

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství  
a environmentálního modelování**



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního  
prostředí**

**PLYNNÉ POLUTANTY UVOLŇUJÍCÍ SE PŘI  
SMAŽENÍ POTRAVIN V OLEJÍCH A JEJICH  
DOPAD NA LIDSKÉ ZDRAVÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.**

**Autor: Ivana Tětková**

**2014**

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji,

že jsem svou bakalářskou práci vypracovala zcela samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D. a že jsem uvedla v seznamu citované literatury veškerou použitou literaturu a podkladové materiály.

V Praze dne 14.4.2015

.....

Ivana Tětková

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za odborné rady a vedení celé práce.

## **Abstrakt, klíčová slova**

### **ABSTRAKT**

Práce pojednává o problematice plynů, které se uvolňují při varu vybraných rostlinných olejů. Práce se dále zabývá chemickými vlastnostmi těchto polutantů a jejich dopadem na zdraví. Zvláště potom jejich vliv na osoby, kteří jsou těmto plynům vystaveni denně, například v pracovním prostředí. Práce dále hledá způsoby, jak omezit negativní dopad na osoby, které pracují v prostředí smažení v rostlinných olejích.

### **KLÍČOVÁ SLOVA**

plynné polutanty, smažení, rostlinné oleje, toxicita

### **ABSTRACT**

The work focuses on the problem of gases which are released during boiling of selected vegetable oils. The paper focuses on chemical characteristics of these pollutants and their impact on health. Especially their effect on persons who are exposed to these gases daily, for example in the working environment. The paper is looking for ways to reduce the negative impact on humans who closely work in an environment where vegetable oils are frying.

### **KEYWORDS**

gaseous pollutants, frying, vegetable oils, toxicity

## Obsah

1. Úvod.....	- 6 -
2. Základní termíny.....	- 7 -
2.1 Smažení.....	- 7 -
2.2 Druhy olejů a jejich výroba .....	- 7 -
2.3 Chemické reakce probíhající v olejích .....	- 9 -
3. Polutanty .....	- 12 -
3.1 Aldehydy .....	- 12 -
3.2 Ozón .....	- 15 -
3.3 Furany.....	- 17 -
3.4 Prachové částice.....	- 21 -
3.5 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU).....	- 24 -
3.6 Nitrované polycyklické uhlovodíky (nitroPAU).....	- 28 -
4. Možnosti snížení zdravotních rizik.....	- 31 -
4.1 Vhodná volba olejů.....	- 31 -
4.2 Řešení vzduchotechniky kuchyní a provozů.....	- 32 -
4.3 Přidávání antioxidantů.....	- 35 -
5. Závěr.....	- 37 -
6. Citace.....	- 39 -

## 1. Úvod

Smažené pokrmy patří celosvětově k nejoblíbenějším pochoutkám. Smažené jídlo provází charakteristická vůně a chuť. Příprava takového jídla je rychlá, neboť je jídlo při smažení vystaveno vysokým teplotám, 160-180°C. Díky rychlosti přípravy a přívětivé chuti a vůni je smažení oblíbenou formou přípravy pokrmů v restauracích i v domácnostech.

Při zahřívání oleje na vysoké teploty dochází k jeho degradaci a vzniku řady sloučenin. Sloučeniny s vysokým bodem varu zůstávají v oleji nebo se vstřebávají do smaženého jídla. Část sloučenin má nízký bod varu a je těkavá. Tyto látky se uvolňují do nejbližšího okolí. Jsou často toxické. Do těla se mohou dostat jednak vdechnutím a jednak vstřebáním přes neporušenou či porušenou pokožku.

Tato práce se zabývá povahou těchto těkavých látek a jejich účinkem na lidské zdraví. Dále je cílem práce hledat možná řešení jak omezit poškození zdraví. Laická veřejnost není příliš obeznámena s faktem, že se z oleje uvolňují těkavé látky. V domácnostech se často digestoře nad troubou či sporákem instalují, aby se kuchyňský nábytek ochránil před vodní párou. Tyto domácí digestoře pracují na principu komínového efektu a jednoduše odvádějí páry z místnosti. Digestoře bez připojení na komín v sobě mají zabudován často pouze jednoduchý papírový filtr na absorpci mastnoty.

Lidé jsou škodlivým látkám, které se uvolňují při smažení, vystaveni konzumací smaženého jídla a také vdechováním těkavých látek při jeho přípravě. Zaměstnanci restaurací pracují s fritézami, kde je olej nepřetržitě zahříván, i když se v nich nesmaží. V těchto podnicích bývá většinou zajištěna dostatečná výměna vzduchu, protože tato problematika je řešena v českých zákonech a vyhláškách. V domácím prostředí je tato situace často podceňována.

Problematickou škodlivých látek, které se uvolňují při smažení z oleje, se zabývá řada vědeckých studií. Avšak každá se věnuje úzké skupině látek. Jedním cílů této práce je snaha ucelit vědomosti o nastolené problematice a hledat řešení, jak by se dalo zdravotním rizikům zabránit.

## 2. Základní termíny

### 2.1 Smažení

V angličtině rozlišují tři termíny pro smažení - deep-fried (fritovaný), pan-fried (smažený v pánvi) a stir-fried (restovaný). Při fritování je jídlo ponořeno do horkého oleje. Olej je často opakovaně používán, a to až 10 krát, než je celý vyměněn (BASSAMA et al., 2015). Opakovaně je však doplňován čerstvým olejem. Smažení v pánvi má podobné charakteristiky jako fritování. Jídlo je zde také celé ponořeno do oleje. Smažení v pánvi je častější v domácím prostředí. Restování představuje opékání jídla na rozehřáté pánvi s použitím malého množství oleje.

### 2.2 Druhy olejů a jejich výroba

Tuky i oleje jsou estery glycerolu a mastných kyselin. Rozdělení tuků na rostlinné oleje a živočišné tuky je dáno historicky, kdy za oleje se označovaly tuky, které byly za laboratorní teploty kapalné. Dnes je přesnější používání termínu triacylglyceroly.

Ke smažení se celosvětově používají různé druhy olejů i živočišných tuků. Často lidé upřednostňují oleje, které se vyrábí z rostlin typických pro jejich region. V Evropě mají lidé v oblibě olivový, řepkový a slunečnicový olej. V Asii se kromě řepkového často používá sójový, podzemnicový či rýžový olej. Nabídka olejů je však na evropském trhu díky zahraničnímu obchodu velmi pestrá (viz tab. č. 1).

Nedávné výzkumy potvrdily, že konzumace olejů s vyšším podílem nenasycených mastných kyselin (více než 90%), jakými jsou olivový či řepkový olej, je zdravější, než konzumace oleje či živočišných tuků, kde je podíl mastných kyselin menší (10 až 70%) (FRANKEL, 2005). Přehled obsahu mastných kyselin ve vybraných olejích je uveden v tab. č. 2. Živočišné tuky také přirozeně obsahují cholesterol, s jehož zvýšenou konzumací je spojena řada srdečně-cévních onemocnění. Proto lidé dávají přednost olejům při přípravě pokrmů před živočišnými tuky.

Olej se v průmyslovém měřítku nejčastěji vyrábí zpracováním semen olejnin. Přehled významných olejnin je uveden v tab.č. 1.

Název oleje	Český název rostliny	Zpracovaná část	obsah tuku (v %)
<b>kokosový</b>	palma kokosová	semeno (kopra)	63 - 68
<b>palmový</b>	palma olejná	semeno (oplodí)	44 - 53
<b>palmojádrový</b>	palma olejná	semeno (jádro)	50 - 60
<b>olivový</b>	olivovník evropský	semeno (oplodí)	35 - 70
<b>olivkový</b>	olivovník evropský	semeno (jádro)	30 - 45
<b>mandlový</b>	mandlovník obecný	semeno	45 - 53
<b>lískový</b>	líška obecná	semeno	50 - 65
<b>avokádový</b>	hruškovec avokádo	semeno	10 - 30
<b>slunečnicový</b>	slunečnice roční	semeno	22 - 36
<b>podzemnicový</b>	podzemnice olejná	semeno	45 - 55

<b>světlicový</b>	světlice barvířská	semeno	25 - 37
<b>sezamový</b>	sezam indický	semeno	44 - 54
<b>bavlníkový</b>	bavlník chlupatý	neloupané semeno	15 - 24
<b>makový</b>	mák setý	semeno	36 - 50
<b>řepkový</b>	řepka olejná	semeno	38 - 45
<b>řepicový</b>	řepka polní	semeno	30 - 40
<b>hořčičný</b>	hořčice bílá, h.černá	semeno	30 - 42
<b>sójový</b>	sója luštinatá	semeno	17 - 22
<b>lněný</b>	len setý	semeno	35 - 45
<b>konopný</b>	konopí seté	semeno	30 - 35
<b>kukuřičný</b>	kukuřice obecná	klíček	12 - 20
<b>pšeničný</b>	pšenice obecná	klíček	8 - 14
<b>rýžový</b>	rýže setá	otruby	15 - 20

Tab. č. 1 - Výčet některých olejů a postlin, ze kterých se vyrábějí (VELÍŠEK, 2002)

Druh oleje	kyseliny (%)		
	nasycené	monoenoové*	polyenoové**
<b>X</b>			
<b>Olivový</b>	8 - 26	54 - 87	4 - 22
<b>Rýžový</b>	19 - 35	42 - 50	16 - 37
<b>Bavlníkový</b>	24 - 33	15 - 23	46 - 59
<b>Podzemnicový</b>	14 - 28	40 - 68	15 - 45
<b>Sójový</b>	13 - 20	18 - 26	55 - 68
<b>Slunečnicový</b>	9 - 17	12 - 41	42 - 74
<b>Sezamový</b>	13 - 18	36 - 44	42 - 48
<b>Světlicový</b>	7 - 13	8 - 23	68 - 84
<b>Klíčkový</b>	12 - 24	24 - 42	40 - 62
<b>Řepkový</b>	5 - 10	52 - 76	22 - 40
<b>Lněný</b>	10 - 12	18 - 22	66 - 72

Tab. č. 2 - poměr nasycených, a nenasycených (\*s jednou a s\*\*více dvojnými vazbami v molekule) kyselin ve vybraných olejích (VELÍŠEK, 2002).

Olejiny se lisují pod vysokým tlakem nebo se extrahují rozpouštědly. Nejčastěji se pro extrakci používá hexan. V praxi se často obě metody kombinují. Semena se rozdrťí a odvlhčí. Poté se zahřejí, aby se rozložily lipoproteiny. Vzniklé vločky se lisují. Tento šrot, který obsahuje 15-20% tuku, se extrahuje v hexanu. Získaný roztok obsahuje 20-30% oleje v hexanu. K odstranění rozpouštědla se používá destilace. Panenské oleje se vyrábějí pouze lisováním. Nedochází zde k ohřevu. Nejčastěji se tato metoda využívá při výrobě panenského olivového oleje (VELÍŠEK, 2002).



## 2.3 Chemické reakce probíhající v olejích

Skladování oleje i jeho zahřívání na vyšší teploty vede k jeho postupné degradaci. Tvoří se aldehydy, ketony, alkoholy, dieny, kyseliny a další organické sloučeniny. Ne každá sloučenina musí znamenat zdravotní riziko. Tyto sloučeniny však mění chuť, vůni i barvu oleje. Vstřebávají se do jídla, zůstávají v oleji a účastní se dalších reakcí nebo díky své těkavé povaze unikají do okolí.

Degradace oleje je následkem řady chemických reakcí. Nejčastěji se jedná o oxidaci za přítomnosti vzdušného kyslíku či vody ze smaženého jídla. Mezi další reakce, které probíhají v olejích jsou hydrolýza, polymerace a štěpení. Použitý olej následně může obsahovat až 400 různých produktů jeho degradace (BANSAL et al., 2010). Část těchto sloučenin, ať už zůstávají v oleji, či se vstřebávají do jídla nebo těkají do okolí, může být toxická.

Množství produktů těchto reakcí je ovlivněno dvěma faktory. Prvním z nich je teplota, na kterou se olej zahřívá. Každý jednotlivý olej má své specifické složení, které je dáno přítomností různých mastných kyselin v esterové vazbě na glycerol. Každý olej má určitou toleranci vůči teplotě. Když se oleje zahřívají nad určitou teplotu, nastává tzv. Kouřový bod, kdy prudce roste množství škodlivých látek, které se z oleje či do oleje uvolňují. Druhým faktorem je doba, po kterou je olej vystaven vysoké teplotě. Čím déle je olej zahříván, tím více látek se z něj uvolňuje (VELÍŠEK, 2002).

## 2.4 Kouřový bod (smoke point)

Kouřový bod je teplota, při které se nad olejem začne tvořit kouř. Tento dým je způsobem rozkladem tuku na glycerol a volné mastné kyseliny. Glycerol se dále rozkládá na další sloučeniny, zejména akrolein (2-propenal), který je hlavní součástí kouře.

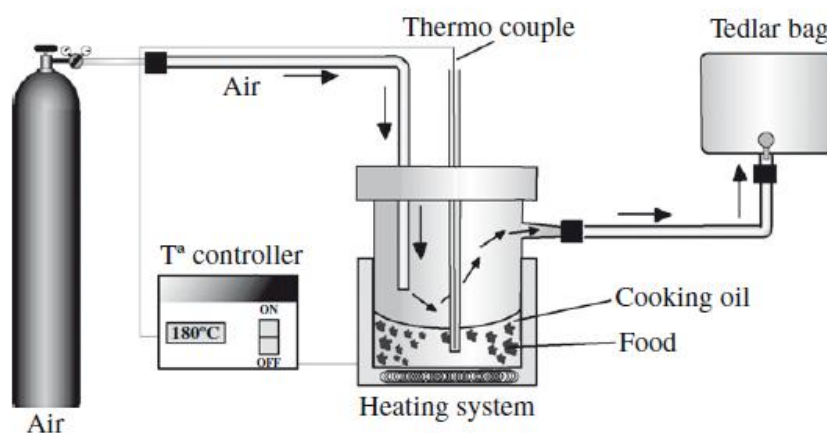
Problematikou kouřového bodu se zabývala studie Harinageswara Rao Katragaddy z Univerzity v Daytonu, USA (KATRAGADDA et al., 2010). Tato studie zjišťovala hodnotu kouřového bodu pro čtyři různé oleje a množství těkavých Aldehydů, které se během zahřívání olejů uvolňovaly. V tab. č. 3 jsou vypsány hodnoty kouřových bodů pro dané oleje.

olej	MUFA <sup>a</sup> (%)	PUFA (%)	SFA (%)	kouřový bod (°C)
kokosový	6 ± 1	3 ± 1	91 ± 5	175 ± 4
světlicový	15 ± 1	75 ± 4	8 ± 1	212 ± 4
řepkový	58 ± 3	32 ± 2	10 ± 1	238 ± 4
e.p. *olivový	72 ± 4	14 ± 1	14 ± 1	195 ± 4

Tab. č. 3 - Obsah mastných kyselin a kouřové body pro vybrané rostlinné oleje, MUFA<sup>a</sup> = mononenasycené mastné kyseliny; PUFA = polynenasycené mastné kyseliny; SFA = nasycené mastné kyseliny, e.p.\* = extra panenský (KATRAGADDA et al., 2010).

Na obr. č. 1 je schématicky znázorněna kolona, která byla použita ve studii Harinageswara Rao Katragaddy. Reaktor byl hermeticky uzavřený. Zahřívání se v něm olej se vzorky jídla a teplota oleje byla kontrolována teploměrem. Teplota dosahovala postupně

hodnot 180°C (běžná teplota při fritování), dále 210, 240 a 270°C (teplota přesahující kouřový bod daného oleje). Reaktor byl zásoben vzduchem z tlakové lahve a vzniklé spaliny byly zachytávány do tzv. Tedlarových sáčků.



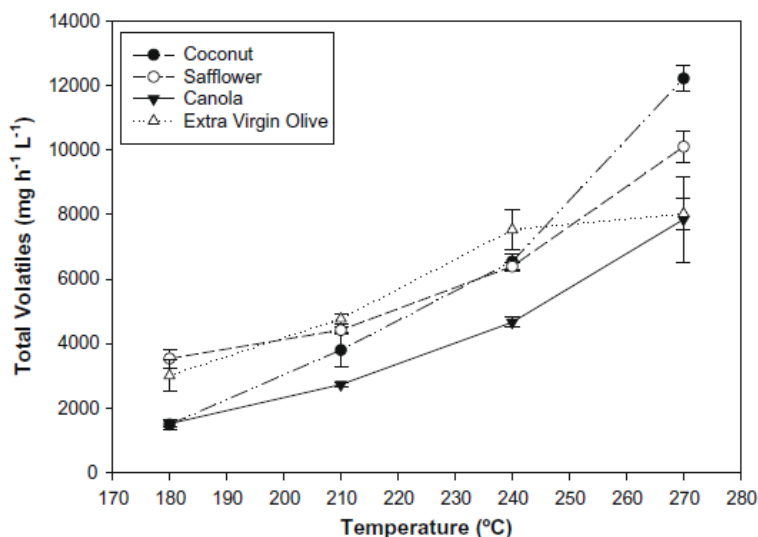
Obr. č. 1 - Schématické znázornění kolony pro zjištění množství těkavých látek z oleje (KATRAGADDA et al., 2010).

Zahřívání trvalo 6 hodin a vzorky byly odebírány každou celou hodinu. Jednotlivé vzorky byly analyzovány pomocí plynové chromatografie - hmotnostní spektrometrie s citlivostí  $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^3$  (GC-MS). Výsledné množství aldehydů pro jednotlivé oleje je uvedeno v tab. č. 4. Také je z této tabulky zřejmé, že delší zahřívání nezpůsobilo zvýšení množství aldehydů.

druh oleje	čas zahřívání (h) a množství aldehydů ( $\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{l}_{\text{oleje}}^{-1}$ )							aldehydy ( $\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{l}_{\text{oleje}}^{-1}$ )
	0	1	2	3	4	5	6	
X								X
světlicový	999	1403	887	900	892	1053	1002	$1019 \pm 75$
kokosový	894	1215	1893	1143	1064	1200	1139	$1221 \pm 119$
řepkový	1302	993	1167	1033	1053	1056	1076	$1097 \pm 43$
olivový	1908	1049	2338	2185	2440	1731	2001	$1950 \pm 193$

Tab. č. 4 - množství aldehydů ( $\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{l}_{\text{oleje}}^{-1}$ ) pro 4 druhy olejů: světlicový, kokosový, řepkový a extra panenský olivový během 6 hodin zahřívání na 210°C (KATRAGADDA et al., 2010).

Teplota se ovšem ukázala jako důležitý faktor. Jak je vidět na následujícím grafu (obr. č. 2), roztoucí teplota oleje způsobuje tvorbu většího množství těkavých látek. Teplota, na kterou je olej zahříván, ovlivňuje množství aldehydů, které se poté uvolňují.



Obr. č. 2 - vliv teploty oleje na tvorbu těkavých látek ( $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{l}_{\text{oleje}}^{-1}$ ), pro kokosový (coconut), světlicový (safflower), řepkový (canola) a extra panenský olivový olej (extra virgin olive) (KATRAGADDA et al., 2010).

Kouřový bod představuje odolnost oleje vůči zahřívání. Čím nižší hodnoty dosahuje, tím méně je daný olej vhodný ke smažení. Zvláště nevhodné ke smažení jsou oleje, jejichž kouřový bod má nižší hodnotu než  $200^{\circ}\text{C}$ . Po překročení této teploty, nejen že dochází k uvolňování většího množství aldehydů, ale také může olej vzplanout. Příkladem může být kokosový olej, který má kouřový bod  $175^{\circ}\text{C}$  a bod vznícení  $275$  až  $280^{\circ}\text{C}$ . Pokud by se s tímto olejem zacházelo například jako s řepkovým olejem (kouřový bod  $238^{\circ}\text{C}$ ), mohlo by snadno dojít k přehřátí, ke vznícení oleje a případně k vážným popáleninám, nebo ke škodám na majetku. Při smažení v domácích podmínkách není kontrola teploty oleje obvyklá.

### 3. Polutanty

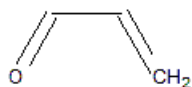
Při smažení se uvolňuje řada těkavých látek. Tyto sloučeniny jsou většinou organické povahy a vznikají chemickými reakcemi ze sloučenin v oleji, či ze sloučenin obsažených ve smaženém jídle. Jejich vznik a množství jsou často závislé na teplotě a druhu oleje či tuku, který je použit. V této kapitole je výčet nejvýznamnějších toxických látek, které obsahují výpary ze smažení.

#### 3.1 Aldehydy

Aldehydy jsou karbonylové sloučeniny, které v molekule obsahují dvojnásobnou karbonylovou skupinu -CO-. Skupinu -CO- mají společnou s ketony. Aldehydy mají obecný vzorec R-CH=O (kdy R je uhlovodík, může zde být i Ar - aromatický uhlovodík) (SVOBODA, 2005). Jejich přítomnost byla zjištěna při dvou studiích, které se zabývaly množstvím aldehydů, které se uvolňují při smažení. První studie Harinageswara Rao Katragaddy z Univerzity v Daytonu, USA byla provedena roku 2010 a zabývá se množstvím akroleinu. Druhá studie zjišťovala množství (E)-2-butenalu. Vedoucím studie byl Antonius Papastergiadis z Faculty of Cioscience Engineering, Ghent Univerzity v Belgii.

##### a) Akrolein (2-propenal)

Je nejjednodušší nenasycený aldehyd. Je toxický zejména pro plíce. Vyskytuje se jak ve venkovním vzduchu, tak v domácím prostředí. Je jednou z látek, které se připisuje vznik astmatu u dětí (LEIKAUF, 2002).



Obr. č. 3 – Molekula akroleinu (EUROCHEM, 2014)

Akrolein, neboli také 2-propenal a akrylaldehyd. Sumární vzorec je C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>1</sub> (obr. č. 3). Molární hmotnost je 56,065 g·mol<sup>-1</sup>. Bod varu má 52,6°C.

##### Vznik

Přesná reakce jeho vzniku při zahřívání olejů zatím není jasná. Vzniká tepelným rozkladem glycerolu při teplotě vyšší než 230°C (FUJISAKI et al., 2002). Jeho přítomnost byla ale zjištěna i při zahřátí olejů na 180°C. Existují tedy i jiné cesty, jak tato sloučenina vzniká. Možnou cestou je radikálová reakce, která vznikne homolytickým rozštěpením R-O vazby za vzniku dvou radikálů. Ve studii Harinageswara Rao Katragaddy vykazoval nejvyšší množství akroleinu světlicový olej. Takové množství je připisováno vysokému množství polynenasycených mastných kyselin, které se v daném oleji vyskytují. Vysoké hodnoty byly také zaznamenány u řepkového oleje, když byl zahříván nad 240°C. Prudký růst množství akroleinu byl zaznamenán pro kokosový olej po zahřátí na 270°C, z důvodu, že tato teplota se blíží teplotám vzplanutí tohoto oleje 275-280°C. (KATRAGADDA et al., 2010).

## Vliv na zdraví

Při pokusech na dobrovolnících, kteří byli vystaveni postupně se zvyšujícím dávkám akroleinu od 10 do 60 minut, byly zjištěny následující obtíže:

- Podrážděnost očí, na kterou si dobrovolníci stěžovali už při koncentraci 0,09 ppm (=0,2 mg·m<sup>3</sup>)
- Dráždění v nose a krku a zhoršení dýchání při koncentraci 0,3 ppm (0,07 mg·m<sup>3</sup>)

Agentura pro Toxické látky a registr nemocí (ATSDR - Agency for Toxic Substance and Disease Registry), zvolila minimální referenční škodlivou koncentraci akroleinu v ovzduší 0,003 ppm (0,007 mg·m<sup>3</sup>=7 µg·m<sup>3</sup>). A to z důvodu, že již ovlivňuje zdraví člověka (EPA, 2013).

Chronický účinek této látky může ale být daleko horší než účinek akutní. Při dlouhodobých studiích na dobrovolnících a zvířatech bylo zjištěno podráždění dýchacích cest, očí, nosu a krku (EPA, 2013). Plíce jsou zasaženy nejvíce. Akrolein také dráždí pokožku a oči, které jsou jedním z nejcitlivějších orgánů. Při pokusech na potkanech byla stanovena referenční dávka 0,00002 mg·m<sup>-3</sup>, kdy toto množství začne dráždit nosní sliznici.

Byla provedena studie chronických účinků na potkanech. Během 2 let byly jednotlivým skupinám pokusných jedinců podávány dávky: 0; 0,05; 0,5 a 2,5 mg·kg<sup>-1</sup>·den<sup>-1</sup>. Látka byla podávána orálně rozpuštěná ve vodě. Nebyl prokázán karcinogenní účinek, ale při dávce 0,05 mg·kg<sup>-1</sup>·den<sup>-1</sup> se značně snížila životnost jedinců. Dávka 0,5 mg·kg<sup>-1</sup>·den<sup>-1</sup> byla označena pro potkany jako "frank-effect-level", tzv. FEL - což je hodnota definována jako úroveň expozice nebo dávka, jež produkuje nevratné a nepříznivé účinky statistického či biologického významu, které se zřetelně projeví na jedinci, který byl této látce vystaven na rozdíl od toho, který vystaven nebyl (THE LAW DICTIONARY, 2014). Dále dávka 0,05 mg·kg<sup>-1</sup>·den<sup>-1</sup> byla označena za "no-observed-adverse-effect-level", tzv. NOAEL - kdy tato dávka nevykazuje žádný nepříznivý efekt na organismus, který byl dané látce vystaven a není zde statisticky ani biologicky významný nežádoucí účinek v porovnání s organismy, které látce vystaveni nebyly (EPA, 2013).

### b) Krotonaldehyd (2-Butenal)

Krotonaldehyd je nenasycený aldehyd se čtyřmi uhlíky. Jedná se o látku toxickou, podobně jako jiné těkavé α,β-nenasycené aldehydy. Aldehydy reagují s proteiny a DNA v živých systémech (GUILLEN, GOICOECHEA, 2008). (E)-2-butenal také dráždí dýchací systém a může způsobovat poškození plic (FERON et al., 1991).

Krotonaldehyd také známý pod názvem 2-butenal, má systematický název (E)-but-2-enal. Jeho sumární vzorec je C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O a molární hmotnost 70,092 g·mol<sup>-1</sup>. Vzorec je zobrazen na obr. č. 4 (EUROCHEM, 2014).



Obr. č. 4 (EUROCHEM, 2014)

## Vznik

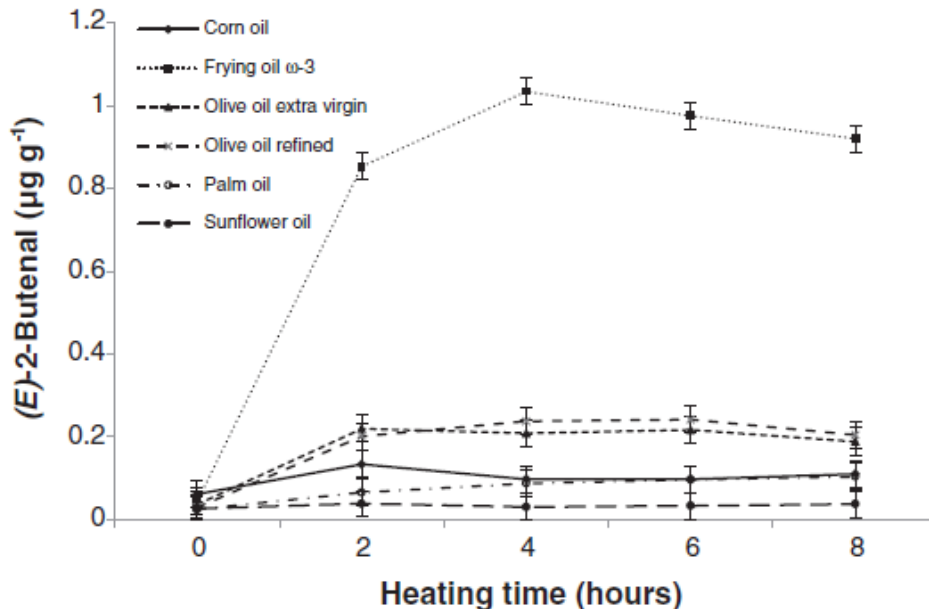
Krotonaldehyd pochází z mnoha zdrojů. Jsou jím například cigaretový kouř (EDER, 2001) a automobilové výpary (MAGNUSSON et al., 2002). Za zdroj bylo také označeno vaření. A to jak v domácím, tak pracovním prostředí (SEAMAN et al., 2009).

Vzniká rozkladem hydroperoxidů, které vznikají oxidací  $\omega$ -3 nenasycených mastných kyselin (FRANKEL, 2005). Oxidace nenasycených mastných kyselin může nastat během skladování i tepelné úpravy olejů.

Na zjištění množství (E)-2-butenalu ve vybraných olejích a potravinových výrobcích se zaměřila studie Antonia Papastergiadis z Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University v Belgii (PAPASTERGIADIS et al., 2014).

Pro studii byly zakoupeny oleje v lokálním supermarketu - kukuřičný, slunečnicový, palmový, extra panenský olivový, rafinovaný a olej určený na smažení, který byl obohacen o  $\omega$ -3 mastné kyseliny. Vzorokly z vybraných olejů byly zahřívány na 170°C po dobu 2, 4, 6 a 8 hodin. Vzorokly byly zkoumány po vychladnutí na pokojovou teplotu. Pro zkoumání množství (E)-2-butenalu byla použita hmotnostní spektrometrie (MS).

Výsledky studie prokázaly, že krotonaldehyd vzniká v oleji během smažení v množství od 0,05 do 1  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (obr. č. 5). Nejvyšší koncentrace byla zjištěna v oleji, který byl obohacen o  $\omega$ -3 nenasycené mastné kyseliny. Nejvyšší koncentrace bylo dosaženo po 2 hodinách smažení. Je tedy možné, že množství zkoumané látky je závislé na obsahu mastných kyselin.



Obr. č. 5 - Změny obsahu krotonaldehydu ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) v olejích zahříváných na 170°C, oleje: kukuřičný (corn oil), olej na smažení s  $\omega$ -3 (frying oil  $\omega$ -3), extra panenský olivový (olive oil extra virgin), rafinovaný olivový (olive oil refined), palmový (palm oil), slunečnicový (sunflower) (PAPASTERGIADIS et al., 2014).

## Vliv na zdraví

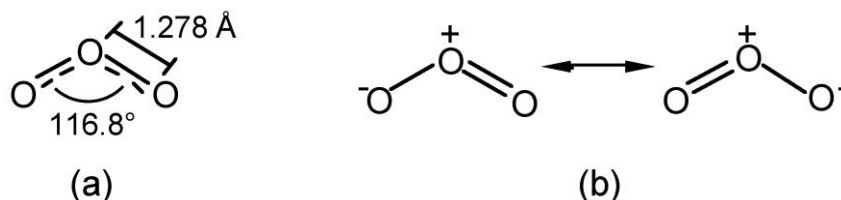
Páry krotonaldehydu způsobují silné pálení očí. Při studiu jeho akutního účinku na dobrovolnících bylo zjištěno, že při koncentraci  $400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , nebyli dobrovolníci schopni zůstat v místnosti. Při vdechování dráždí hltan, hrtan a nosní sliznici. Při studii Antonia Papastergiadise dosahovaly zjištěné koncentrace krotonaldehydu velmi nízkých koncentrací - do  $1 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Tato hodnota však byla vztažena na 1 g oleje. Pomocí následující modelové situace lze hodnotu přepočítat.

Pánev o průměru 25 cm je naplněna zahřátým olejem obohaceným o  $\omega$ -3 mastné kyseliny tak, aby vytvořila vrstvu řádově 1 cm. Tedy dostatečnou vrstvu např. při domácím smažení řízků. Změřený objem oleje činí 250 ml. Jednoduchým přepočtem získáme výsledek 229,25  $\mu\text{g}$ . Tato koncentrace je tedy poloviční, než při které začaly dobrovolníky dráždit oči. Ale je třeba si uvědomit, že v pokusu d dobrovolníky byla koncentrace stálá. Zatímco při smažení v pánvi se sice může uvolňovat dané množství z oleje, ale je rychle rozptýleno do nejbližšího okolí (PAPASTERGIADIS et al., 2014).

Krotonaldehyd je zařazen do kategorie A3 - tedy prokázaný karcinogen při testech na zvířatech. Karcinogenita pro člověka není známa. (TOXNET, 2014)

## 3.2 Ozón

Molekula ozonu má vzorec  $\text{O}_3$ . Jedná se o lomenou molekulu s úhlem  $116,8^\circ$  a délkou vazem 1,278 Å. Jeho molární hmotnost činí  $47,998 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Jeho mezomerní struktura je znázorněna na obr. č. 6.



Obr. č. 6 - a) úhel a délka vazeb molekuly ozonu, b) Mezomerní struktura molekuly ozonu (OPENSTAX, 2014).

## Vznik

Přízemní ozon vzniká, když na vzduch působí elektrické výboje. V minulosti například byla jeho přítomnost v domácnosti často následkem používání indukčních elektrických přístrojů nebo jiskřivých induktorů. Také se tvoří působením ultrafialového záření na vzdušný kyslík. Je tedy téměř vždy cítit v blízkosti rtuťové lampy svým charakteristickým zápachem. (REMY, 1972).

Ve studii Vincenta Y. Seamana z Kalifornské univerzity v USA, která se zabývá emisemi akroleinu při smažení, byla neočekávaně zjištěna přítomnost ozonu. Během 7 pokusů byla ihned po skončení smažení zjištěna koncentrace ozonu  $137 \pm 35 \text{ ppb}$  (=part per billion), což odpovídá  $238,517 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  výpočet je na obr. č. 7.

$$137 \text{ ppb} = 0,000000137 = 137 \cdot 10^{-9}$$

$$\text{hmotnost } 1\text{m}^3 \text{ vzduchu při tlaku } 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa a teploty } 27^\circ\text{C} = 1,741 \text{ kg}$$

$$1,741 \text{ kg} = 1741 \cdot 10^9 \mu\text{g}$$

$$1741 \cdot 10^9 : 137 \cdot 10^{-9} = 238,517 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

Obr. č. 7 - přepočítání jednotek ppb používané v americké literatuře na SI jednotky

Hodnota ozonu je tedy vyšší, než je imisní limit (tab. č. 5). Tato koncentrace během krátkého času rychle klesala, pravděpodobně díky vysoké reaktivitě ozonu. Během cca 15 minut byla koncentrace poloviční a do 90 minut odpovídala koncentraci výchozím podmínkám. Ve studii však nebyl zcela vysvětlen původ ozonu. Další studie jsou proto potřeba (SEAMAN et al., 2009).

V České republice existuje zákon č. 201/2012 Sb., zákon "O ochraně ovzduší", který stanovuje imisní prahovou hodnotu pro stratosférický ozon. Tato hodnota je považována za překročenou právě tehdy když alespoň na jedné měřící lokalitě (která je reprezentativní pro úroveň znečištění - tedy minimálně 100 km<sup>2</sup>) je překročena hodinová koncentrace troposférického ozonu 120 μg·m<sup>-3</sup>. Pro varovnou prahovou hodnotu za stejných podmínek platí hodnota 240 μg·m<sup>-3</sup> (AION, 2014).

doba průměrování	imisní limit	maximální počet překonání
maximální denní osmihodinový průměr <sup>2)</sup>	120 μg·m <sup>-3</sup>	25
AOT40	6000 μg·m <sup>-3</sup> ·h <sup>-1</sup>	0

Tab. č. 5 - Imisní limity pro troposférický ozon z přepisu č. 201/2012 Sb. Zákona o ochraně ovzduší, AOT40 je kumulativní expozice ozonem. Výsledná hodnota se rovná sumě diferencí mezi hodinovou koncentrací ozonu a prahovou úrovní 80 μg·m<sup>-3</sup> (= 40 ppb) pro každou hodinu, kdy byla překročena tato prahová hodnota. (AION, 2014)

### Vliv na zdraví

Ozon je druhé nejsilnější oxidační činidlo, které dosud vědci znají. Poškozuje biologickou tkáň přímo, nebo tvorbou volných radikálů při svém rozkladu. Napadá lipidy v buněčné stěně. To má za následek porušení buňky a často narušení mechanismu enzymů. Narušuje mechanismy glutathionu, který v buněčné stěně zabraňuje oxidačnímu stresu a vzniku zánětu. Hlavně tkáň plic po takovém narušení ztrácí schopnost se bránit proti dalším cizím látkám, jakými jsou například viry, alergeny, prachové částice a jiné (OPENSTAX, 2014).

Není klasifikován jako karcinogen. Patří do skupiny A4 - tedy neklasifikovatelný jako lidský karcinogen. Je ovšem velmi reaktivní. Dráždí sliznici očí, nosu a hlavně dýchacího traktu. Při vysokých koncentracích může dojít v plicích až k edému nebo dokonce krvácení. Může způsobovat bolesti hlavy a malátnost. Značné poškození plicní tkáně bylo zaznamenáno při studii na potkanech, kdy koncentrace ozonu dosahovala 1 mg·m<sup>-3</sup> a zvířata jí byly vystaveny po dobu 2 hodin. To je ovšem koncentrace 5 krát větší, než je uvedena v experimentu.



### 3.3 Furany

Furan je organická sloučenina s pětičlenným heterocyklickým jádrem, tvořeným jedním kyslíkem a čtyřmi uhlíky. Díky zapojení nevazebného elektronového páru kyslíku do delokalizace, získá tento pětičlenný cyklus stabilitu a molekula furanu je aromatická a velmi stálá. Furany jsou jeho deriváty. Jsou toxické, podobně jako ostatní aromatické uhlovodíky (SVOBODA, 2005). Za charakteristickou vůni smažených pokrmů jsou zodpovědní především samotný furan, dále 2-furfural, furfurylalkohol, 2-pentylfuran a 5-hydroxymethylfural (PÉREZ-PALACIOS et al., 2013).

#### Vznik

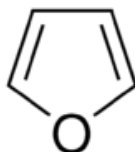
Furan a jeho deriváty vznikají pěti chemickými cestami:

- při Maillardově reakci, která je neenzymatická a probíhá mezi aminokyselinami nebo bílkovinami a redukcujícími cukry, nebo produkty jejich degradace. Výsledkem reakce jsou sensoricky aktivní sloučeniny, dodávající potravinám charakteristické zbarvení, vůni a chuť. Maillardova reakce způsobuje tvorbu hnědých pigmentů - melanoidinů. Dále produkuje řadu aromatických sloučenin. Se zahříváním olejů je spojen vznik furanu a jeho derivátů (MARXOVÁ, 2011; PÉREZ-PALACIOS et al., 2013)
- termálním rozkladem některých aminokyselin, např. serinu, alaninu a threoninu
- oxidací nenasycených mastných kyselin
- rozkladem kyseliny askorbové a jejích derivátů
- termální oxidací karotenoidů (BECALSKI, SEAMAN, 2005)

Vznik furanů je tedy přímo spojen s druhem pokrmu, který je v oleji tepelně zpracováván. Furany, jako aromatické nepolární sloučeniny, se v oleji ochotně rozpouštějí. Mohou být tedy obsaženy ve smaženém pokrmu a poté se mohou díky své těkavé povaze uvolňovat do okolí.

#### a) Furan

Furan je prvním představitelem této skupiny. Má sumární vzorec  $C_4H_4O$  a molární hmotnost  $68,076 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Tato sloučenina má bod varu  $32^\circ\text{C}$ , je tedy silně těkavá (SVOBODA, 2005). Za normální teploty a tlaku ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1013,25 \text{ hPa}$ ) je to bezbarvá kapalina charakteristického zápachu. Na vzduchu rychle hnědne. Je také silně hořlavý. Jeho molekula je znázorněna na obr. č. 8.

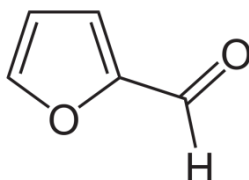


Obr. č. 8 - molekula furanu (PUBCHEM, 2014)

Furan se používá pro syntézu mnoha industriálních, zemědělských a farmaceutických výrobků. Ve velmi malé koncentraci ( $<200 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) je v mnoha tepelně zpracovaných jídlech a nápojích. Jeho přítomnost vědci zaznamenali v celé řadě potravin, jako jsou konzervované maso, zelenina, káva, mléčné výrobky, vejce či sušená dětská výživa (ALTAKI et al., 2009).

### b) 2-furfural

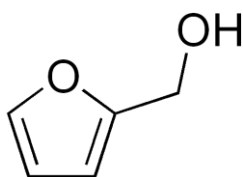
2-furfural má sumární vzorec  $C_5H_4O_2$  (obr. č. 9) a molární hmotnost  $96,02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Tato sloučenina má bod varu  $161,7^\circ\text{C}$ . Za normální teploty a tlaku ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1013,25 \text{ hPa}$ ) je to bezbarvá kapalina, která na vzduchu pomalu hnědne. Výpary mají mandlovou vůni a chuť připomíná karamel. Je tedy jednou ze sloučenin, která má za následek příjemnou vůni a chuť smaženého jídla (PUBCHEM,2014).



Obr. č. 9 - molekula 2-furfuralu (PUBCHEM, 2014)

### c) Furfuryl alkohol

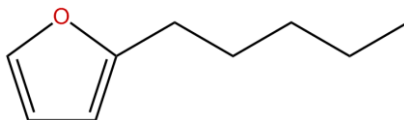
Furfurylalkohol, také známý pod názvem 2-furanmethanol, má sumární vzorec  $C_5H_6O_2$  (obr. č. 10) a molární hmotnost  $98,09 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Tato sloučenina má bod varu  $170^\circ\text{C}$ . Za normální teploty a tlaku ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1013,25 \text{ hPa}$ ) je to bezbarvá kapalina, která na vzduchu pomalu červená, až hnědne. Má lehký zápach spáleniny (PUBCHEM,2014).



Obr. č. 10 - molekula furfuryl alkoholu (PUBCHEM, 2014)

### d) 2-Pentylfuran

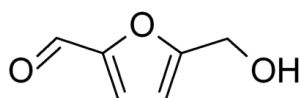
2-pentylfuran, také známý pod názvem 2-amylfuran, má sumární vzorec  $C_9H_{14}O$  (obr. č. 11) a molární hmotnost  $138,21 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Tato sloučenina má bod varu  $170^\circ\text{C}$ . Za normální teploty a tlaku ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1013,25 \text{ hPa}$ ) je to bezbarvá kapalina makové chuti a zápachu (PUBCHEM,2014).



Obr. č. 11 - molekula 2-pentylfuranu (PUBCHEM, 2014)

### e) 5-hydroxymethylfurfural

5-hydroxymethylfurfural má sumární vzorec  $C_6H_6O_3$  (obr. č. 12) a molární hmotnost  $126,11 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Tato sloučenina má bod varu  $111^\circ\text{C}$ . Za normální teploty a tlaku ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1013,25 \text{ hPa}$ ) je to bezbarvá kapalina, která má heřmánkovou chuť. Její výpary připomínají vůni másla, karamelu a hniloby (PUBCHEM, 2014).



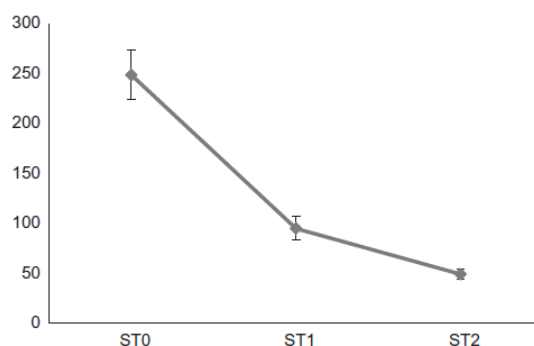
Obr. č. 12 - molekula 5-hydroxymethylfurfuralu (PUBCHEM, 2014)

Při studích smažených jídel byla přítomnost furanů zaznamenána zejména v potravinách obalených ve strouhance. Pérez-Palacios z Univerzity v Portu se se svým týmem zabýval množstvím furanů uvolňujících se ze zahřívání oleje, ve kterém se smaží obalované rybí prsty. Vzhledem k téžavé povaze furanu použili ve své vědecké studii ke zjištění množství těchto látek plynový chromatograf (PÉREZ-PALACIOS et al., 2013).

V tab. č. 6 jsou uvedeny výsledky jejich vědecké studie - množství furanu a jeho derivátů, které byly zjištěny v rybích prstech po usmažení ve slunečnicovém a v olivovém oleji. Smažení probíhalo po dobu 4 minut za teploty oleje 180°C. Z hodnot uvedených v tabulce je patrné, že množství furanů uvolňujících se z olivového oleje je až o třetinu vyšší, než při smažení v oleji slunečnicovém. Množství nenasycených mastných kyselin v olivovém oleji tedy zvyšuje množství furanových sloučenin, které těkají do nejbližšího okolí.

Sloučeniny	slunečnicový	olivový
<b>Furan</b>	5,51 ± 0,37	4,02 ± 0,61
<b>2-Furfural</b>	0,23 ± 0,01	0,57 ± 0,01
<b>Furfuryl alkohol</b>	10,54 ± 0,20	18,87 ± 1,25
<b>2-Pentylfuran</b>	1,50 ± 0,32	2,23 ± 0,13
<b>HMF*</b>	1,78 ± 0,08	4,47 ± 0,98
<b>Celkem</b>	19,46 ± 0,88	30,36 ± 2,68

Tab. č. 6 - Množství furanu a jeho derivátů ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  vzorku) v obalovaných rybích prstech smažených ve slunečnicovém a olivovém oleji, \* HMF=5-hydroxymethylfurfural (PÉREZ-PALACIOS et al., 2013).



Obr. č. 13 - Graf závislosti množství furanů ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  vzorku) v rybích prstech na čase. Smažení probíhalo ve slunečnicovém oleji: ST0 - čas ihned po dokončení smažení, ST1 - 10 minut poté, ST2 - 20 minut po dokončení smažení (PÉREZ-PALACIOS et al., 2013).

V další části pokusu se zjišťovalo, jak rychle tyto těkavé látky unikají z jídla do ovzduší. Výsledný graf závislosti množství uvolněných furanů na čase je zobrazen na obr. č. 13. Během dvaceti minut kleslo množství furanů v rybích prstech na pětinu. Sloučeniny tedy unikají jak během smažení, tak následně z pokrmu, který již může být na talíři, jak již bylo řečeno dříve.

## Vliv na zdraví

### a) furan

Při studiích na zvířatech bylo prokázáno, že je furan karcinogenní. Proto byl označen za podezřelý karcinogen pro člověka - tzv. kategorie 2B (EFSA, 2011).

Furan se dostává do těla člověka především vdechováním aerosolu a absorpcí přes pokožku. Při akutním vystavení této látky může dojít k podráždění či až k popálení rohovky očí a pokožky. Výpary mohou dále dráždit dýchací systém a v extrémním případě utlumit činnost nervového systému. Vyšší koncentrace způsobí plicní edém, který může být smrtelný. Dále mohou výpary způsobit bolesti hlavy, závratě, dušnost, bezvědomí a udušení. Vdechovaný furan může způsobit nevratné změny v plicní tkáni.

Chronické vystavení působení této látky může způsobit rakovinné bujení v játrech a napadat bílé krvinky v krevním řečišti. Může také způsobit poškození ledvin a alergickou reakci, zejména v kůži.

Střední smrtelná koncentrace pro furan pro myši po dobu jedné hodiny má hodnotu  $120 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ . Při této koncentraci zemře 50% zkoumaných myší (TOXNET, 2014). Smrtelná dávka pro člověka není dosud známa. Avšak při studii Pérez-Palaciose z Univerzity v Portu bylo zjištěno množství furanu  $5,51 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  vzorku pro slunečnicový olej a  $4,02 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  vzorku pro olivový. Pokud bychom znovu použili modelovou situaci z kapitoly aldehydů (tedy pánev o průměru 25 cm, kterou naplníme 250 ml oleje), můžeme přepočítat množství unikajících látek. Výsledné množství furanu, které vznikne v olejích bude pro slunečnicový olej  $1263,17 \text{ }\mu\text{g}$  a pro olivový  $921,59 \text{ }\mu\text{g}$  (PÉREZ-PALACIOS et al., 2013). Tyto hodnoty ovšem jsou pouze orientační a nejsou vztaženy na metry krychlové vzduchu. Lze z nich ovšem vyčíst, že i kdyby všechny molekuly naráz opustily olej z modelového příkladu, nedosahovaly by střední smrtelné koncentrace pro myši, která je řádově 100 krát vyšší (PUBCHEM, 2014).

Možnost akutní otravy furanem při smažení je zřejmě velmi malá. Ovšem chronické účinky mohou mít za následek řadu zdravotních problémů. Zvláště pokud je člověk této látce vystaven denně.

### b) 2-furfural

2-furfural je neprokázaný karcinogen pro člověka třídy A3. Při styku s pokožkou jí ovšem dráždí. Stejně tak dráždí oči a dýchací systém. Do těla se může dostat vdechováním par nebo konzumací smaženého jídla, kde je také obsažen.

Může způsobit bolesti hlavy, malátnost a může dráždit ke kašli. Koncentrace, kdy 2-furfural začne dráždit pokožku, je  $200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tato hodnota je o několik řádů vyšší, než jakou koncentraci uvedla studie Pérez-Palaciose. Není tedy důvod se obávat 2-furfuralu v rozehrátém oleji (PUBCHEM, 2014).

### c) Furfuryl alkohol

Furfuryl alkohol způsobuje pálení očí, dráždění nosní sliznice, nevolnost, malátnost a průjem. Hodnota, při které začne tato látka dráždit pokožku je  $60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (PUBCHEM, 2014).

### d) 2-Pentylfuran

2-Pentylfuran má doporučenou denní koncentraci, které může člověk být vystaven, stanovenou na  $130 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (PUBCHEM, 2014).

### e) 5-hydroxymethylfurfural

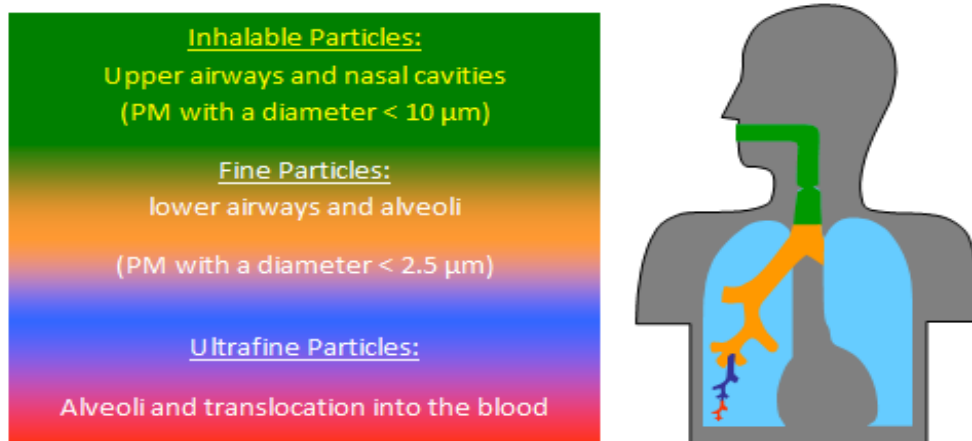
Limitní doporučená hodnota, které by měl být člověk během jednoho dne vystaven, je  $1600 \text{ }\mu\text{g}$  (PUBCHEM, 2014).

## 3.4 Prachové částice

V ovzduší se kromě plynné a kapalné frakce vyskytují i pevné částice. Mezi ně patří pyl, krystalky mořské soli, saze, azbestová vlákna, minerální prach a jiné částice (CURTIUS, 2006). Jejich složení závisí na zdroji a procesu, při kterém dochází k vytvoření částice. Prachovou částicí mohou to být i prvky, anorganické anionty, elementární a organický uhlík (zejména saze) a organické sloučeniny (ZUUSTI, 2011).

V mnoha zemích na světě lidé tráví většinu dne uvnitř budov a to 80 až 90% času. Vaření je jedním z hlavních zdrojů znečištění v našich domácnostech (KAMENS et al., 1991). Víření a vytváření prachu je způsobeno i úklidem, kouřením a pohybem osob a domácích zvířat po místnosti. Také používáním čisticích prostředků a sprejů je připisován vznik prachových částic (HE et al., 2004).

Prachové částice se dělí podle své velikosti na hrubé ( $1 - 100 \text{ }\mu\text{m}$ ), jemné ( $0.1 - 1 \text{ }\mu\text{m}$ ) a ultrajemné ( $0.001 - 0.1 \text{ }\mu\text{m}$ ). Všechny takto velké částice vnikají do plic dýcháním. Čím menší mají průměr, tím hlouběji do plic se mohou dostat (viz obr. č. 14). Ultrajemné částice se dokonce mohou dostat do krevního řečiště (AV ČR, 2005).



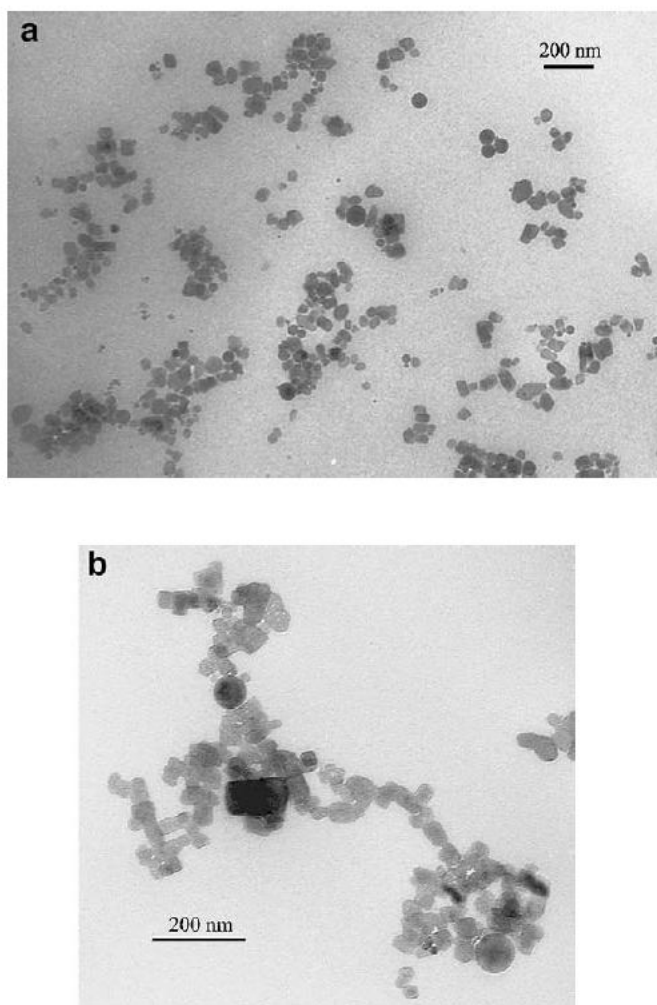
Obr. č. 14 - Průnik částic do dýchacího systému a plic (UFIREG, 2011)

## Ultrajemné prachové částice = UFPs (ultrafine particles) také PM<sub>0.1</sub>

Roku 2004 byla provedena studie, kdy vědci sledovali ultrajemné částice (dále jen UFP) po dobu 18 měsíců ve čtyřpokojovém bytě. Bylo zjištěno, že během procesu vaření (nejvíce smažení), se produkuje  $10^{14}$  částic po pouhých 15 minutách vaření (WALLACE et al., 2004).

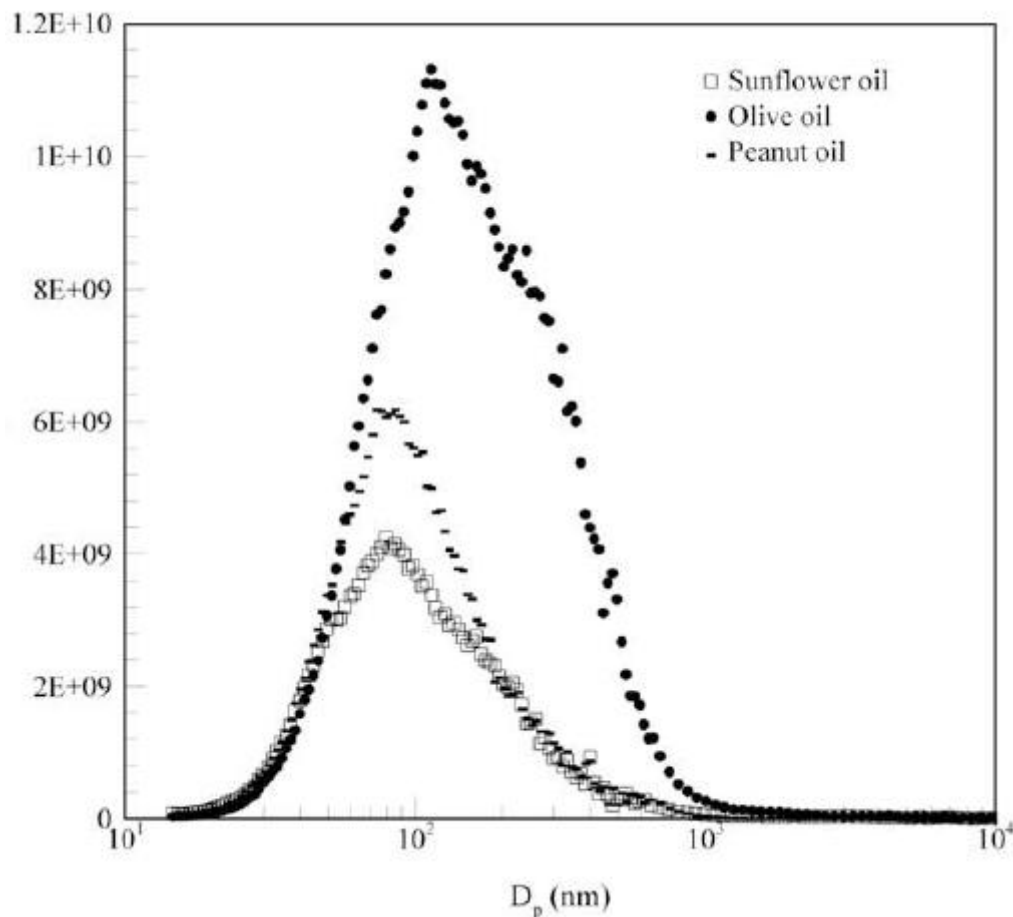
Studie G. Buonanna z Univerzity v Cassino v Itálii z roku 2009 se zaměřila na zjištění množství ultrajemných částic při smažení různých jídel na třech různých olejích. Ve studii bylo taktéž zohledněno, zda se pro smažení použije trouba plynová, či elektrická.

Výzkum probíhal v uzavřeném prostoru v laboratoři v San Vittore del Lazio v Itálii. V laboratoři byla instalována zkušební kuchyně, ve které byly umístěny jak plynové propanbutanové trouby, tak elektrické trouby. Množství částic a jejich velikost byly měřeny přístroji pro měření výskytu prachových částic Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS 3936) a Aerodynamic Particle Sizer (APS 3321). Na obr. č. 15 jsou vyobrazeny prachové částice, které byly při experimentu zachyceny.



Obr. č. 15 - a) Typické atmosférické prachové částice zachycené při smažení na plynu, b) Detail částice ve větším měřítku (BUONANNO et al., 2009).

Ve studii bylo prokázáno, že nejvíce prachových částic má velikost okolo 100 nm, a dále že nejvíce prachových částic se uvolňuje při smažení v olivovém oleji. Smažení ve slunečnicovém oleji produkovalo poloviční množství prachových částic, než smažení v oleji olivovém (BUONANNO et al., 2009). Výsledek práce je zobrazen na grafu obr. č. 16.



Obr. č. 16 - Množství a velikost částic produkovaných při smažení různých potravin na plynu. Černá tečka zobrazuje prachové částice unikající z olivového oleje, pomlčka z podzemnicového oleje a čtvereček znázorňuje slunečnicový olej (BUONANNO et al., 2009).

## Vliv na zdraví

Jak naznačují toxikologické a epidemiologické studie, účinky UFP mohou být více nepříznivé v porovnání s účinky větších částic. Tyto jemné částice na sebe mohou vázat stopová množství toxických sloučenin. S vdechnutím UFP do plic se toxické sloučeniny dostávají do krevního řetězce a mohou narušovat plicní tkáň. Přestože většina jemných částic není přímo toxická, mohou v plicích způsobovat oxidační stres - tedy chemickou změnu v buňce plicní tkáně, která vyvolává známky zánětu a může spustit kaskádu dalších zdravotních problémů. Oxidační stres může mít také za následek poškození DNA v buňkách plicní tkáně. Následkem může být nejen snížení kapacity plic a ztížení dýchání, ale také vyšší pravděpodobnost rakoviny plic (BROOK, 2008).

Ultrajemné částice se mohou usazovat i v jiných orgánech. Například v srdci, játrech a ledvinách (UFIREG, 2011). Zvláště ohroženou skupinou obyvatel jsou starší lidé a jedinci s chronickým onemocněním dýchacích cest.

### 3.5 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

Již v devadesátých letech dvacátého století vznikla v Číně celá řada vědeckých studií, které se zabývaly problémem zvýšeného výskytu rakoviny plic u žen v domácnosti. Rakovina plic byla v této době nejčastěji spojována s kouřením. Když byla ale provedena statistika pacientek, které tímto onemocněním trpěly, procento kuřaček bylo velmi nízké. Hledal se jiný faktor, který měly pacientky společný a bylo zjištěno, že důvodem bylo každodenní vystavení spalinám, které unikaly ze smaženého oleje. Největší pozornost byla věnována právě polycyklickým uhlovodíkům (dále jen PAU). Zkoumaly se především jejich karcinogenita a mutagenita (QU et al., 1992).

PAU jsou aromatické sloučeniny, které mají v molekule dvě a více benzenových jader. Nejsou to látky těkavé. Tvoří se při nedokonalém spalování. Mohou se vázat na prachové částice, které jsou unášeny vzduchem a mohou být vdechnuty člověkem.

Přítomnost aromatických uhlovodíků v prachových částicích unikajících ze smažení, byla zjištěna ve studii Siegmanna a Sattlera roku 1996. Jev byl zkoumán pro tři druhy olejů - řepkový, kukuřičný a podzemnicový olej. Každý z uvedených olejů byl během experimentu zahřán na 250°C a následně byl zkoumán obsah polycyklických aromatických uhlovodíků v kapénkách aerosolu. Výsledky jsou vypsány v Tab. č. 7.

	řepkový	kukuřičný	podzemnicový
PAU	1,8	5,5	22,8

Tab. č. 7 - množství ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) polycyklických aromatických uhlovodíků v aerosolu (SIEGMANN, SATTLER, 1996)

Směs obsahovala následující PAU: fenantren, pyren, fluoranthen, benzatracen, chrysen, benzofluoranthen a benzoapyren. Poslední 4 sloučeniny jsou karcinogenní. Pro porovnání byly uvedeny ve studii dvě modelové situace, kde se člověk setkává s výpary PAU. Prvním případem je ovzduší v tunelu, ve kterém je frekventovaná doprava motorových vozidel. Zde mohou koncentrace dosahovat až hodnoty  $2,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Druhou situací byla uzavřená místnost, kde bylo během 6 hodin vykouřeno 96 cigaret. Koncentrace poté byla zjištěna  $1,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (SIEGMANN, SATTLER, 1996).

Z Tab. č. 7 lze vyčíst, že řepkový olej má podíl nasycených mastných kyselin méně než poloviční (5-10%) oproti podzemnicovému (14-28%). Lze tedy vyvodit závěr, že množství nasycených mastných kyselin v oleji zvyšuje koncentraci PAU v oleji a jeho výparech.

Studie Tai-An Chianga z Kaohsiung Medical College na Taiwanu roku 1997 se zaměřila na rozbor výparů z olejů a tuků, které jsou typické pro tamní kuchyni - sádlo, sojový olej a podzemnicový olej. Jejich odborná studie se zaměřovala na množství PAU ve výparech, které jsou v Číně a Taiwanu nejčastěji spojované se vznikem rakoviny plic.



Při experimentu vědci zahřívali vzorky oleje v kovové pánvi na 250°C po dobu 30 minut. Spaliny byly zachytávány na filtru ze skleněných vláken o tloušťce 37 mm. Tento filtr byl umístěn 50 cm od pánve, tedy zhruba ve výšce úst člověka. Následovala extrakce v acetonu a zkoncentrování vzorku na rotační vakuové odparce. Nakonec byl vzorek zkoumán pomocí HPLC - vysokoúčinné kapalinové chromatografii.

Bylo zjištěno celkové množství částic v dýmu z daného tuku a olejů (viz tab. č. 8). Koncentrace látek v dýmu měly srovnatelnou hodnotu (26,2 až 28,5 mg·m<sup>-3</sup>). Avšak výsledky rozboru množství mutagenních látek ukázaly, že ve výparech ze zahřívání sádla je vyšší množství mutagenních látek. Ve studii byl tento stav připsán skutečnosti, že ve výparech ze sádla je pravděpodobně obsaženo více nebezpečných látek, než ve výparech z olejů. Proto se studie dále zaměřila na zjištění jednotlivých sloučenin.

Tuk	Množství částic v dýmu (mg·m <sup>-3</sup> )
Sádlo	26,2 ± 2,3
Sojový olej	28,5 ± 2,9
Podzemnicový olej	27,1 ± 2,2

Tab. č. 8 - Množství částic v dýmu, který se uvolňoval ze zahřívání tuků na 250°C po dobu 30 minut (CHIANG et al., 1997)

Vzorky obsahovaly tři významné PAU mutagenní sloučeniny: dibenz[a,h]antracen, benz[a]antracen a benzo[a]pyren. Jejich množství ve výparech z tuku a z olejů je vypsáno v tab. č. 9.

PAU	Sádlo	Sojový olej	Podzemnicový olej
benzo[a]pyren	N/A	19,6 ± 0,4	18,3 ± 0,4
dibenz[a,h]antracen	1,9 ± 0,2	2,1 ± 0,3	1,8 ± 0,2
benz[a]antracen	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,2	1,3 ± 0,1

Tab. č. 9 - Množství jednotlivých PAU ve výparech ze sádla, sojového a podzemnicového oleje zahřívání na 250°C po dobu 30 minut (μg·m<sup>-3</sup>); N/A - nedetekováno (CHIANG et al., 1997)

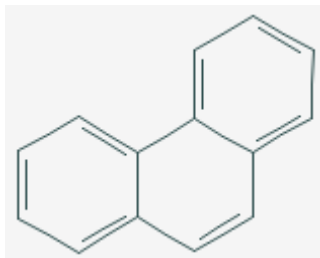
Uvedené sloučeniny byly testovány na mutagenitu (CHIANG et al., 1997). Mutagenický potenciál sloučenin byl zkoumán pomocí Amesova testu, což je metoda, během které se používá několik kmenů bakterie *Salmonella typhimurium*. Bakterie jsou vystaveny uměle vyvolané mutaci histidinového operonu, který zodpovídá za syntézu histidinu v buňce. Sloučenina histidinového operonu je pro buňku nutná z důvodu jejího růstu, nicméně bakterie tuto sloučeninu sama neumí vytvořit. Pokud je testovaná mutagenní, dojde v buňce bakterie k reverzní mutaci a buňka je znovu schopna histidin tvořit a růst (MUNI, 2014).

## Vliv na zdraví

Toxicita PAU je závislá na jejich molekule. Jsou sloučeniny zcela netoxické a jsou zde i zastoupeny velmi toxické. Vliv na zdraví člověka je pro jednotlivé látky následující.

### a) fenantren

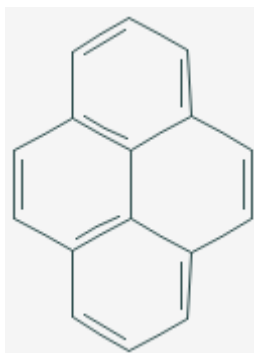
Fenantren má sumární vzorec  $C_{14}H_{10}$  a molekulovou hmotnost  $178,23 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Je to lidský karcinogen třídy 1A. Je to nepolární sloučenina. Hromadí se proto v tukových tkáních, kde může způsobit při dlouhodobém vystavení rakovinové bujení. Molekula je zobrazena na obr. č. 17 (PUBCHEM, 2014).



Obr. č. 17 - molekula fenantrenu (PUBCHEM, 2014)

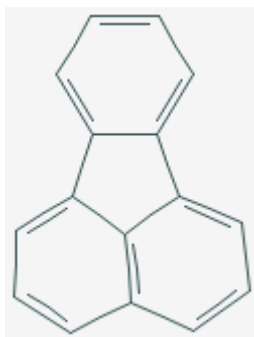
### b) pyren

Pyren není toxický. Jeho molekula je zobrazena na následujícím obrázku, obr. č. 18. Má sumární vzorec  $C_{16}H_{10}$  a molekulovou hmotnost  $202,25 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Při dlouhodobém vystavení může způsobovat přecitlivělost kůže na slunce a další kožní alergie (PUBCHEM, 2014).



Obr. č. 18 - Molekula pyrenu (PUBCHEM, 2014)

### c) fluoranthen



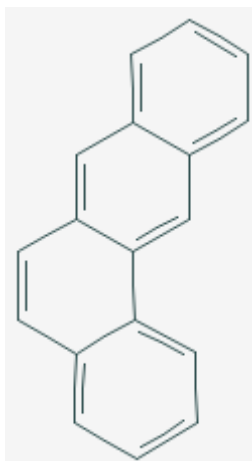
Obr. č. 19 - Molekula Fluoranthenu (PUBCHEM, 2014)

Fluoranthen má sumární vzorec  $C_{16}H_{10}$  a molekulovou hmotnost  $202,2506 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Je mutagenní. Při studii působení fluorantenu na lidské lymfoblasty se ukázalo, že zastavuje

jejich činnost. Dávka  $100 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  způsobila zánik 25% lymfoblastů ve vzorku. Fluoranthen je velmi stálý a může dlouho setrvávat v organismu. Jeho molekula je na obr. č. 19 (PUBCHEM, 2014).

#### d) benzantracen

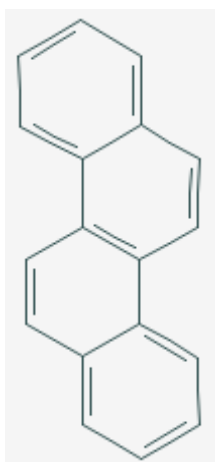
Benzantracen má sumární vzorec  $\text{C}_{18}\text{H}_{12}$  a molekulovou hmotnost  $228,29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Je karcinogen třídy 2B, tedy pravděpodobný lidský karcinogen. Při pokusech na zvířatech bylo zaznamenáno dráždění kůže a změna v pigmentaci. Látka se dále hromadila v játrech a ledvinách. Jeho molekula je zobrazena na obr. č. 20 (PUBCHEM, 2014).



Obr. č. 20 - Molekula benzantracenu (PUBCHEM, 2014)

#### e) chrysen

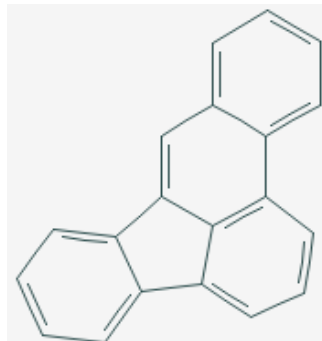
Chrysen je organická sloučenina se sumárním vzorcem  $\text{C}_{18}\text{H}_{12}$  s molekulovou hmotností  $228,29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Její molekula je zobrazena na obr. č. 21. Je to karcinogen třídy B2 - pravděpodobný lidský karcinogen. Při pokusech na zvířatech byla potvrzena jeho mutagenita (PUBCHEM, 2014).



Obr. č. 21 - molekula chrysenu (PUBCHEM, 2014)

### f) benzofluoranthen

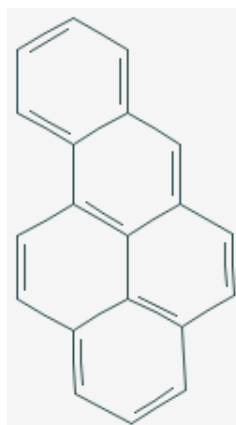
Benzofluoranthen má sumární vzorec  $C_{20}H_{12}$  a molekulovou hmotnost  $252,31 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Molekula je zobrazena na obr. č. 22. Je to možný lidský karcinogen kategorie B2 (PUBCHEM, 2014).



Obr. č. 22 - molekula benzofluoranthenu (PUBCHEM, 2014)

### g) benzo[a]pyren

Benzo[a]pyren je aromatická sloučenina se sumárním vzorcem  $C_{20}H_{12}$  (obr. č. 23) a molekulovou hmotnost  $252,31 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Je to možný lidský karcinogen B2. Při testech na zvířatech bylo prokázáno, že je tato látka karcinogenní a mutagenní (PUBCHEM, 2014).



Obr. č. 23 - Molekula benzo[a]pyrenu (PUBCHEM, 2014)

## 3.6 Nitrované polycyklické uhlovodíky (nitroPAU)

Nitrované polycyklické uhlovodíky (dále nitroPAU) jsou dusíkaté deriváty polycyklických uhlovodíků. Vznikají reakcí polycyklických aromatických uhlovodíků se vzdušným kyslíkem nebo jeho oxidy. V atmosféře tyto látky vznikají pomocí radikálů. Při spalovacích procesech vznikají elektrofilní nitrací PAU (PHYTOSANITARY, 2014).

Sloučeniny nitroPAU se řadí mezi nepřímé mutageny, což znamená, že mutagenní jsou produkty reakcí těchto sloučenin v těle. Může se jednat o oxidaci či o redukci. Vzniklé produkty se váží na DNA a jsou tedy genotoxické. Stejně jako PAU, jsou nitroPAU spojovány se vznikem rakoviny plic (WU et al., 1998).

Přítomnost sloučenin nitroPAU v olejových výparech byla zjišťována ve studii Pei-Fena Wu z Ta-Jen Junior College of Pharmacy v Ping-Tungu v Taiwanu. Pro experiment bylo vybráno sádlo, sojový olej a podzemnicový olej. Oleje a sádlo byly zahřívány na 250°C po dobu 15 minut. Výpary byly vedeny skrz filtrační papír, na kterém se zachytily molekuly nitroPAU. Následně byly sloučeniny vyextrahovány v acetonu. Následovala další filtrace na odstranění acetonu, a výsledné složení bylo vyhodnoceno pomocí HPLC - vysokoúčinné plynové chromatografie. Zjištěné sloučeniny a jejich množství jsou vypsány v tab. č. 10.

nitroPAU	Sádlo	Sojový olej	Podzemnicový olej
1-nitropyren	1,1 ± 0,1	2,9 ± 0,3	1,5 ± 0,1
1,3-dinitropyren	0,9 ± 0,1	3,4 ± 0,2	0,4 ± 0,1

Tab. č. 10 - koncentrace ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ ) nitroPAU ve výparech ze zahřívání tuků. Zahřívány byly na 250°C po dobu 15 minut (WU et al., 1998).

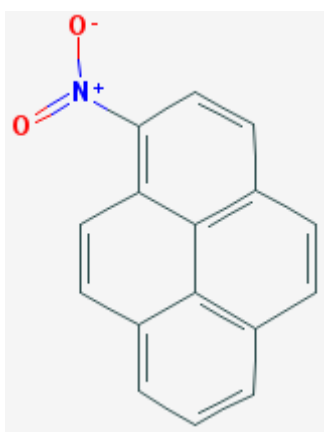
Směs obsahovala i řadu jiných nitroPAU. Ale právě 1-nitropyren a 1,3-dinitropyren se vyskytovaly v zřetelně nejvyšších koncentracích (WU et al., 1998).

## Vliv na zdraví

Vliv na zdraví člověka zachycených nitroPAU je následující.

### a) 1-nitropyren

1-nitropyren je sloučenina o sumárním vzorci  $\text{C}_{16}\text{H}_9\text{NO}_2$  a molekulové hmotnosti  $247,25 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Molekula je znázorněna na obr. č. 24. Tato sloučenina je zařazena jako arcinogen třídy 2B - možný karcinogen pro člověka. Dosud žádná přímá studie neprokázala jeho toxicitu, ale množství pokusů na zvířatech ho klasifikuje jako možnou hrozbu pro člověka. 1-nitropyren je mutagenní. Zvyšuje množství a frekvenci genetických mutací tím, že narušuje funkci nukleových kyselin (PUBCHEM, 2014).

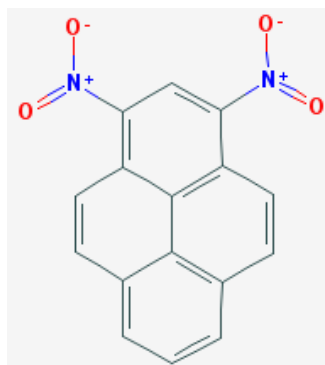


Obr. č. 24 - 1-nitropyren (PUBCHEM, 2014)

### b) 1,3-dinitropyren

1,3-dinitropyren má sumární vzorec  $\text{C}_{16}\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_4$  a molekulovou hmotnost  $292,25 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Molekula je zobrazena na obr. č. 25. Sloučenina je toxická a způsobuje

rakovinné bujení u lidí i u zvířat. Napadá DNA přímo, narušuje ji a současně vyvolává mechanismy, které mohou DNA následně poškodit. Má tedy přímý i nepřímý vliv na DNA člověka. Současně je 1,3-dinitropyren mutagenní. Podobně jako 1-nitropyren zvyšuje rychlost genetických mutací působením na funkce nukleových kyselin (PUBCHEM, 2014).



Obr.č. 25 - 1,3-dinitropyren (PUBCHEM,2014)

## 4. Možnosti snížení zdravotních rizik

Na základě zjištěných dat o výskytu škodlivých látek vyvstává otázka, jak snížit zdravotní rizika při přípravě potravin smažením.

- První možnost je samotná volba oleje či tuku. Jak bylo ukázáno v předešlých kapitolách, různé oleje a tuky mají odlišné chemické složení a tudíž i vlastnosti.
- Druhou možností je řešení odvětrávání spalin, které při smažení vznikají a kterým je člověk stojící u plotny bezprostředně vystaven.
- Třetí možností je cesta hledání chemické cesty, jak zabránit vzniku toxických spalin. Působením antioxidantů, které je možné přidat do oleje ještě před jeho zahřátím, je jedna z cest, jak snížit množství zplodin, které se z oleje uvolňují.

Možnosti snížení zdravotních rizik budou postupně probrány v této kapitole.

### 4.1 Vhodná volba olejů

Vhodný olej pro smažení můžeme volit například na základě známého kouřového bodu daného oleje. Jak již bylo řečeno dříve, kouřový bod je teplota, při které se nad olejem začne tvořit kouř. Jeho hodnota značí odolnost oleje vůči teplotě. Pokud člověk ví kritickou teplotu daného oleje, může hlídat pomocí teploměru jeho teplotu a předcházet prudkému nárůstu množství uvolňujících se zplodin.

Hodnoty kouřových bodů pro jednotlivé druhy olejů a tuků se v literatuře mírně různí. Pokud ale sestavíme tuky a oleje podle jejich kouřového bodu, jejich pořadí se neliší. V tab. č. 11 je pořadí olejů a hodnoty jejich kouřových bodů podle webu Christian Chefs.

Christian chef	
tuk	kouřový bod (°C)
máslo	150
kokosový olej	175
sádlo	190
olivový olej	190
podzemnicový olej	225
slunečnicový olej	225
kukuřicový olej	230
řepkový olej	246
sojový olej	257
světlicový olej	265

Tab. č. 11 - kouřové body (°C) vybraných tuků a olejů (SMOKING POINT, CHRISTIANS CHEFS, 1996)

Podle dat z tab. č. 11 lze vyvodit závěr, že nejvhodnější olej na smažení je řepkový, který má kouřový bod 246°C. Další uvedené oleje, sojový a světlicový, jsou v České Republice hůře k sehnání a jejich pořizovací cena je poměrně vysoká.

Jiné druhy olejů je možné používat s ohledem na jejich kouřový bod. Tedy hlídat teplotu, na kterou jsou zahřívány. Případně lze předcházet vzniku spalin u olejů s nízkou hodnotou kouřového bodu, pokud jejich použití bude omezeno na studenou kuchyni.

## 4.2 Řešení vzduchotechniky kuchyní a provozů

Zákony a předpisy, které řeší tuto problematiku, jsou následující:

- Předpis č. 268/2009 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích na stavby: odstavec §11, pro větrání obývaných místností musí být zajištěno v době přítomnosti osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu 25 m<sup>3</sup>/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5x objem místnosti za hodinu
- Předpis č. 361/2007 Sb. - Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci: odstavec § 41 - Na pracovišti musí být zajištěna dostatečná výměna vzduchu přirozeným, nuceným nebo kombinovaným větráním. Dále stanovuje minimální množství výměny vzduchu na 70 m<sup>3</sup>/h na jednoho zaměstnance kategorií IIb, IIIa a IIIb. Do této kategorie patří kuchaři v restauračním provozu (AION, 2014)

Uvedené předpisy se zabývají problematikou výměny vzduchu spojenou s vařením, i když ne doslova. Zajišťují obyvatelům a hlavně zaměstnancům ochranu zdraví tím, že kladou požadavky na zaměstnavatele. Správné řešení vzduchotechniky v budově je předpokladem ke kolaudaci budovy.

V domácím prostředí lidé zajišťují dostatečnou výměnu vzduchu nejčastěji větráním okny a dveřmi mezi místnostmi. V kuchyni se instalují digestoře, ale jejich výběr je často založen pouze na základě ceny či vzhledu. Také nebývá pravidlem, že jsou digestoře napojené odtahem na komín, který vede zplodiny mimo prostor vaření. Jsou to často spíše jednodušší zařízení s větrákem, který nasává vzduch do tělesa digestoře přes papírový filtr a vyfukuje jej zpět do prostoru kuchyně. Digestoře také mohou produkovat neúměrný hluk, který může řadu lidí odradit od jejich používání a digestoř dále slouží spíše jako doplněk designu kuchyně (RIM et al., 2012).

### a) větrání v místosti

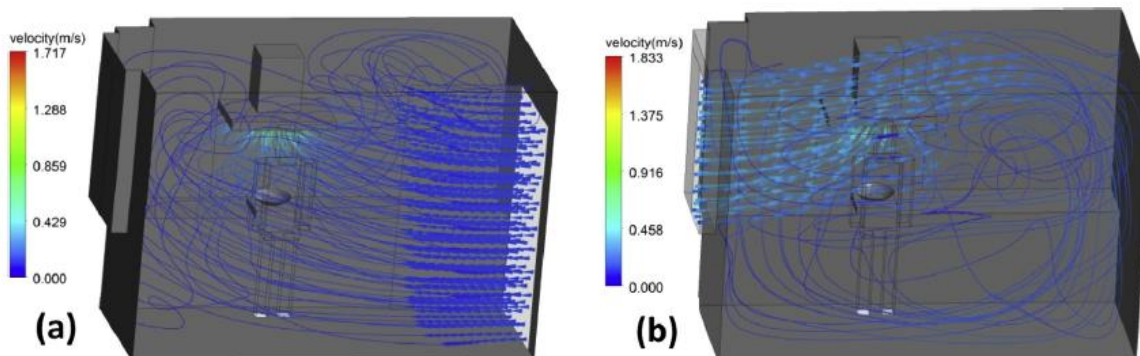
Prosté otevření dveří od kuchyně může dramatiky změnit proudění vzduchu v kuchyni. Ve studii Juna Gao z Univerzity v Šanghaji (GAO et al., 2013) zjišťovali množství výparů a prachových částic, které člověk vdechne během vaření v kuchyni. Vytvořili čtyři modelové větrací situace, které v kuchyni mohou nastat. Tým vědců postavil modelovou kuchyň o rozměrech 3,5 x 1,8 m a s výškou stropu 2,4 m. Zároveň byl vytvořen výpočtový model kuchyně pro ověření naměřených dat. Nejprve stanovili množství prachových částic, které se uvolňují. Hodnota činila 3,2842 mg·s<sup>-1</sup>. Stanovili čtyři modelové situace pro zkoumání dané problematiky s podmínkami, které jsou uvedené v následující tabulce, tab. č. 12.



Modelové situace	1	2	3	4
Podmínky	D: otevřené (30°) O: zavřené	D: otevřené (zcela) O: zavřené	D: zavřené O: otevřené (do půlky)	D: otevřené (zcela) O: otevřené (do půlky)

Tab. č 12 - D= dveře o rozměru 200x97 cm, O= okno o rozměru 130x42,5 cm ( GAO et al., 2013)

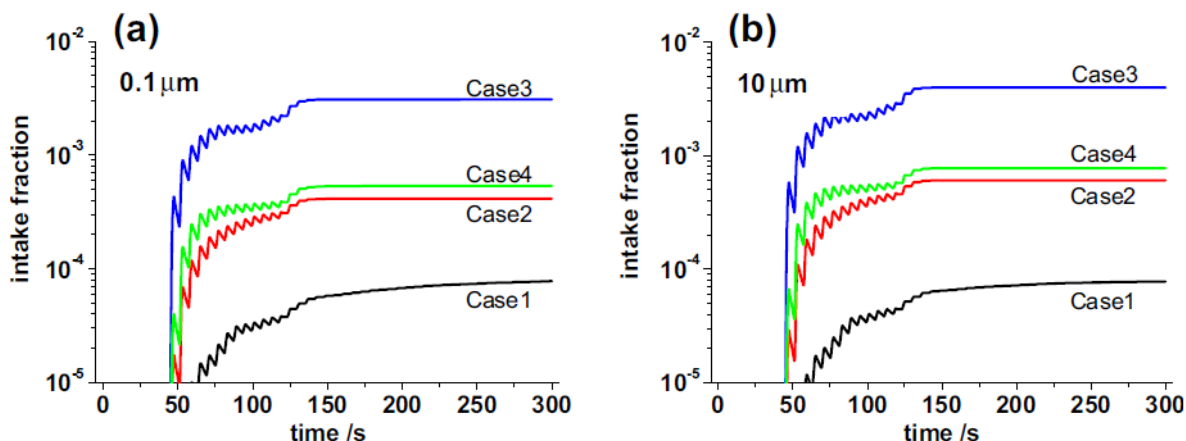
Pro věrohodnější simulaci kuchyně byl do prostoru instalován odsávač par, který byl umístěn nad plotnu a do prostoru bylo umístěno měřící zařízení přibližně do takového místa, ve kterém by se nacházela ústa 168 cm vysokého člověka, který by stál v těsné blízkosti sporáku. Na obr. č. 26 jsou vidět modelové situace 2 a 3. V případě druhé situace jsou dveře zcela otevřené, ve třetí jsou dveře zavřené a okno je do poloviny otevřeno. Barevné čáry na obrázku znázorňují rychlost proudění vzduchu. Když se otevřelo okno, docházelo k rychlejšímu proudění vzduchu.



Obr. č. 26 - Usměrněné proudění vzduchu v modelových situacích; a) situace 2, b) situace 3 (GAO et al., 2013)

Experiment probíhal po dobu 5 minut. Pro každou situaci bylo zkoumáno množství vdechovaných částic (obr. č. 27). Předpoklad studie byl, že vyšší rychlost proudění zajistí rychlejší výměnu vzduchu a tudíž méně vdechovaných částic.

Výsledky studie nakonec ukázaly, že rychlejší proudění částic znamenalo vyšší koncentraci vdechnutých částic. V modelovém příkladu číslo 3, kdy byly dveře zavřené a okno bylo otevřeno do půlky, docházelo ke vdechování 79,2x víc částic, než když byly otevřené dveře na 30° a okno zavřené (model číslo 1). Tato studie se spíše klonila k názoru, že kvalitní odvětrávání pomocí digestoře je nejlepší řešení problému. Přílišné víření vzduchu v prostoru místnosti spíše situaci zhoršilo (GAO et al., 2013).



Obr. č. 27 - (předchozí strana dole) Množství částic, které jedinec při experimentu vdechl. Délka vaření 5 minut. a) Graf pro částice o velikosti 0,1 μm; b) graf pro částice o velikosti 10 μm (GAO et al., 2013)

Studie byla ovšem hodnocena pro situaci trvající pouze 5 minut. Bez větrání oknem nebo dveřmi se prachové částice usazovaly na povrchu kuchyňské linky v bezprostřední blízkosti plotny a na stěně za plotnou. Bez odvětrávání místnosti digestoří by se koncentrace látek v místnosti jen zvyšovala. Větrání dveřmi a oknem má své opodstatnění ve výměně vzduchu v místnosti. Ale samotné víření vzduchu způsobí víření prachu a větší množství vdechovaných částic. Proto odsávání vzduchu digestoří dostatečného výkonu zajistí odtah škodlivých látek směrem od zdroje.

#### b) použití vzduchotechniky

Požadavek v předpisu 361/2007 Sb. ustanovuje minimální odvětrávání pro zaměstnance restaurace 70 m<sup>3</sup>/h. Této hodnoty se dá velmi jednoduše dosáhnout pomocí moderních zařízení. Příkladem může být výrobek XS-FLAT (obr. č. 28), od firmy 2VV. Základní model je schopen vyměnit vzduch o objemovém průtoku až 800 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. Už tato hodnota postačuje, aby v kuchyni pracovalo 11 zaměstnanců a byl dodržen požadavek zákona. Vyšší modely mohou dosahovat výkonu až 2500 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> (XS-FLAT 2VV, 2014).



Obr. č. 28 - Obrázek modelu vzduchotechniky XS-FLAT (XS-FLAT 2VV,2014)

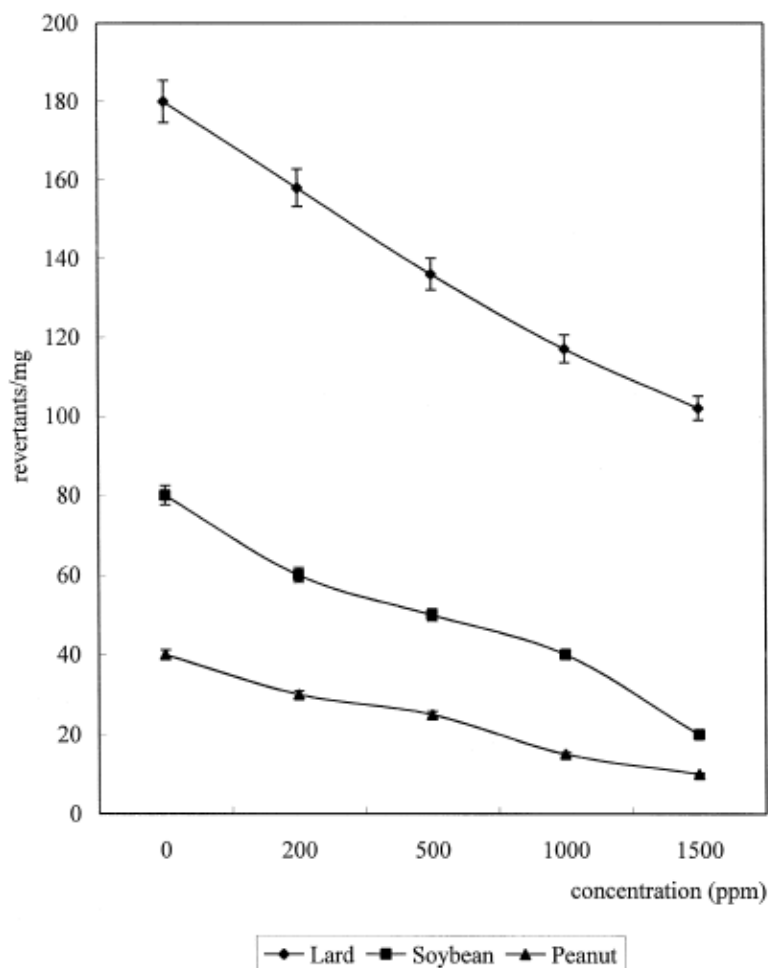
Odsávání vzduchu nad sporákem či troubou je cesta, jak redukovat množství škodlivých těkavých látek a prachových částic v kuchyni. Příliš malý odtah bude mít malou účinnost. Příliš výkonný odsávač bude představovat další ekonomické náklady, jak na svůj běh, tak na svoji údržbu (KOSONEN et al., 2006).

### 4.3 Přidávání antioxidantů

Pro redukci množství škodlivých látek v olejových výparech je možné předcházet jejich vzniku přidáváním specifických antioxidantů. Antioxidanty jsou takové chemické sloučeniny, které blokují aktivitu tzv. volných radikálů. Volné radikály jsou velmi reaktivní a mohou reagovat s tkání a způsobit její poškození. Mohou dokonce vést i ke vzniku rakoviny. Antioxidanty přidávané do oleje mohou vést ke snížení množství specifických toxických a mutagenních látek. A to zejména těch, které vznikají radikálovými reakcemi (NCI, 2014).

Pro redukci množství PAU a nitroPAU ve výparech zkusil tým Pei-Fen Wua z Ta-Jen Junior College of Pharmacy v Ping-Tung na Taiwanu přidat do oleje antioxidant katechin. Tato látka byla do oleje přidána ještě před jeho zahřátím.

Katechin je přírodní antioxidant, který je spolu s dalšími (epikatechin, gallokatechin a epigallokatechin) obsažen v řadě rostlin. Mimo jiné jsou tyto látky obsaženy v čajovníku čínském. Tyto sloučeniny patří mezi polyfenoly a svou povahou se řadí mezi antioxidanty (CELOSTNÍ MEDICÍNA, 2009).



Obr. č. 29 - (předchozí strana dole) Mutagenita olejových výparů pocházejících ze tří zahřívání tuků na 250°C po dobu 30 minut. Lard = sádlo, Soybean = sojový olej, Peanut = podzemnicový olej; (WU et al., 1998)

V pokusu týmu Pei-Fen Wua byla postupně navyšována dávka katechinu, která se do vybraných tuků přidávala. Jednalo se o sádlo, sojový olej a podzemnicový olej. Nejnižší dávka katechinu byla 200 ppm. Tato koncentrace odpovídá 0,02 ml katechinu na 100 ml oleje. Další vzorky olejů obsahovaly 500 ppm (0,05 ml katechinu na 100 ml oleje), 1000 ppm (0,1 ml katechinu na 100 ml oleje) a 1500 ppm (0,15 ml katechinu na 100 ml oleje). Olej byl zahříván na 250°C po dobu 30 minut. Poté byly odebrány vzorky výparů a byla měřena jejich mutagenita. Výsledné hodnoty mutagenity, které byly hodnoceny Amesovým testem, jsou zobrazeny v grafu na obr. č. 29 na předchozí straně.

Z klesajících hodnot grafu na obr. č. 29 vyplývá, že přidávání antioxidantu do oleje před jeho zahřátím přináší pozitivní výsledek. Čím více antioxidantu se do oleje přidalo, tím došlo k většímu snížení množství mutagenních sloučenin ve výparech. Největšího snížení mutagenity bylo zaznamenáno u sojového oleje a to o 46% (WU et al., 1998).

## 5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo přiblížit chemické procesy při smažení a povahu těkavých látek, které se při této činnosti uvolňují. Dalším cílem práce bylo hledání možných opatření ke zmírnění negativního dopadu uvedených chemikálií na lidské zdraví. A to buď omezením jejich vzniku, či zamezením vniku chemikálií do lidského organismu.

Problematika chemických procesů při smažení je obsáhlá. Existuje řada faktorů, které ovlivňují množství škodlivých chemických látek, které se při smažení uvolňují. V předešlých kapitolách bylo ukázáno, že při smažení vzniká řada škodlivých sloučenin, přičemž jejich chemická povaha i mechanismus vzniku se různí. Zároveň v některých případech není přesný sled chemických reakcí vedoucí k výsledné látce zcela znám. Škodlivé chemické látky se liší svou toxicitou. Řada z nich je dokonce mutagenní. V této práci byl ucelen obraz o spektru sloučenin, které se uvolňují při smažení a byl popsán vliv každé jednotlivé látky na lidské zdraví. Škodlivost dané látky pro organismus je vždy dána svou koncentrací v prostoru. Koncentrace škodlivin je závislá na řadě faktorů.

- V první řadě se jedná o samotné chemické složení daného oleje, které ovlivňuje jeho vlastnosti. Důležitou vlastností oleje se ukázal obsah nenasycených mastných kyselin, a to zejména těch, které obsahují více dvojných vazeb ve své molekule. Takové oleje jsou odolnější vůči teplotě - např. řepkový olej. Správně zvolený druh oleje (podle hodnoty Kouřového bodu) spolu s přibližnou znalostí teploty při smažení se ukázali jako dvě nejsnáze aplikovatelné podmínky zdravějšího smažení.
- Druhým faktorem, který značně ovlivňuje množství těkavých látek, je doba smažení. I za dodržení nejnižší teploty pro var oleje docházelo s přibývajícím časem k jeho nevratné degradaci. Množství zplodin stoupalo s přibývajícím časem geometrickou řadou. Je samozřejmé, že jsou potraviny, např. maso, které potřebují delší dobu přípravy. Problém ale nastává při opakovaném používání téhož oleje. S touto situací se setkáváme zejména v restauracích. V těchto provozech není z ekonomického či časového důvodu možné po určitých časových úsecích vyměňovat obsah celé fritézy. Olej se zde vyměňuje v lepším případě na konci směny, či v horším případě po viditelné změně své barvy. V této práci jsem se proto také zabývala možnostmi předcházení vzniku škodlivin chemickou cestou. Odpovědí jsou tzv. antioxidanty, které se přidají do oleje před jeho zahřátím. Svou chemickou povahou brání vzniku určitých škodlivých sloučenin, které se podílejí na degradaci oleje.

Smažená jídla budou pravděpodobně vždy součástí stravy řady lidí po celém světě. Riziko pro zdraví ale nepramení pouze z vyššího množství kalorií, které smažené jídlo představuje oproti např. jídlu vařenému. I při dodržení výše zmíněných opatření dochází ke vzniku škodlivých těkavých látek. Je tedy třeba dbát o dostatečnou výměnu vzduchu v místnosti. Tu lze zajistit větráním oknem či dveřmi. Nejlépe se však ve studiích osvědčilo odvádění par digestoří přímo nad zdrojem škodlivin s odtahem znečištěného vzduchu mimo prostor kuchyně a zároveň s přívodem čerstvého vzduchu.

V této práci byly postupně vyjmenovány a přiblíženy sloučeniny, které se uvolňují při smažení a nežádoucí chemické vlastnosti jednotlivých látek. Dále zde bylo popsáno, jak

omezit vstup látek do těla. Tato práce však nemohla popsat celkový vliv všech sloučenin, který na organismus působí při zahřívání oleje. Akutní účinek jednotlivých látek byl často patrný až při několikanásobně vyšší koncentraci. K akutní otravě těmito látkami asi za běžné životní situace nedojde. Velký problém představuje chronický účinek všech nežádoucích látek zejména pro osoby, které jsou olejovým výparům vystaveny denně ve svém pracovním prostředí.

## 6. Citace

### Vědecké články

- ALTAKI M.S., SANTOS F.J., GALCERAN M.T, 2009: Automated headspace solid-phase microextraction versus headspace for the analysis of furan in foods by gas chromatography–mass spectrometry. *Talanta* vol. 78: s. 1315-1320.
- BANSAL G., ZHOU W., BARLOW P. J., JOSHI P., NEO, F. L., & LO, H. L, 2010: Evaluation of commercially available rapid test kits for the determination of oil quality in deep-frying operations. *Food Chemistry* vol. 12, s. 621–626.
- BASSAMA J., ACHIR N., TRYSTRAM G., COLLIGNAN A., BOHUON P., 2015: Deep-fat frying process induces nutritional composition diversity of fried products assessed by SAIN/LIM scores. *Journal of Food Engineering* vol. 149, s. 204-213.
- BECALSKI A., SEAMAN S., 2005: Furan precursors in food: a model study and development of a simple headspace method for determination of furan. *Journal of AOAC International* vol. 88: s. 102-106.
- BROOK R., 2008: Cardiovascular effects of air pollution. *Clin Sci* vol.115: s.175–87.
- BUONANNO G., MORAWSKA L., STABILE L., 2009: Particle emission factors during cooking activities. *Atmospheric Environment* vol. 43, s. 3235-3242.
- CURTIUS J., 2006: Nucleation of atmospheric aerosol particles. *Comptes Rendus Physique* vol. 7: s. 1027-1045.
- EDER E., 2001: Cancer risk assessment for the environmental mutagen and carcinogen crotonaldehyde on the basis of TD50 and comparison with 1, N-2-propanodeoxyguanosine adduct levels. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* vol. 10: s. 883–888.
- FERON V. J., TIL H. P., DEVRIJER F., WOUTERSEN R. A., CASSEE F. R., VANBLADEREN P. J., 1991: Aldehydes — Occurrence, carcinogenic potential, mechanism of action and risk assessment. *Mutation Research* vol. 259: s. 363–385.
- FUJISAKI M., ENDO Y., FUJIMOTO K., 2002: Retardation of volatile aldehyde formation in the exhaust of frying oil by heating under low oxygen atmospheres. *Journal of the American Oil Chemists' Society* vol. 79: s. 909-914.
- GAO J., CAO CH., XIAO Q., XU B., ZHOU X., ZHANG X., 2013: Determination of dynamic intake fraction of cooking-generated particles in the kitchen. *Building and Environment* vol. 65, s. 146-153.
- GUILLEN M.D., GOICOECHEA E., 2008: Toxic oxygenated alpha, beta-unsaturated aldehydes and their study in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* vol. 48: s. 119–136.
- HE C., MORAWSKA L., HITCHINS J., GILBERT D., 2004: Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmos. Environ* vol 38: s. 3405–3415.
- CHIANG T., WU P., WANG L., LEE H., LEE CH., KO Y., 1997: Mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbon content of fumes from heated cooking oils produced in Taiwan. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* vol. 381: s. 157-161.
- KAMENS R., LEE C.T., WIENER R., LEITH D., 1991: A study to characterize indoor particles in three non-smoking homes. *Atmos. Environ.* vol. 25: s. 939–948.

- KATRAGADDA H., RAO H., FULLANA A., SIDHU S., CARBONELL-BARRACHINA A., 2010: Emissions of volatile aldehydes from heated cooking oils. *Food Chemistry* vol. 120: s. 59-65.
- KOSONEN R., KOSKELA H., SAARINEN P., 2006: Thermal plumes of kitchen appliances vol 38: s. 1130–1136.
- LEIKAUF G., 2002: Hazardous air pollutants and asthma. *Environmental Health Perspectives* vol. 101: s. 505-526.
- MAGNUSSON R., NILSSON C., ANDERSSON B., 2002: Emissions of aldehydes and ketones from a two-stroke engine using ethanol and ethanol-blended gasoline as fuel. *Environmental Science & Technology* vol. 36: s. 1656–1664.
- PAPASTERGIADIS A., FATOUH A., SHRESTHA K., VAN LANGENHOVE H., DE MEULENAER B., 2014: Investigation of the formation of (E)-2-butenal in oils and foods during frying. *Food Research International* vol. 62: s. 43-49.
- PÉREZ-PALACIOS T., PETISCA C., HENRIQUES R., FERREIRA I., 2013: Impact of cooking and handling conditions on furanic compounds in breaded fish products. *Food and Chemical Toxicology* vol. 55: s. 222-228 .
- RIM D., WALLACE L., NABINGER S., PERSILY A., 2012: Reduction of exposure to ultrafine particles by kitchen exhaust hoods: The effects of exhaust flow rates, particle size, and burner position. *Science of The Total Environment* vol. 432: s. 350-356.
- SEAMAN V. Y., BENNETT D. H., CAHILL T. M., 2009: Indoor acrolein emission and decay rates resulting from domestic cooking events. *Atmospheric Environment* vol. 3: s. 6199–6204.
- SEAMAN S., VINCENT Y., DEBORAH H., BENNETT A., THOMAS M., 2009: Indoor acrolein emission and decay rates resulting from domestic cooking events. *Atmospheric Environment* vol. 43: s. 6199-6204.
- SIEGMANN K., SATTLER K., 1996: Aerosol from hot cooking oil, a possible health hazard. *Journal of Aerosol Science* vol. 27: s. 493-S494.
- WALLACE L.A., EMMERICH S.J., HOWARD-REED C., 2004: Source strengths of ultrafine and fine particles due to cooking with a gas stove. *Environ. Sci. Technol.* vol 38: s. 2304–2311.
- WU P., CHIANG T., WANG L., CHANG CH., KO Y., 1998: Nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon contents of fumes from heated cooking oils and prevention of mutagenicity by catechin. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* vol. 403: s. 29-34.
- QU Y.H., XU G.X., ZHOU Y.Z., CHEN T.D., ZHU L.F., SHIELDS P.G., WANG H.W., GAO Z.T., 1992: Genotoxicity of heated cooking oil vapors. *Mutat. Res* vol. 298: s. 105–111.

## Literatura

- DETWILER S. B., MARKLEY K.S., 1939: Smoke, flash, and fire points of soybean and other vegetable oils. American Oil Chemists' Society, Chicago.
- FRANKEL E. N., 2005: Lipid oxidation. Oily Press, Bridgwater.
- KALACĀ P., 2001: Organická chemie přírodních látek a kontaminantů. Jihočeská univerzita, České Budějovice.



- MARXOVÁ Ž., 2011: Bakalářská práce: Maillardova reakce. Nepublikováno. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín.
- REMY H., 1972: Anorganická chemie I. Nakladatelství Technické literatury n.p., Brno.
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 1996: Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě. Praha.
- SVOBODA J., 2005: Organická chemie I. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- VELÍŠEK J., 2002: Chemie potravin I. OSSIS, Tábor.

### Webové stránky

- DICTIONARY.COM, 2014: Stir-fry. Online: <http://dictionary.reference.com/browse/stir-fry>
- EUROCHEM, 2014: E2butenal. Online: [http://www.EUROCHEM/index/toxi/369\\_0450.htm](http://www.EUROCHEM/index/toxi/369_0450.htm)
- UFIREG, 2011: Ultrafine particles: Cooperating with environmental and health policy. Online: <http://www.ufireg-central.eu/index.php/about-the-topic01>
- ZUUSTI, 2011: Pprojekt - ultrajemné částice a zdraví v erzgebirgskreis a ústeckém kraji. Online: <http://www.zuusti.cz/projekty-a-granty/projekt-ultrajemne-castice-a-zdravi-v-erzgebirgskreis-a-usteckem-kraji/>
- AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY, 2005: Aerosoly kolem nás. Online: <http://teacher.csbmb.cz/files/aerosoly.pdf>
- EPA US, 2013: Acrolein. Online: <http://www.epa.gov/ttnatw01/hlthef/acrolein.html#ref1>
- THE LAW DICTIONARY, 2014: What is frank-effect level (fel). Online: <http://thelawdictionary.org/frank-effect-level-fel/>
- AION, 2014: Zákony pro lidi, Zákon o ochraně ovzduší. Online: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- PUBCHEM, 2014: Furan. Online: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/furan#section=Top>
- OPENSTAX, 2014: Chemistry of the Main Group Elements: ozone. Online: [http://cnx.org/contents/f46e8679-ee00-4073-9f5e-a87ca9955a9e@25.9:81/Chemistry\\_of\\_the\\_Main\\_Group\\_El](http://cnx.org/contents/f46e8679-ee00-4073-9f5e-a87ca9955a9e@25.9:81/Chemistry_of_the_Main_Group_El)
- EFSA, 2011: Update on furan levels in food from monitoring years 2004-2010 and exposure assessment. Online: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2347.htm>
- XS-FLAT. 2VV, 2014: Vzduchotechnika. Online: <http://www.2vv.cz/katalog-produktu/xs-flat>
- PHYTOSANITARY, 2014: Nitrované polycyklické uhlovodíky (nitroPAH): environmentální karcinogeny. Online: <http://www.phytosanitary.org/projekty/2004/vvf-09-04.pdf>
- MASARYKOVA UNIVERZITA - ÚSTAV VÝPOČETNÍ TECHNIKY, 2014: Amesův test jako metoda detekce rizikových látek - praktické cvičení pro studenty. Online: <http://www.muni.cz/ics/research/publications/601584>
- CELOSTNÍ MEDICÍNA, 2009: Katechiny. Online: <http://www.celostnimedicina.cz/katechiny.htm>

- NATIONAL CANCER INSTITUTE, 2014: Antioxidants and Cancer Prevention. Online:  
<http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/prevention/antioxidants>
- CHRISTIANS CHEFS, 1996: Smoking Point.  
Online: <http://www.christianchefs.org/charts/oils.html>