nitrosopyrrolidinu se může zvyšovat tepelnou úpravou. Nitrosaminy vznikající působením tepla, jsou hojně zastoupeny ve smažených tučných masných výrobcích s vysokým obsahem dusitanů nebo dusičnanů. Nitrosaminy vznikají ze sekundárních aminů. Mezi jejich prekurzory patří některé degradační produkty Maillardovi reakce, především glykosylaminy, aminodeoxycukry, karbinolaminy, heterocyklické sloučeniny – pyrroly, imidazoly, oxazoliny a další. N-nitrosaminy mohou být těkavé a netěkavé. Ve větším množství se nitrosaminy vyskytují v uzených masech, v sýrech, především uzených, pivu, rybách, odtučněném sušeném mléce a alkoholických nápojích, nejvíce ve whisky. Vznikají rovněž ve fermentovaných potravinách. Obsah N-nitrosodimethylaminu v pivu byl v posledních letech významně snížen zavedením nepřímého ohřevu sladu při hvozdění. Limitní hodnotu dle vyhlášky uvádí tabulka 2. Vzhledem k vysoké toxicitě nitrosaminů, je jejich obsah v potravinách legislativně regulován. [ 22,17]

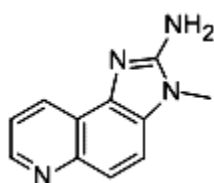
Tabulka 2 N-NITROSAMINY [23]

Potravina	NPM NDMA*	NPM Suma nitrosaminů** mg . kg-1
pivo	0,0005	0,0015

\*Nejvyšší přípustné množství pro N-nitrosodimethylamin

\*\* Nejvyšší přípustné množství pro sumu nitrosaminů zahrnující (N-nitrosodimethylamin, N-nitrosodiethylamin, N-nitrosopyrrolidin, a N-nitrosopiperidin, N-nitrosomorfolin a N-nitrosodi-n-butylamin.

### 3.3 Heterocyklické aminy

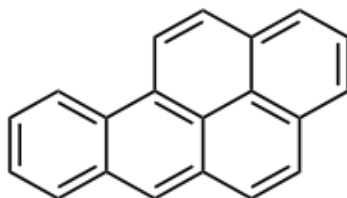


Obr.10: Vzorec IQ (2-amino-3-methylimidazo[4,5-f]chinolin) [24]

Heterocyklické aminy (HA) jsou širokou skupinou vysoce toxických sloučenin. Tvoří se z proteinů nebo aminokyselin jejich tepelným rozkladem a to především souborem reakcí nazývaným souhrnně Maillardova reakce. Do reakce spolu s proteiny a aminokyselinami vstupují redukující cukry. Zásadní pro vznik HA je cyklizace kreatinu. HA dělíme do dvou skupin: isochinolinové (IQ) mutageny a neisochinolinové (non-IQ) mutageny. Mezi IQ mutageny řadíme aminoimidazochinoliny, aminoimidazochinoxaliny a aminoimidazopyridiny. Mezi non-IQ mutageny pak pyridoimidazoly, pyridoindoly, imidazopyrazindiony, diimidazopyrazindiony. HA vznikají, díky přítomnosti kreatinu v reakci, výhradně v mase nebo masných produktech. Při teplotě do 300°C vznikají silné mutageny jako IQ (2-amino-3-methylimidazo[4,5-f]chinolin)(Obr.10), MeIQ (2-amino-3,4-dimethylimidazo[4,5-f]chinolin), MeIQx (2-amino-3,8-dimethylimidazo[4,5-f]chinoxalin), diMeIQx (2-amino-3,4,8-dimethylimidazo[4,5-f]chinoxalin) a PhIP (2-amino-1-methyl-6-fenylimidazo[4,5-b]pyridin). IQ, MeIQ, DiMeIQx vykazují 17 až 100x větší mutagenní aktivitu, než Aflatoxin B1 a přibližně 325 až 2000x větší, než benzo[a]pyren. Pokud teplota překročí 300°C, vznikají minoritní, o něco méně mutagenní sloučeniny jako Trp-P-1 a Trp-P-2. Bezpečné množství pro člověka, 1,1µg na 70 kg a den při hladině rizika 1 nádor na milion obyvatel,

bylo stanoveno výpočtem z údajů zjištěných z pokusů u zvířat. Přitom v hospodářsky vyspělých státech činí průměrný denní příjem 0,5 až 5 $\mu$ g na osobu. [17,25]

### 3.4 Polycyklické aromatické uhlovodíky



Obr.11: Vzorec benzo[a]pyrenu [26]

Polycyklické aromatické uhlovodíky, označované zkratkou PAU jsou dnes již běžnými kontaminanty životního prostředí. Vyskytují se jak v ovzduší, tak ve vodě i v půdě. Hlavním zdrojem PAU je nedokonalé spalování organických látek. Celkem bylo identifikováno asi 200 PAU kontaminujících životní prostředí. Některé z nich se vyznačují karcinogenním a genotoxickým účinkem. Do potravin se mohou dostat buď kontaminací surovin z prostředí (spadem z ovzduší, absorpcí z půdy), nebo vznikají při zpracování potravin kulinárními a technologickými procesy za vysokých teplot. Nejobávanějšími procesy z hlediska vzniku PAU jsou uzení, grilování, pražení a sušení. V uzených potravinách se PAU usazují především na povrchu, například v kůži uzených ryb je koncentrace 4 – 24 krát vyšší, než v mase. Největším problémem je uzení v domácnostech přímo nad ohněm. V takových výrobcích bývá obsah PAU až 10 krát vyšší, než při průmyslovém uzení. Vliv podmínek uzení na koncentraci benzo[a]pyrenu (Obr.11) v uzenářských výrobcích uvádí tabulka 3.

Při grilování se PAU tvoří v tuku kapajícím na žhavé palivo nebo topnou desku, v palivu a v samotné potravine při styku s ohněm. Průměrný obsah benzo[a]pyrenu v párcích v  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  v závislosti na způsobu přípravy: neohříváné 0,2, ohříváné v elektrické troubě 0,2, na dřevěném uhlí 0,3, žhavými uhlíky 8 a plamenem polen 54. PAU jsou dále přítomny v pražené kávě, v sušených čajových listech, ve sladu, ve zkaramelizovaném cukru, v cigaretovém kouři. Přestup z kávy a čajových lístků do připraveného nápoje je minimální. [17, 22, 25]

Tabulka 3 Vliv podmínek uzení na koncentraci benzo[a]pyrenu v uzenářských výrobcích srovnatelných parametrů [25]

Technika vyvíjení kouře	Obsah benzo[a]pyrenu ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
Doutnavý kouř	< 0,1 – 36,3
Vlhký kouř	0,1 – 0,8
Kouř z třecího vyvíječe	0,1 – 4,6
Horké uzení (světlé)	< 0,1 - 2,1
Horké uzení (tmavé)	0,2 – 36,2
Studené uzení (světlé)	0,1 – 3,2
Studené uzení (tmavé)	0,1 – 56

Nejvíce sledovanými PAU z důvodu toxicity jsou benzo[a]pyren, benzo[a]anthracen, dibenzo[a,h]anthracen, benzo[e]pyren a chrysen. Jako průměrný roční příjem benzo[a]pyrenu potravou ve střední Evropě je udávána hodnota 0,3 – 1,2 mg. Největší podíl mají obiloviny až 40%, dále tuk 25%, přibližně po 10% listová zelenina, uzeniny a ovoce. Limitní hodnoty pro obsah PAU v jedlých olejích stanovených vyhláškou uvádí tabulka 4. [17, 22, 25]

Řada PAU byla Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny označena za významné karcinogeny nebo kokarcinogeny. [22]

Tabulka 4 POLYCYKlickÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY\*. [23]

Potravina	NPM $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
jedlé oleje	0,002

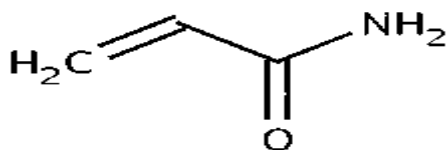
\* Polycyklickými aromatickými uhlovodíky se rozumí benzo(a)anthracen, benzo(b)fluoranthén, benzo(k)fluoranthén, chrysen, dibenzo(a,h)anthracen, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenzo(a,i)pyren, dibenzo(a,h)pyren. Nejvyšší přípustné množství je stanoveno pro jednotlivé látky jednotlivě. Celkový obsah vyjmenovaných látek v potravině nesmí překročit desetinásobek nejvyššího přípustného množství.

Obsah PAU v některých skupinách potravin dle studie prováděné ve Spojených státech uvádí tabulka 5.

Tabulka 5 Obsah PAU v některých skupinách potravin [27]

Potravina	Obsah PAU v $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	Průměrná hodnota minimální	Průměrná hodnota maximální
Negrilované maso	0,1	0,69
Grilované nebo uzené - hovězí	28	35
- vepřové	12	26
- drůbež	12	19
Frankfurtské párky	8	12
Ryby – sladkovodní/mořské	0,1	0,1
- uzené	9	36
Rajčata	1,06	1,06
Zelená listová zelenina	19	46
Brambory/jiná zelenina	11	21
Semena	0,6	9
Ovoce	0,5	24
Nápoje - nealkoholické	2	27
- alkoholické	0,04	0,08
- mléko	0,01	0,09
Tuky a oleje	3,4	68
Sýr	1,7	1,7

### 3.5 Akrylamid



Obr.12 Vzorec akrylamidu [9]

Akrylamid, amid akrylové kyseliny (Obr.12), vzniká tepelnou úpravou mnoha běžně konzumovaných potravin. Mezi hlavní zdroje akrylamidu patří smažené hranolky, bramborové lupínky, pražená káva, snídaňové cereálie, chleba. Tvorba akrylamidu probíhá zejména v potravinách bohatých na škrob, a to jejich vystavením vlivu vysokých teplot. Tvoří se souborem Maillardových reakcí. Důležitými faktory z hlediska vzniku a celkového obsahu akrylamidu v potravinách jsou obsah aminokyseliny asparaginu, která tvoří skelet akrylamidu, případně dalších volných aminokyselin v surovině, obsah redukujících cukrů, obsah vody, hodnota pH, přidavek aditivních látek, teplota a čas. Do 120°C nevzniká akrylamid téměř vůbec, ve vařených potravinách se tudíž nevyskytuje. Kritickou se jeví teplota přibližně 140°C a více. Každým zvýšením nad tuto hodnotu, či prodloužením doby působení stoupá prudce jeho koncentrace. Např. u pražených mandlí, zvýšením teploty pražení ze 145°C na 165°C, stoupne jeho koncentrace až dvacetkrát, u smažených hranolků činí nárůst až dvojnásobek původní hodnoty. Maso neobsahuje dostatek sacharidů potřebných pro Maillardovu reakci. Z hlediska výskytu akrylamidu nehrozí tudíž žádné nebezpečí. Naproti tomu u některých druhů sušeného ovoce, jako například švestek či hrušek, přestože teploty jejich sušení nepřesahují 80°C, dosahuje koncentrace akrylamidu až 1000µg na kg i více. Prvními známými zdroji akrylamidu byl tabákový kouř a voda. Prekurzorem akrylamidu může být i akrolein, kyselina akrylová či gluten. Množství vzniklá z těchto prekurzorů jsou však vzhledem k celkovému obsahu v potravinách zanedbatelná. Potraviny s nejčastějším výskytem akrylamidu uvádí tabulka 6. [11,25,28,29]



Tabulka 6 Potraviny s nejčastějším výskytem akrylamidu. Hodnoty jsou uvedeny v  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  [30]

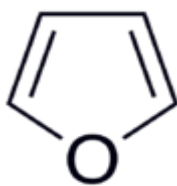
Potravinové produkty	Počet vzorků	Střední hodnota	Maximální hodnota
Cereálie a těstoviny surové a vařené	113	15	47
Cereálie a těstoviny opékané, smažené, grilované	200	123	820
Produkty na bázi cereálií	2991	366	7834
Snídaňové cereálie	369	96	1346
Chléb, rohlíky	1294	446	3436
Pečivo, kekсы	1270	350	7834
Pečené brambory	22	169	1270
Bramborové lupínky	874	752	4080
Bramborové hranolky	1097	334	5312
Káva výluh	93	13	116
Káva mletá (instantní nebo pražená)	205	288	1291
Bezkofeinová káva	26	668	5399
Zelený čaj pražený (pravý)	29	306	660
Zelenina surová, vařená nebo konzervovaná	45	4,2	25
Zelenina opékaná, pečená, smažená, grilovaná	39	59	202
Ovoce čerstvé	11	< 1	10
Ovoce sušené, smažené, tepelně zpracované	37	131	770
Dětské piškoty, suchary apod.	32	181	1217
Sušené potraviny	13	121	1184
Ořechy a olejoviny	81	84	1925
Chuťové přísady a omáčky	19	71	1168

Od roku 2002 vyvíjí potravinářský průmysl, členské státy EU a Komise značné úsilí zaměřené na zkoumání podmínek tvorby akrylamidu a způsobů jeho snižování v tepelně zpracovaných potravinách. Bez ohledu na toto úsilí, ukazují studie, že se množství akrylamidu z 22 sledovaných potravinových skupin snížilo pouze u tří, a to u křupek, dětských piškotů a perníku. V ostatních případech zůstávají hodnoty na stejné úrovni, nebo se dokonce zvyšují. Jako odhadovaný průměrný denní příjem pro populaci se obecně udává hodnota  $1\mu\text{g}$  na kg tělesné hmotnosti. Při vysoké konzumaci až  $4\mu\text{g}$  na kg tělesné hmotnosti. [29,31]

Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny byl akrylamid označen za pravděpodobný humánní karcinogen. V lidském těle je rychle absorbován a distribuován. Akrylamid je neurotoxická látka a vykazuje genotoxický potenciál. Oxidací vzniká glycidamid, který je mnohem reaktivnější. Vědci z Harvardovy univerzity v Bostonu zkoumali účinky akrylamidu v souvislosti s výskytem rakoviny prostaty. Výzkum neprokázal žádnou významnou spojitost mezi příjmem akrylamidu z potravin konzumovaných v USA a rizikem výskytu rakoviny prostaty. [25, 28]

Z nařízení EU jsou členskými státy každoročně předkládány Úřadu EFSA zprávy o zjištěných týkajících se akrylamidu, furanu, ethylkarbamátu, perfluoralkylovaných látek v potravinách. [32]

### 3.6 Furan ( $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}$ )



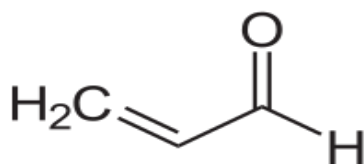
Obr.13: Vzorec furanu [33]

Furan (Obr.13) byl prokázán v potravinách již v 70 letech 20. století. Je to jednoduchá heterocyklická sloučenina. V organismu se rychle vstřebává a může se vázat na proteiny a nukleosidy. Organizací The International Agency on Research on Cancer (IARC) byl uznán za potenciální lidský karcinogen. Vykazuje silnou cytotoxicitu, je zde možnost iniciace vzniku jaterního karcinomu, předpokládá se rovněž genotoxicita. Furan vzniká tepelným rozkladem sloučenin, které obsahují celulosu a pentosu. V potravinách je to především

procesem sterilace, pasterace a pražení. Často je přítomen v potravinách, které se navzájem velmi liší svým složením. Může vznikat z aminokyselin, sacharidů, kyseliny askorbové, karotenoidů, nenasycených mastných kyselin. Nejčastěji a v nejvyšších koncentracích se vyskytuje v kávě, karamelu, konzervovaných a sterilovaných potravinách, především v dětských výživách. Vysoký obsah vykazuje také kůrka chleba, nebo chléb samotný, pochutiny, jako bramborové lupínky, arašídů, mandle, sójové omáčky, kyselé hydrolyzáty bílkovin. Pokud se furan tvoří ze sacharidů, vzniká cestou Maillardovy reakce, což je další z možných způsobů vzniku. V potravinách, které prošly průmyslovou výrobou je zachycena mnohem větší koncentrace furanu, což je způsobeno skutečností, že z uzavřených nádob používaných v průmyslových technologiích, nemůže furan unikat spolu s odcházejícími parami, vznikajícími intenzivním varem.

Odhadovaná průměrná denní expozice činí u dětí do dvou let  $0,41\mu\text{g}$  na kg tělesné hmotnosti, u dospělých a starších dětí  $0,26\mu\text{g}$  na kg tělesné hmotnosti. [25]

### 3.7 Akrolein ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$ )



Obr.14: Vzorec akroleinu [34]

Akrolein (Obr.14), nebo-li akrylaldehyd, je typickým produktem vznikajícím při smažení potravin. V důsledku působení vysokých teplot se tuky při smažení rozkládají na glycerol a volné mastné kyseliny. Glycerol se následnou dehydratací mění na nízkomolekulární aldehyd akrolein, který je poměrně těkavý a částečně těká do ovzduší. Dráždí oči a sliznice. Akrolein je vysoce toxická látka. [5,20]

### 3.8 Hydroperoxydy, epoxidy a nenasycené aldehydy

Hydroperoxydy mastných kyselin jsou primárními produkty autooxidace lipidů. Bývají velmi nestálé a snadno odštěpují vodíkový nebo hydroxylový radikál. Dalším rozkladem vznikají těkavé sensoricky aktivní nasycené a nenasycené aldehydy a uhlovodíky. Aldehydy způsobují žluklou chuť potraviny v pokročilém stádiu oxidace. Aldehydy podléhají

dalším oxidacím a reakcím s dalšími složkami potravin například s bílkovinami. Dalšími z oxidačních reakcí lipidů mohou vznikat velmi reaktivní sloučeniny (zvláště za vyšších teplot) epoxidy. Epoxidy tvoří s molekulou vody dihydroxyderiváty, s molekulou alkoholu ethery, s karboxylovou skupinou mastných kyselin estery, s aminosloučeninami sekundární aminy. Vznikají z hydroxyperoxidů reakcí s dvojnou vazbou nenasycených kyselin. Sloučeniny produkované oxidačními pochody lipidů, zvláště pak jejich účinek na zdraví, byly dlouho podceňovány. Důvodem je jejich nízká akutní toxicita. Stavitelnost oxidovaných lipidů je obtížná, při vysokém obsahu v lidském těle reagují s bílkovinami krevního séra a usazují se na stěnách cév, což je příčinou onemocnění zvané ateroskleróza. Hydroperoxydy ve vyšších koncentracích mohou způsobit, že se pokožka stává propustnou pro vodu a vyvolávat příznaky nedostatku esenciálních aminokyselin a vitamínu E. [7]

### 3.9 Malonaldehyd (HOOC-CH<sub>2</sub>-CHO)

Malonaldehyd patří mezi karcinogenní sloučeniny. Vzniká autooxidací mastných kyselin jako finální produkt reakce. Vyskytuje se především v tucích, oříškách, ale i v zelenině, pomerančové esenci. Reakcí s nukleovými kyselinami a proteiny a jejich následnou změnou podporuje vznik zhoubných nádorů a vyvolává mutagenní účinky. Reakcí s proteiny vznikají sloučeniny nazývané zkratkou ALE (Advanced Lipoxidation End products). [7,20]

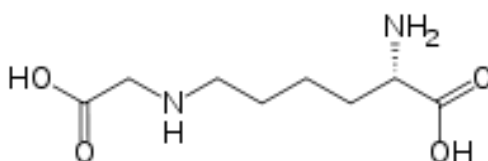
### 3.10 Ethyl-karbamát (H<sub>2</sub>NCOOCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)

Ethyl-karbamát je karcinogenní, mutagenní, teratogenní a hepatotoxická sloučenina. Jedná se v podstatě o ethylester karbamové kyseliny s dalším názvem urethan. Nejvyšší množství ethyl-karbamátu se nachází v produktech fermentace, zejména v některých ovocných destilátech. Určitá část z celkového zde přítomného ethyl-karbamátu vzniká přeměnou kyanogenních glykosidů- amygdalinu a prunasinu uložených v peckách ovoce. Působením světla, vlivem fotochemických reakcí, jeho obsah v destilátech z peckového ovoce vzrůstá. V destilátu slivovice vystaveném účinkům světla vzrostl za 110 dnů jeho obsah z 1 na 7 mg . l<sup>-1</sup>. Podrobením přímému slunečnímu záření destilátu stočeného do čirých průhledných lahví dosahuje se již po dvou dnech maximální koncentrace. Kyanogenní glykosidy nalezneme i v ječmeni a cukrové třtině. V relativně nižších dávkách je možno urethan přijímat v chlebu, jogurtech, sýrech, sójové omáčce, ovocném a vinném octě a jiných potravinách. Dalšími výchozími látkami pro vznik ethyl-karbamátu jsou karbamoyl-fosfát,

L-karbamylasparagová kyselina, citrulin a močovina, a to zejména v jogurtech, pivu a vínu. Za karcinogenitu a genotoxicitu jsou odpovědné metabolické meziprodukty ethylkarbamátu – vinylkarbamát a ethyl-N-hydroxykarbamát. Studie dokazují, že až 90% urethanu přijatého orálně organismus vyloučí ve formě oxidu uhličitého. Tolerovatelná dávka u lidí v přepočtu na osobu o hmotnosti 70 kg činí 1,4 $\mu$ g na den. [20,22,25]

### 3.11 AGE, ALE (Advanced Lipoygenation End products)

Tepelně zpracované potraviny obsahují vysoké úrovně produktů pokročilé glykace. Tyto produkty, považovány za konečné, jsou označovány zkratkou AGE. Jedná se o modifikované bílkoviny, respektive z nich uvolněné modifikované aminokyseliny. Tvoří velmi různorodou skupinu sloučenin s patogenním účinkem. Patří mezi ně hlavně heterocyklické aminy, polycyklické aromatické uhlovodíky, trans-izomery mastných kyselin, akrylamid a další. Vznikají díky Maillardově reakci. Reakcemi s některými produkty oxidace lipidů vznikají konečné produkty pokročilé lipooxidace ALE. Usazováním AGE a ALE v organismu dochází ke vzniku oxidačního stresu, oslabení imunity, rozvoji zánětů a chronických onemocnění, vznikají alergie, kardiovaskulární choroby, gastrointestinální a plicní onemocnění, diabetes, Alzheimerova choroba, uremie, cirhosa, pokles elasticity tkání a s tím související nemoci pohybového aparátu. Také narušují mechanismus oprav DNA. Byl zjištěn přirozený výskyt AGE v syrových potravinách živočišného původu bohatých na proteiny a lipidy, což je důsledkem spontánních reakcí glykace v živých organismech. Tepelným zpracováním jako je grilování, rožnění, smažení, opékání, pečení dochází v potravině k tvorbě nových AGE. V tepelně opracovaných potravinách se nachází 10 – 100 x větší množství produktů glykace, než u syrových potravin. Významným zástupcem této skupiny sloučenin je N-(Karbokymethyl)lysin (Obr.15) Vzniká například v mléčných výrobcích degradací laktulosyllysinu. V celosvětovém měřítku 46% všech onemocnění představují právě chronické choroby a 59% všech úmrtí je následkem chronických chorob. [7,19,35]



Obr.15: Vzorec N(6)-(Karbokymethyl)lysinu [36]

## 4 METODY STANOVENÍ VYBRANÝCH RIZIKOVÝCH SLOUČENIN

### 4.1 Testování kvality oleje používaného ke smažení

Při průmyslové výrobě, v restauracích a rychlých občerstveních se tuk ke smažení používá několikrát po sobě. Několikanásobným použitím tuku dochází k hromadění degradačních produktů. Celkové množství vzniklých polárních látek v použitém fritovacím oleji by nemělo být vyšší, než 25% na hmotnost oleje. Důležité je včasné stanovení doby, kdy se má olej vyměnit za čerstvý. Což je velmi obtížné v podmínkách bez laboratorního zařízení. Proto se jako velmi výhodné jeví použití rychlých testů založených na fyzikálních a chemických vlastnostech oleje. Tyto testy musí především dobře korelovat se standardní metodou, musí být dostatečně přesné a citlivé, odolné vůči chybě obsluhujícího a bezpečné ve styku s potravinami. [37,38]

#### 4.1.1 Standardní analytická metoda

Je založena na stanovení obsahu polárních látek. Množství polárních látek se stanovuje pomocí sloupcové chromatografie. Metoda je časově náročná a vyžaduje laboratorní vybavení. Vzorek oleje se promývá ve skleněné koloně naplněné silikagelem směsí diethyletheru s petroletherem. Dochází k oddělení polární frakce od nepolární. Po odpaření rozpouštědla se vážkově stanoví obsah polárních látek. [37,38]

#### 4.1.2 Testy pro rychlé stanovení kvality oleje

Existují dva základní typy testů pro rychlé použití, fyzikální a chemické. Fyzikální jsou založeny na měření viskozity a hustoty vzorků oleje. Ke zvýšení hustoty a viskozity dochází současně s degradací oleje. Chemickými testy se určuje množství karbonylových a oxidovaných sloučenin. Testy stanovující změnu fyzikálních vlastností olejů vykazují při svém použití lepší výsledky, než testy závislé na dokazování chemických reakcí. Při použití fyzikálních testů dochází k menšímu počtu chybných výsledků a výsledky dobře korelují se standardní metodou.[38]

**Chemické testy:**

- *Fritest* je kolorimetrická sada vyráběná komerčně. Jedná se o výrobek společnosti Merck. Test je citlivý na obsah karbonylových sloučenin ve vzorku oleje. Barva vzorku po provedení testu se srovnává se čtyřbarevnou škálou: světle žlutá – dobrá kvalita oleje, žlutá – ještě dobrá kvalita, žluto-oranžová – nutná výměna oleje, oranžová – olej znehodnocen.[38]
- *Oxifritest* - komerčně vyráběná kolorimetrická sada společnosti Merck, která určuje celkový obsah oxidovaných látek v používaném oleji. Smísením dvou činidel a vzorku oleje dochází k rozvinutí barvy. Následně se porovnává zabarvení jako u předchozího testu. Čtyřbarevná škála jde od modré přes modro-zelenou, zelenou až po olivově zelenou, kdy je již olej znehodnocen.[38]
- *Test 3M LRSM* (Low range Shortening Monitor) Test umožňuje určit množství volných mastných kyselin vzniklých oxidací oleje. Jeden test obsahuje 50 monitorovacích proužků LRSM. Výrobcem je společnost 3M. [39]

**Fyzikální testy:**

- *Viskofrit* - určuje se doba potřebná k vyprázdnění trychtýřovitého kužele naplněného olejem. Olej vytéká působením gravitace otvorem v dolní části kužele. Kužel i otvor musí být kalibrovány. Pomocí určení doby průtoku se stanoví zvýšení viskozity, která se zvyšuje vlivem tvorby polymerovaných sloučenin.[38]
- *Potravinářské olejové čidlo* - komerčně vyráběný přenosný elektronický přístroj. Výrobcem je Northern Instruments Corp. Testování se provádí na základě změny dielektrické konstanty v použitém oleji. Před vlastním měřením se přístroj zkalibruje na čerstvý olej. Hodnota se odečítá na stupnici od nuly po deset. K výměně oleje by mělo dojít v případě, že měření dosáhne hodnoty čtyři.[38]
- *i265* – tester pro rychlé stanovení kvality oleje. Tester měří obsah polárních látek. Po vložení čidla do oleje se hodnota spolu s teplotou odečítá na displeji. [37]

**4.2 Stanovení ethylkarbamátu v lihovinách**

Stanovení se provádí pomocí kapilární plynové chromatografie a hmotnostní fragmentografie. Silnější destiláty, s obsahem alkoholu více, než 50% objemových, je nutno před vlast-

ním stanovením naředit destilovanou vodou na hodnotu 45% objemových alkoholu. Destiláty do 50% objemových alkoholu se do přístroje nastříkují přímo bez ředění. Kalibrace chromatografu se provádí pomocí standardů. Používá se roztok ethylkarbamátu v etanolu o koncentraci  $200\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ , který se následně ředí na roztoky o koncentracích v rozmezí  $0,1 - 2 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$  ve 45% ethanolu. Součástí plynového chromatografu je křemenná kapilární kolona, na které dochází k separaci ethylkarbamátu a hmotnostní spektrometr, který jako fragmenty využívá ionty  $m/z$  44, 62 a 74. Konečná koncentrace ethylkarbamátu se určí odečtením z kalibrační křivky, případně u ředěných vzorků přepočtem na výchozí vzorek. Metodou kapilární plynové chromatografie je možno stanovit množství ethylkarbamátu v ovocných, vinných a jiných destilátech. Vyhláškou stanovené limity uvádí tabulka 7. [40]

Tabulka 7 Ethylkarbamát (uretan) [23]

Potravina	NPM $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
víno	0,03
ovocná a likérová vína	0,1
lihoviny s výjimkou ovocných destilátů	0,15
saké	0,2
ovocné destiláty a ovocné, míchané a ostatní lihoviny	0,4

### 4.3 Stanovení mutagenní aktivity

Vzorky pro stanovení se připravují extrakcí metylenchloridem na Soxhletově kapalinovém kontinuálním extraktoru. Frakce metylenchloridu se suší po dobu 12 hodin nad bezvodým síranem sodným a následně se zfiltruje. Odstranění rozpouštědla se provádí v rotační odparce za použití vakua a poté v proudu čistého dusíku. Takto připravený vzorek je možno uchovávat v teflonové nádobě v mrazu při  $-5^{\circ}\text{C}$  až do stanovení mutagenní aktivity. Vlastní stanovení se provádí pomocí Amesova testu na několik kmenů bakterií *Salmonella typhimurium*. Bakterie mají mutace v genech a vyžadují vnější zdroj aminokyseliny histidinu. Přídavek určitých sloučenin může vyvolat reverzní mutaci a obnovit u bakterií schopnost syntézy histidinu. Některé sloučeniny sami o sobě mutagenní, či karcinogenní aktivitu nevykazují, ale produkty vzniklé jejich metabolismem ano. Proto se při testu používají vý-



tažky z krysích jater, které mají za úkol stimulaci metabolismu. Testovaný vzorek se aplikuje na filtrační papírový disk na agar kontaminovaný bakteriemi s přídavkem jaterních enzymů. 2 ml tekutého agaru obsahuje 100 $\mu$ l kultury *Salmonellum typhimurium*. Po 48 hodinové inkubaci ve tmě se test vyhodnotí pomocí automatického počítáče kolonií. Mutagenní potenciál testované sloučeniny se stanoví na základě počtu kolonií. [ 12,41]

## ZÁVĚR

Vliv vysokých teplot na potraviny se ukazuje jako skutečný problém nejen z hlediska snížení nutriční hodnoty potravin, ať už v důsledku ztráty termolabilních vitamínů a minerálních látek, či v důsledku hmotnostních ztrát, či vazbou aminokyselin do nevyužitelných komplexů a snížením štěpitelnosti bílkovin v procesu trávení. Mnohem závažnějším problémem se však jeví vznik látek, které mohou ohrožovat lidské zdraví. Některé z těchto látek vykazují karcinogenní nebo mutagenní potenciál. Jiné jsou ve svém původním stavu neškodné, ale při průchodu trávicím traktem se mění na velmi škodlivé metabolity. Obsah těchto látek v potravinách je velmi malý. Sloučeniny se však v těle usazují a jejich účinek se může projevit až po několika letech.

Na druhou stranu tepelné ošetření potravin má své opodstatnění. Působením vysokých teplot je možno zničit řadu mikroorganismů, nežádoucích enzymů a toxinů, které se v potravine v nativním stavu vyskytují. Tím dochází k prodloužení údržnosti potravin. Při kulinárních úpravách denaturují bílkoviny a částečně se rozkládají složené sacharidy. Takto upravené látky se pak snáze štěpí trávicími enzymy. Díky Maillardovým reakcím vznikají také sloučeniny, které vykazují antioxidační účinky. Nelze opomenout ani konzumenty velmi žádané změny sensorických vlastností potravin, jako vznik charakteristické chuti, aroma a vzhledu.

Z těchto důvodů je nutné hledat způsoby, jak co nejvíce omezit škodlivé účinky tepelného ošetření potravin. Nejjednodušším doporučením je zvolit pokud možno co nejšetrnější způsob tepelné úpravy, nepřekračovat stanovené teploty a doby pro dané operace a nevystavovat tak potraviny zbytečnému tepelnému namáhání.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] POKORNÝ, Jan. Chemická rizika při některých způsobech přípravy pokrmů a jak se jich vyvarovat In: *Jidelny.cz – Informační portál hromadného stravování* [online]. 2006 citace [2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.jidelny.cz/show.aspx?id=460>
- [2] KREJČÍ, Petr a Václav FORMAN. *Základy technologické přípravy pokrmů*. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006. ISBN 80-7318-399-4
- [3] HOUSER, Pavel. Vařit, nebo jíst syrové? In: *Jidelny.cz – Informační portál hromadného stravování* [online]. 2002 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <http://www.jidelny.cz/show.aspx?id=460>
- [4] VÁLEK, Jiří. Tepelná úprava pokrmů. In: *Gastro plus.cz: Gastrotémata. kuchyně* [online]. 2010 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.gastroplus.cz/clanky/gastroserialtepelna-uprava-pokrmu/>
- [5] POKORNÝ, Jan a Lucie PARKÁNYIOVÁ. Smažení potravin z pohledu chemika. *Chemické listy*. 2001, č. 95, 616 – 620
- [6] SKOG, K. Cooking Procedures and Food Mutagens: a Literature Review. *Food and Chemical Toxicology: Review Section*. 1993, roč. 31, č. 9, 655 – 675.
- [7] VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ. *Chemie potravin I.3*. Tábor. OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-15-2
- [8] Obrázky pro dotaz maillardova reakce [online]. 2008 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.google.cz/search?q=maillardova+reakce&start=10&hl=cs&sa=N&biw=1366&bih=635&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&ei=ZtSqT8OXBsLfsgb7geXRBw&ved=0CGAQsAQ4Cg>
- [9] MLČOCH, Zbyněk. Akrylamid a jeho vliv na lidské zdraví, které potraviny obsahují Akrylamid. In: *MUDr. Zbyněk Mlčoch* [online]. 2011 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.zbynekmlcoch.cz/informace/medicina/clanky-studie/akrylamid-a-jeho->

vliv-na-lidske-zdravi-co-obsahuje-akrylamid

- [10] IDE, N, BH LAU, K RYU, H MATSUURA a Y ITAKURA. Antioxidační účinky fruktosyl argininu, produktu Maillardovy reakce ve vyzrálém česne-kovém extraktu. In: *Allivictus* [online]. 1999, č. 1 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.allivictus.cz/?nav=cz/poradna/studie/&studie=26>
- [11] STÁVEK, Jan. *Maillardova reakce – fenomén zrajících vín* [online]. 2006 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: [http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=maillardova%20reakce&source=web&cd=7&ved=0CGMQFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.enolog.cz%2Fobrazky-soubory%2Fmaillardova-reakce-fenomen-zrajicich-vin-883ad.doc&ei=4KmrT6bQHc\\_ssgb80cjtBA&usg=AFQjCNF6RmZYE2ZdylEGTq21-dTZrcTPLg](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=maillardova%20reakce&source=web&cd=7&ved=0CGMQFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.enolog.cz%2Fobrazky-soubory%2Fmaillardova-reakce-fenomen-zrajicich-vin-883ad.doc&ei=4KmrT6bQHc_ssgb80cjtBA&usg=AFQjCNF6RmZYE2ZdylEGTq21-dTZrcTPLg)
- [12] ROGERS, A.M. a T. SHIBAMOTO. Mutagenicity of the Products obtained from heated Milk Systems. *Food and Chemical Toxicology*, 1982, č. 20, 259 – 263
- [13] VAN BOEKEL, M.A.J.S. Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chemistry*. 1998, roč. 62, č. 4, 403 – 414
- [14] KRAMHÖLLER, Barbara, Monika PISCHETSRIEDER a Theodor SEVERIN. Maillard Reactions of Lactose and Maltose. *Food Chemistry*. 1993, č. 41, 347 – 351
- [15] BRANDS, Carline M.J., Gerrit M. ALINK, Martinus A.J.S. VAN BOEKEL a Wim M.F. JONGEN. Mutagenicity of Heated Sugar-Casein Systems: Effect of the Maillard Reaction. *Food Chemistry*. 2000, č. 48, 2271 – 2275
- [16] Alergie vs Intolerance. In: *Bezlaktozy.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <http://www.bezlaktozy.cz/alergie-vs-intolerance/>
- [17] STRATIL, Pavel a Vlastimil KUBÁŇ. Exogenní karcinogeny v potravinách a karcinogeny vznikající při jejich technologickém zpracování. *Chemické listy*. 2005, č. 99, 3 – 12

- [18] HASSAN, G.M., R.A. MAGDA a A.A. AWAD. Nutritional, biochemical and cytogenotoxicity studies on wasted fat released from chicken during grilling process. *Food and Chemical Toxicology*. 2010, č. 48, 2675 - 2681. DOI: 10.1016/j.fct.2010.06.039.
- [19] URIBARRI, Jaime, Sandra WOODRUFF, Susan GOODMAN, Weijing CAI, Xue CHEN, Renata PYZIK, Angie YONG, Gary E. STRIKER a Helen VLASSARA. Advanced Glycation End Products in Foods and a Practical Guide to Their Reduction in the Diet. *American Dietetic Association: Research and Practice Innovations*. 2010, č. 110, 911 - 916. DOI: 10.1016/j.jada.2010.03.018.
- [20] STRATIL, Pavel a Vlastimil KUBÁŇ. Princip karcinogeneze a přírodní karcinogenní sloučeniny v potravinách. *Chemické listy*, 2004, č. 98, 379 – 387
- [21] N-Nitrosodimethylamine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 5.5. 2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/N-Nitrosodimethylamine>
- [22] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin 3.1*. Tábor: OSSIS, 1999. ISBN 80-902391-5-3.
- [23] Vyhláška, kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách: Příloha k vyhlášce č. 305/2004 Sb. roku 1994. KÖKÖRČENÝ, Michal. *Program ZÁKON verze 4.0: Právní informační systém s tradicí od roku 1994* [online]. 2006, 2.3.2012 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: [http://www.pravnipredpisy.cz/predpisy/ZAKONY/2004/305004/Sb\\_305004\\_-----\\_.php](http://www.pravnipredpisy.cz/predpisy/ZAKONY/2004/305004/Sb_305004_-----_.php)
- [24] 2-amino-3-methyl-3h-imidazo[4,5-f]quinoline. *Chemical Book* [online]. 2010 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: [http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_EN\\_cb5332737.htm](http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_cb5332737.htm)

- [25] VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ. *Chemie potravin II.3*. Tábor: OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659
- [26] Benzo(a)pyren. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit.2012-04-11]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Benzo\(a\)pyren](http://cs.wikipedia.org/wiki/Benzo(a)pyren)
- [27] TOMANIOVÁ, Monika, Vladimír KOCOUREK a Jana HAJŠLOVÁ. Polycyklické Aromatické uhlovodíky v potravinách. *Chemické listy*. 1997, č. 91, 357 – 366
- [28] NEHASILOVÁ, Dana. Akrylamid a riziko rakoviny prostaty. *Agro navigátor* [online]. 2011, č.114128 [cit.2011-10-25]. Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/service.asp?act=print&val=114128>
- [29] SUKOVÁ, Irena. Jak snížit akrylamid v potravinách. *Agro navigátor* [online]. 2011, č.114668 [cit.2011-10-25]. Dostupné z: <http://www.agro-navigator.cz/service.asp?act=print&val=114668>
- [30] CIESAROVÁ, Zuzana. Minimalizácia obsahu akrylamidu v potravinách. *Chemické listy*. 2005, č. 99, 483 – 491
- [31] KVASNIČKOVÁ, Alexandra. Zkoumání množství akrylamidu v potravinách. *Agro navigátor* [online]. 2011, č. 111983 [cit.2011-10-25]. Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/service.asp?act=print&val=111983>
- [32] SUKOVÁ, Irena. Změna nařízení EU o kontaminantech. *Agro navigátor* [online]. 2011, č. 112052 [cit.2011-10-25]. Dostupné z: <http://www.agro-navigator.cz/service.asp?act=print&val=112052>
- [33] Furan. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 16.2.2012 [cit.2012-04-11]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Furan>
- [34] Akrolein. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA):

- Wikimedia Foundation, 2001, 17.4.2012 [cit.2012-04-21]. Dostupné z:  
:http://cs.wikipedia.org/wiki/Akrolein
- [35] PERLÍN, Ctibor. Některé nutričně imunologické problémy technologického a kulinárního zpracování potravin. *Agro navigátor* [online]. 2008, č. 80971 [cit.2011-10-25]. Dostupné z:  
http://www.agronavigator.cz/service.asp?act=print&val=80971
- [36] N(6)-Carboxymethyllysine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 30.4. 2012 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/N(6)-Carboxymethyllysine
- [37] t265 -tester pro rychlé stanovení kvality oleje: Ověření využitelnosti testeru t265 pro rychlé stanovení kvality oleje. In: *Měříme.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: http://www.merime.cz/article/t265-tester-pro-rychle-stanoveni-kvality-oleje
- [38] MARMESAT, Susana, Eliana RODRIGUES, Joaquín VELASCO a Carmen DOBARGANES. Quality of used frying fats and oils: comparison of rapid tests based on chemical and physical oil properties. *International Journal of Food Science and Technology*. 2007, č. 42, 601 - 6608. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01284.x.
- [39] Test kvality fritovacího oleje. In: *ADVA s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: http://shop.advasro.cz/Default.asp?CatID=2319
- [40] KOCOUREK, Vladimír a Jana HAJŠLOVÁ. *Metody stanovení cizích látek v potravinách*: Laboratorní příručka Díl III.1. Praha 2: Středisko potravinářských informací Výzkumný ústav potravinářský, 1992. ISBN 80-85120-35-6
- [41] Amesův test. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 18.4.2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ames%C5%AFv\_test

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

HACCP	Hazard analysis and critical control points
pH	Potential of hydrogen - vodíkový exponent
LDL	Low-density lipoprotein
AGE	Advanced Glycation Ends products
HA	Heterocyklické aminy
IQ	2-amino-3-methylimidazo[4,5- <i>f</i> ]chinolin
MeIQ	2-amino-3,4-dimethylimidazo[4,5- <i>f</i> ]chinolin
MeIQx	2-amino-3,8- dimethylimidazo[4,5- <i>f</i> ]chinoxalin
diMeIQx	2-amino- diMeIQx (2-amino-3,4,8- dimethylimidazo[4,5- <i>f</i> ]chinoxalin
PhIP	2-Amino-1-methyl-6-henylimidazo[4,5- <i>b</i> ]pyridin
Trp-P-1	3-amino-1,4-dimethyl-5 <i>h</i> -pyrido[4,3- <i>b</i> ]indol
Trp-P-2	3-amino-1-methyl-5 <i>h</i> -pyrido[4,3- <i>b</i> ]indol
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
EU	Evropská unie
EFSA	European Food Safety Authority - Evropský úřad pro bezpečnost potravin
IARC	International Agency on Research on Cancer - Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny
ALE	Advanced Lipoxidation End products
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
LRSM	Low range Shortening Monitor
NPM	Nejvyšší přípustné množství
NDMA	N-nitrosodimethylamin



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr.1: Rozsah teplot u jednotlivých druhů tepelného zpracování [4].....	15
Obr.2: Postupné zbarvení zrn kávy během pražení [8].....	18
Obr.3: Vznik Schiffovy báze [8].....	21
Obr.4: Streckerova degradace aminokyselin [8].....	22
Obr.5: Inhibice Maillardovy reakce [8].....	23
Obr.6: Maillardova reakce mléka [8].....	26
Obr.7: Schéma oxidace nenasycené mastné kyseliny [8].....	28
Obr.8: Smažení bramborových lupínků [8].....	30
Obr.9: Vzorec N-nitrosodimethylaminu [21].....	35
Obr.10: Vzorec IQ (2-amino-3-methylimidazo[4,5-f]chinolinu [42].....	36
Obr.11: Vzorec benzo[a]pyrenu [26].....	37
Obr.12: Vzorec akrylamidu [9].....	40
Obr.13: Vzorec furanu [33].....	42
Obr.14: Vzorec akroleinu [34].....	43
Obr.15: Vzorec (6)-(Karboxymethyl)lysinu [36].....	45

**SEZNAM TABULEK**

Tab.1 Nejzávažnější skupiny karcinogenních látek u lidí a odhadnutý počet jimi indukovaných nádorů na milion obyvatel [20].....	34
Tab.2 N-nitrosaminy [23].....	36
Tab.3 Vliv podmínek uzení na koncentraci benzo[a]pyrenu v uzenářských výrobcích srovnatelných parametrů [25].....	38
Tab.4 Polycyklické aromatické uhlovodíky [23].....	38
Tab.5 Obsah PAU v $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ v některých skupinách potravin [27].....	39
Tab.6 Potraviny s nejčastějším výskytem akrylamidu. Hodnoty jsou uvedeny v $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [30].....	41
Tab.7 Ethylkarbamát (uretan) [23].....	48