

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**Trans mastné kyseliny ve výživě člověka
a jejich vliv na zdraví**

Bakalářská práce

Autor práce: Alena Tokareva

Obor studia: Výživa a potraviny (ATZD)

Vedoucí práce: Ing. Monika Sabolová, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "*Trans*-mastné kyseliny ve výživě člověka a jejich vliv na zdraví" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.07.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala své vedoucí Ing. Monice Sabolové, Ph.D. za pomoc, užitečné rady a trpělivost v průběhu vypracování bakalářské práce.

***Trans*-mastné kyseliny ve výživě člověka a jejich vliv na zdraví**

Souhrn

Trans-nenasycené mastné kyseliny jsou mastné kyseliny, které obsahují jednu nebo více dvojných vazeb v *trans*-konfiguraci. Rozlišujeme průmyslové a ruminantní *trans*-mastné kyseliny. Hlavním zdrojem průmyslových *trans*-mastných kyselin ve výživě lidí je částečně ztužený tuk a potraviny, které jej obsahují (margaríny, sladké a slané výrobky, pokrmy rychlého občerstvení). Částečně ztužený tuk se vyrábí hydrogenací, což je proces, který převádí kapalné oleje na polotuhou formu, to zvyšuje trvanlivost výrobku a zachovává chuťové a texturní vlastnosti. Zdrojem ruminantních *trans*-mastných kyselin, které vznikají činností mikroorganismů v batoru přežvýkavců je maso, mléko a mléčné výrobky.

Trans-mastné kyseliny mohou zvyšovat riziko výskytu kardiovaskulárních onemocnění, obezity, diabetu 2. typu a dalších onemocnění. Mají nepříznivý vliv na hladinu lipoproteinů v krevní plazmě, zvyšují hladinu LDL cholesterolu a snižují hladinu HDL cholesterolu. Vysoký příjem této skupiny mastných kyselin vyvolává zánětlivé reakce buněk, přispívá k dysfunkci endotelu a ke zvýšení tvorby volných radikálů a ovlivňuje imunitní funkce u člověka.

Avšak ne všechny mastné kyseliny s *trans*-konfigurací mají škodlivé účinky. Konjugovaná linolová kyselina, která vzniká právě u přežvýkavců, má antikarcinogenní a antiobézní účinek, stimuluje imunitní systém. Proto se ruminantní *trans*-mastné kyseliny nepohlíží tolik negativně jako na industriální *trans*-mastné kyseliny. Dalším důvodem pozitivnějšího pohledu na ruminantní *trans*-mastné kyseliny je i fakt, že jich konzumujeme méně než těch industriálních.

V současné době se hledají způsoby omezování obsahu industriálních *trans*-mastných kyselin v potravinách, a to legislativními předpisy vlády nebo dobrovolnými opatřeními organizací, které se zabývají bezpečností potravin. V této práci se uvádí doporučené postupy pro země, které mají zájem o snížení obsahu těchto látek z potravin. Uvádí se též doporučení denního příjmu pro člověka.

Klíčová slova: Dietární příjem, hydrogenace, dyslipidemie, kardiovaskulární onemocnění, ruminantní mastné kyseliny.

Trans-fatty acids in human nutrition and their effect on health

Summary

Trans-unsaturated fatty acids are fatty acids that contain one or more double bonds in the *trans*-configuration. We distinguish between industrial and ruminant *trans*-fatty acids. The main source of industrial *trans*-fatty acids in human nutrition is partially hydrogenated fats and foods containing it (margarines, sweet and savoury products, fast food products). Partially hydrogenated fats are produced by hydrogenation, which is a process that converts liquid oils into a semi-solid form, which increases the durability of the product and preserves the taste and texture properties. The sources of ruminant *trans*-fatty acids, which are formed by the activity of microorganisms in the rumen of ruminants, are meat, milk and dairy products.

Trans-fatty acids may increase the risk of cardiovascular disease, obesity, type 2 diabetes and other diseases. They have an adverse effect on the level of lipoproteins in the blood plasma, increase the level of LDL cholesterol and reduce the level of HDL cholesterol. High intake of this group of fatty acids induces inflammatory cell responses, contributes to endothelial dysfunction and increased free radical production, and affects immune function in humans.

However, not all *trans*-configured fatty acids have harmful effects. Conjugated linoleic acid, which is formed in ruminants, has anticarcinogenic and antiobesity effect, and stimulates the immune system. Therefore, ruminant *trans*-fatty acids are not perceived as negatively as industrial *trans*-fatty acids. Another reason for a more positive view of ruminant *trans*-fatty acids is the fact that we consume less ruminant than industrial *trans*-fatty acids.

Ways to reduce the content of industrial *trans*-fatty acids in food are currently being sought, either through government legislation or voluntary measures by food safety organizations. This work presents recommended practices for countries interested in reducing the content of these substances in food. Recommendations for daily intake for humans are also given.

Keywords: Dietary intake, hydrogenation, dyslipidemia, cardiovascular disease, rumen fatty acids.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Tuky	3
3.2	Mastné kyseliny	3
3.2.1	Nasyčené mastné kyseliny	6
3.2.2	Nenasycené mastné kyseliny	7
3.2.2.1	Monoenové mastné kyseliny	8
3.2.2.2	Polyenové mastné kyseliny	8
3.3	<i>Trans</i>-nenasycené mastné kyseliny	10
3.3.1	Vznik a rozdělení <i>trans</i> -mastných kyselin	11
3.3.1.1	Industriální <i>trans</i> -mastné kyseliny	11
3.3.1.2	Ruminantní <i>trans</i> -mastné kyseliny	14
3.3.2	Zdroje a obsah v potravinách	15
3.3.3	Metabolismus v těle.....	18
3.3.4	Vliv na zdraví	19
3.3.4.1	Kardiovaskulární onemocnění	23
3.3.4.2	Účinek na krevní tlak	24
3.3.4.3	Účinek na nádorová onemocnění	24
3.3.4.4	Účinek na plod	25
3.3.4.5	Účinky na diabetes	26
3.3.4.6	Účinky na obezitu	26
3.3.5	Doporučený příjem	27
3.3.6	Spotřeba v různých zemích.....	28
3.3.7	Opatření ke snížení spotřeby	30
4	Závěr	35
5	Seznam literatury.....	36

1 Úvod

Lipidy jsou velice důležitou složkou stravy pro člověka. Jsou zdrojem energie pro lidský organismus a také nositelem nezbytných látek, jako jsou například lipofilní vitaminy. Jejich denní příjem by měl dosahovat 30 % celkového příjmu energie. Příjem lipidů je pro člověka nezbytný, avšak krom kvantity je třeba dbát i na kvalitu těchto živin.

Mastné kyseliny jsou z hlediska výživy nejvýznamnější složkou lipidů. Mastné kyseliny se dělí na nasycené – ty nemají dvojnou vazbu v molekule, monoenuové a polyenuové – obsahují jednu nebo více dvojných vazeb. Převážná většina dvojných vazeb u nenasyčených mastných kyselin je v *cis*-konfiguraci, ale mohou se vyskytovat i *trans*-konfigurace (z anglického *trans-fatty acids* - TFA), které se tvoří buď uměle - průmyslovou hydrogenací (ztužováním) kapalných olejů na pevné tuky za přítomnosti katalyzátoru, a ty se označují jako industriální TFA (iTFA), anebo vznikají přirozeně – biohydrogenací v bachtu přežvýkavců a v tom případě mluvíme o ruminantních TFA (rTFA).

V této práci se uvádí způsoby vzniku *trans*-mastných kyselin, potraviny, ve kterých se vyskytují (sladkosti, slané občerstvení, fast food), popis významných zástupců (elaidová, vakcenová, konjugovaná linolová kyselina) *trans*-mastných kyselin, jejich rozdělení a působení na organismus.

V posledních desetiletích až do současné doby se neustále zkoumá obsah TFA v potravinách, účinky TFA na lidský organismus a stále se přichází na nové cesty zabezpečení lidí před rizikem vzniku onemocnění spojených s potravinami.

V poslední části práce jsou uvedeny způsoby pro omezení iTFA ve výrobě a konzumaci obyvatelstvem na celém světě, včetně Evropské Unie, a doporučení pro příjem *trans*-mastných kyselin pro člověka od vybraných organizací.

2 Cíl práce

Hypotéza: Ruminantní *trans*-mastné kyseliny a *trans*-mastné kyseliny vznikající při výrobě a zpracování potravin mají negativní vliv zdraví člověka. Skutečný dietární příjem *trans*-mastných kyselin je v současnosti ve většině zemí vyšší než jejich doporučený příjem.

Cíle práce: Cílem bakalářské práce bylo zpracování literární rešerše zaměřené srovnání vlivu ruminantních *trans*-mastných kyselin a *trans*-mastných kyselin vznikajících při výrobě a zpracování potravin na zdraví člověka.

3 Literární rešerše

3.1 Tuky

Tuky (lipidy) patří mezi nejdůležitější složky potravy, nedají se úplně nahradit jinou složkou. Jejich hlavní význam je následující:

- Jsou nejvíce vydatným zdrojem energie v naší potravě. Mají dvojnásobnou energetickou hodnotu na jednotku hmotnosti oproti bílkovinám a sacharidům.
- Jsou nositelem látek nezbytných pro lidský organismus – esenciálních mastných kyselin, vitaminů rozpustných v tucích, sterolů a dalších.
- Dodávají stravě chuť a vůni.
- Usnadňují žvýkání a polykání.
- Vyvolávají pocit sytosti po požití jídla.

Tuky rozdělujeme podle původu na rostlinné a živočišné. Mezi živočišné tuky patří například mléčný tuk, rybí tuk, sádlo a lůj. Mezi rostlinné tuky patří např. řepkový, slunečnicový, olivový olej, a kokosový a palmojádrový tuk a potraviny vyrobené z rostlinných tuků, např. margaríny (Piřha & Poledne 2009).

3.2 Mastné kyseliny

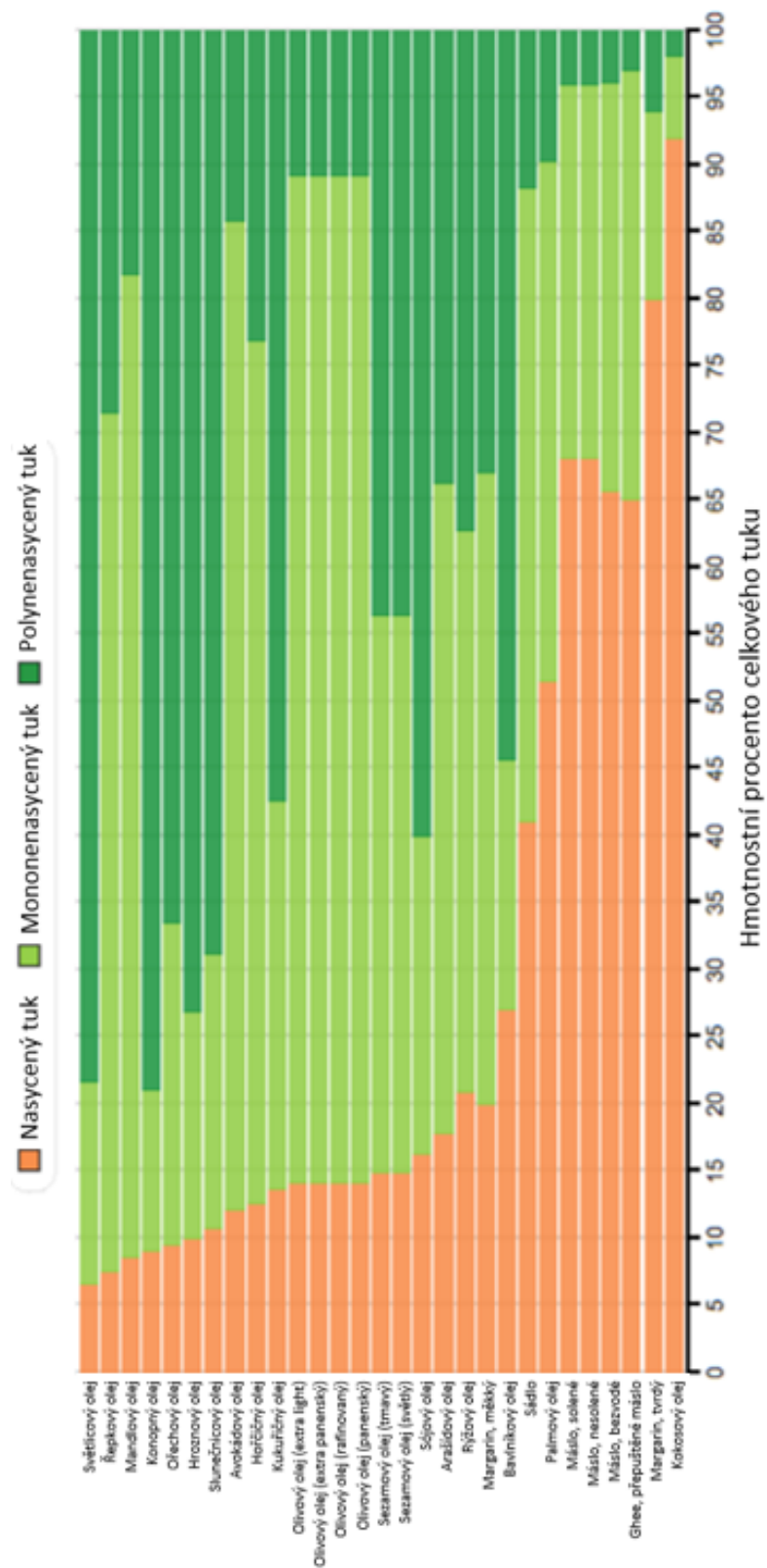
Mastné kyseliny (MK) jsou z hlediska výživy nejvýznamnější složkou lipidů. V přírodě, a tedy také v potravinách, se vyskytují tyto skupiny mastných kyselin:

- nasycené mastné kyseliny (SFA)
- nenasycené mastné kyseliny monoenoové (MUFA)
- nenasycené mastné kyseliny polyenoové (PUFA)

Toto rozdělení je založeno nejen na jejich chemické struktuře, ale jednotlivé skupiny mastných kyselin se vyznačují i odlišnými biologickými vlastnostmi (Velíšek & Hajšlová 2009; FAO 2010). Obecně tuky obsahující nasycené mastné kyseliny jsou pevné při pokojové teplotě, zatímco tuky obsahující nenasycené mastné kyseliny jsou obvykle kapalné při pokojové teplotě (Semma 2002; Willett 2006). Zastoupení jednotlivých skupin mastných kyselin ve vybraných tucích a olejích je uvedeno v Tabulce 1 a na Obrázku 1.

Tabulka 1: Obsah jednotlivých mastných kyselin (%) v některých tucích a olejích (Velíšek & Hajšlová 2009)

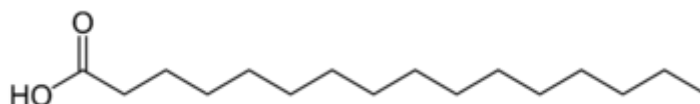
Tuky a oleje	Nasycené mastné kyseliny	Nenasycené mastné kyseliny	
		Monoenové	Polyenové
Mléčný tuk	53-72	26-42	2-6
Vepřové sádlo	25-70	37-68	4-18
Hovězí lůj	47-86	40-60	1-5
Palmový tuk	44-56	36-42	9-13
Palmojádrový tuk	75-86	12-20	2-4
Kokosový tuk	88-94	5-9	1-2
Slunečnicový olej	9-17	13-41	42-74
Olivový olej	8-26	54-87	4-22
Řepkový olej	5-10	52-76	22-40



Obrázek 1: Složení mastných kyselin v různých olejích (<http://chartsbin.com/view/1961>)

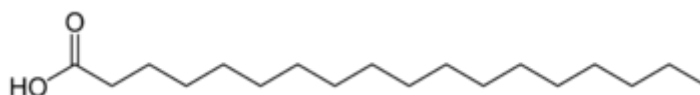
3.2.1 Nasycené mastné kyseliny

Nasycené mastné kyseliny jsou běžnou složkou přírodních lipidů. Obsahují 4 až 60 atomů uhlíku a zpravidla rovný, nerozvětvený řetězec, nejčastěji o sudém počtu atomů uhlíku a neobsahují v řetězci žádnou dvojnou vazbu. Mezi hlavní zástupce nasycených mastných kyselin patří kyselina palmitová a kyselina stearová, viz obrázek 2 a 3 (Pitřha & Poledne 2009; FAO 2010).



Obrázek 2: Palmitová kyselina

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palmitic_acid_shorthand_formula.PNG)



Obrázek 3: Stearová kyselina

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stearic_acid_shorthand_formula.PNG)

Nasycené mastné kyseliny jsou přítomny především v živočišných tucích (např. kuřecí maso, červené maso, vepřové sádlo, hovězí lůj, vejce, sýr, mléko, jogurt, máslo). Z rostlinných tuků jsou obsaženy zejména v kokosovém a palmovém tuku, kakaovém másle, tukových výrobcích obsahujících ztužené tuky a potravinách, do kterých jsou tyto tuky přidány (Pitřha & Poledne 2009; Mozaffarian & Ludwig 2015). Nejvýznamnější nasycené mastné kyseliny a jejich výskyt v tucích a olejích je uveden v Tabulce 2.

SFA se považují za rizikové pro řadu chorobných procesů, zejména pro vznik srdečně-cévních onemocnění. Jenže každá z těchto potravin má kromě nasycených mastných kyselin řadu dalších složek a vlastností, které mají i pozitivní účinky na zdraví. Například sýr, jeden z hlavních zdrojů nasycených mastných kyselin, je také spojen s neutrálními nebo dokonce příznivými účinky na ischemickou srdeční chorobu a diabetes mellitus (Pitřha & Poledne 2009; Mozaffarian & Ludwig 2015).

Tabulka 2: Hlavní nasycené mastné kyseliny a jejich výskyt (Velíšek & Hajšlová 2009; FAO 2010)

Triviální název	Systematický název	Počet atomů uhlíku	Vzorec	Výskyt
Máselná	butanová	4	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Mléčný tuk
Kapronová	hexanová	6	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Mléčný tuk
Kaprylová	oktanová	8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	Mléčný tuk, kokosový tuk, palmojádrový tuk
Kaprinová	dekanová	10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	Mléčný tuk, kokosový tuk, palmojádrový tuk
Laurová	dodekanová	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Kokosový tuk, palmojádrový tuk
Myristová	tetradekanová	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Mléčný tuk, kokosový tuk, palmojádrový tuk
Palmitová	hexadekanová	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Většina olejů
Stearová	oktadekanová	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Většina olejů
Arachidová (arašídová)	ikosanová	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	Arašídový olej

3.2.2 Nenasycené mastné kyseliny

Obsah nenasycených mastných kyselin se pohybuje v širokém rozmezí. V přírodních materiálech, tucích a olejích, se mohou vyskytovat od více než 90 % (např. v řepkovém oleji) po méně než 10 % (např. v kokosovém tuku). V tucích živočichů se jejich obsah pohybuje v menším rozmezí, obvykle 50-70 % (Velíšek & Hajšlová 2009).

Nenasycené mastné kyseliny se dělí podle počtu dvojných vazeb. MK s jednou dvojnou vazbou v chemickém řetězci se označují jako monoenové, s dvěma nebo více dvojnými vazbami se označují jako polyenové (Piřha & Poledne 2009).

3.2.2.1 Monoenové mastné kyseliny

Mezi hlavní zástupce monoenových mastných kyselin patří olejová kyselina (C18:1, n-9), viz Obrázek 4, která se vyskytuje v tucích živočišného a rostlinného původu (Velišek & Hajšlová 2009; FAO 2010).

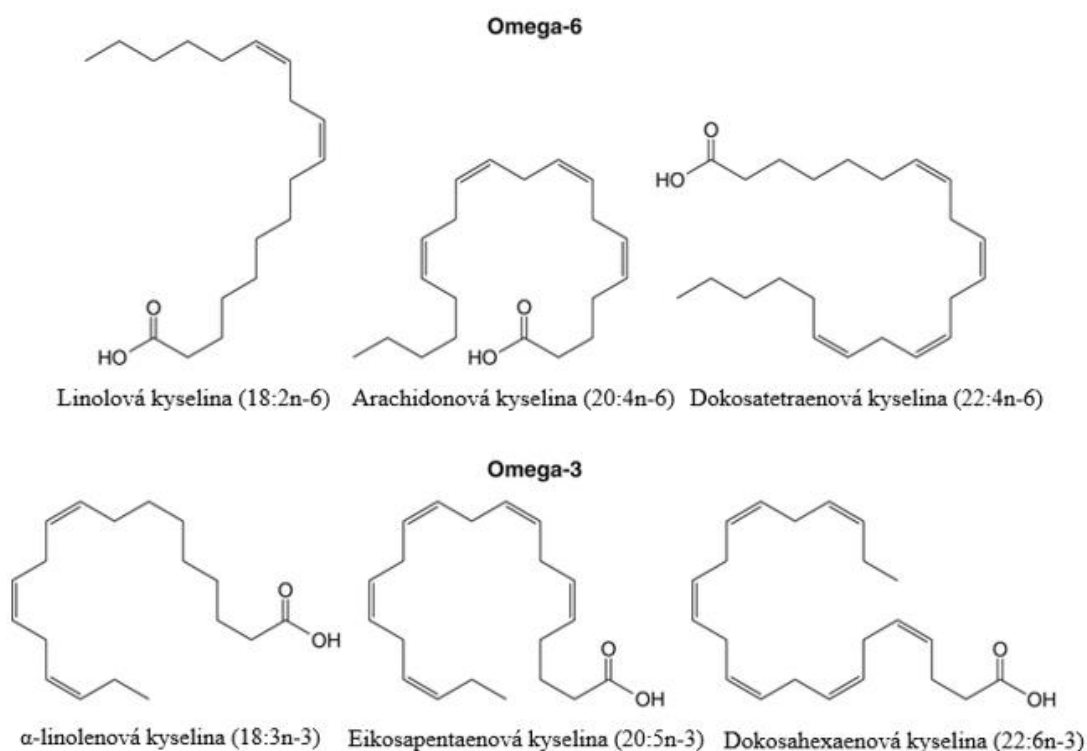


Obrázek 4: Olejová kyselina

(https://commons.wikimedia.org/wiki/Fatty_acids_2#/media/File:Oleic_acid_shorthand_formula.PNG)

3.2.2.2 Polyenové mastné kyseliny

V rámci polyenových mastných kyselin rozlišujeme mastné kyseliny řady ω -6, jejichž hlavním zástupcem je linolová kyselina a mastné kyseliny řady ω -3, u kterých je významným zástupcem α -linolenová kyselina. Linolová kyselina se přeměňuje v organismu na arachidonovou kyselinu a α -linolenová kyselina na eikosapentaenovou a dokosahexaenovou kyselinu. Tyto kyseliny mají příznivé účinky na organismus, jsou prekurzory eikosanoidů, což jsou intracelulární signalizační molekuly, které ovlivňují svalový stah, srážení krve, bolest či zánět. Obrázek 5 ilustruje chemické struktury hlavních ω -6 a ω -3 PUFA přítomných u lidí a zvířat. Těchto šest mastných kyselin představuje více než 90 % PUFA přítomných v plazmě a tkáních člověka (Albert & Lehninger 2005; Rédei 2008).



Obrázek 5: Struktury nejvýznamnějších ω -6 a ω -3 mastných kyselin
(<https://basicmedicalkey.com/lipid-metabolism-polyunsaturated-fatty-acids/>)

Linolová a α -linolenová kyselina jsou esenciálními mastnými kyselinami, což znamená, že si je tělo neumí samo syntetizovat, přestože je nezbytně potřebuje k životu, takže je musíme přijímat s potravou (Piřha & Poledne 2009).

Mezi zdroje nenasycených mastných kyselin patří většina rostlinných olejů (např. olej slunečnicový, lněný, sójový, kukuřičný, řepkový, světlicový atd.) a také ořechy a semena (např. vlašské ořechy, chia semínka, perila semínka, atd.) (Dhaka et al. 2011). V rostlinných olejích jsou také obsaženy ω -6 mastné kyseliny. Zdrojem ω -3 kyselin jsou především mořské plody, tučné mořské ryby a v menším množství je obsahují také sladkovodní ryby (Piřha & Poledne 2009). Nejvýznamnější nenasycené mastné kyseliny a jejich výskyt v tucích a olejích jsou uvedeny v Tabulce 3.

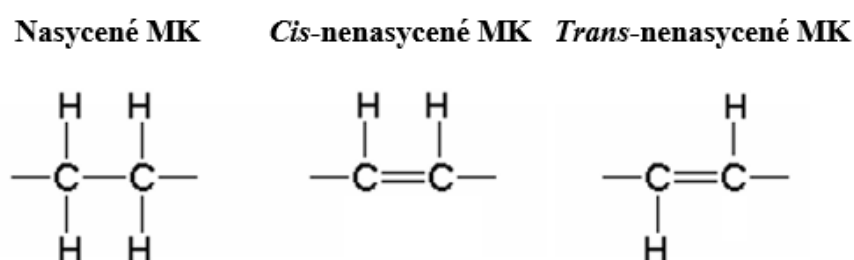
Tabulka 3: Hlavní nenasycené mastné kyseliny vyskytující se v tucích a olejích (Velíšek & Hajšlová 2009)

	Název	Počet atomů uhlíku	Sumární vzorec	Zdroj v potravě
Monoenové	Palmitolejová (hexadecenová)	C16:1 Δ 9 (<i>cis</i>)	C ₁₅ H ₂₉ COOH	Většina tuků a olejů
	Olejová (oktadecenová)	C18:1 Δ 9 (<i>cis</i>)	C ₁₇ H ₃₃ COOH	Většina tuků a olejů
	Elaidová	C18:1 Δ 9 (<i>trans</i>)	C ₁₇ H ₃₃ COOH	Hydrogenované rostlinné oleje, mléčný tuk, lůj
Polyenové ω -6	Linolová (oktadekadienová)	18:2 Δ 9,12 (<i>all-cis</i>)	C ₁₇ H ₃₁ COOH	Většina rostlinných olejů (slunečnicový, olivový, kokosový, palmový atd.)
	Arachidonová (eikosatetraenová)	20:4 Δ 5,8,11,14 (<i>all-cis</i>)	C ₁₉ H ₃₁ COOH	
	γ -linolenová (oktadekatrienová)	18:3 Δ 6,9,12 (<i>all-cis</i>)	C ₁₇ H ₂₉ COOH	
Polyenové ω -3	α -linolenová (oktadekatrienová)	18:3 Δ 9,12,15 (<i>all-cis</i>)	C ₁₇ H ₂₉ COOH	Olej lněný, sojový, řepkový, konopný, hořčičný
	EPA (eikosapentaenová)	20:5 Δ 5,8,11,14,17 (<i>all-cis</i>)	C ₁₉ H ₂₉ COOH	Ryby a rybí oleje (zejména tučné ryby jako: losos, sledě, sardely, koruška, makrela)
	DHA (dokosahexaenová)	22:6 Δ 4,7,10,13,16,19 (<i>all-cis</i>)	C ₂₁ H ₃₁ COOH	

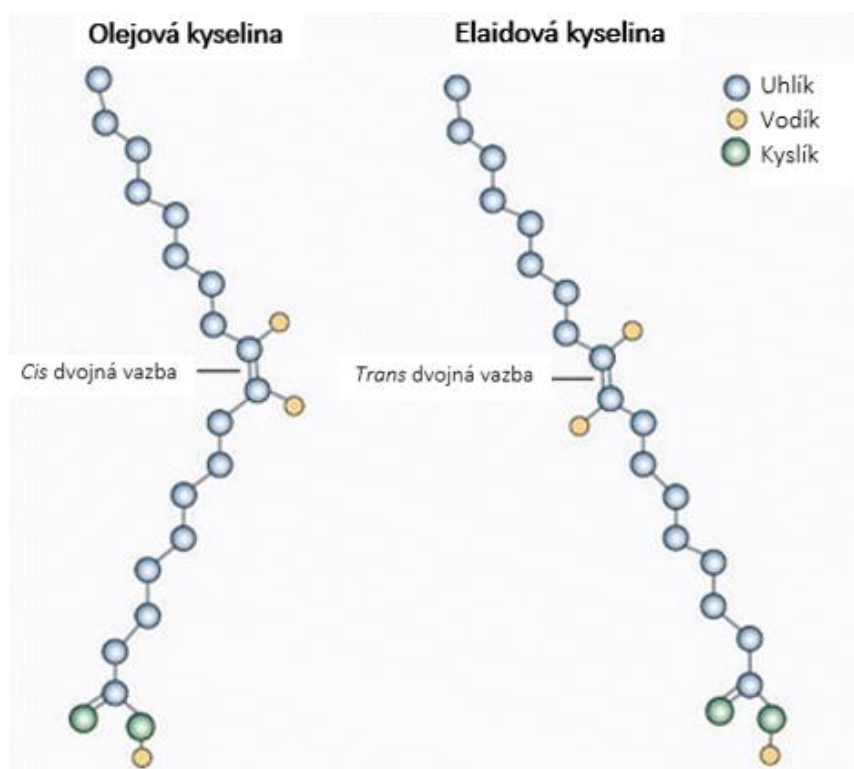
3.3 *Trans*-nenасыcené mastné kyseliny

Obecně se nenasycené tuky považují za zdravé. Výjimkou jsou však nenasycené mastné kyseliny v *trans*-konfiguraci (TFA, z anglického *trans*-fatty acid), které působí nepříznivě na srdečně-cévní systém, a vyvolávají choroby s tím spojené a také řadu dalších onemocnění (Piřha & Poledne 2009).

Dvě nenasycené mastné kyseliny se stejným počtem uhlíků a dvojných vazeb a stejnou polohou dvojných vazeb, ale s alespoň jednou dvojnou vazbou lišící se v konfiguraci, se označují jako geometrické izomery (Lichtenstein 2014). Molekula nenasycené mastné kyseliny může existovat v konfiguraci *cis* a *trans* v závislosti na uspořádání dvou atomů vodíku, viz Obrázky 6 a 7 (Ghafoorunissa 2008; Gashaw & Getasetegn 2018).



Obrázek 6: Typy mastných kyselin (Dhaka et al. 2011)



Obrázek 7: Ukázka geometrické izomerace mastných kyselin (Lichtenstein 2014)

Převážná většina dvojných vazeb v tucích v potravinách se vyskytuje v *cis*-konformaci (Lichtenstein 2014; Gashaw & Getasetegn 2018). Uspořádání dvojných vazeb v poloze *trans* je pro tuky výhodné. Tuky v konfiguraci *trans* mají totiž stabilnější strukturu, díky tomu mají výrazně vyšší teploty tání než jejich odpovídající *cis*-izomery (Feldman et al. 1996). Teplota tání olejové kyseliny (C18:1 Δ^9 -*cis*) je +15 °C a teplota tání elaidové kyseliny, což je její *trans*-izomer je +45 °C (Koletzko & Decsi 1997). Uspořádání *cis* není příznivé pro vytvoření zpevněné struktury, protože uhlovodíky kolem dvojných vazeb by strukturu ohýbaly, takže sloučenina by existovala jako kapalina. Jak již bylo zmíněno výše, obecně tuky obsahující nasycené mastné kyseliny jsou pevné při pokojové teplotě, zatímco nenasycené mastné kyseliny jsou obvykle kapalné při pokojové teplotě (Semma 2002; Willett 2006).

3.3.1 Vznik a rozdělení *trans*-mastných kyselin

Existují dva hlavní zdroje TFA v potravinách. Prvním z nich jsou TFA vznikající při průmyslové hydrogenaci (ztužování) kapalných olejů na pevné tuky, které jsou označovány jako industriální *trans*-mastné kyseliny (iTFA). Druhým nejvýznamnějším zdrojem jsou TFA, které vznikají biohydrogenací v bachtu přežvýkavců a bývají označovány jako ruminantní *trans*-mastné kyseliny (rTFA) (Ghafoorunissa 2008; Brouwer et al. 2010; Gashaw & Getasetegn 2018).

3.3.1.1 Industriální *trans*-mastné kyseliny

V průběhu lidské evoluce tvořily téměř veškeré nenasycené mastné kyseliny v potravě olejová, linolová, linolenová kyselina a mastné kyseliny s dlouhým řetězcem řady ω -3, pocházející z rybího tuku. Jediným značným zdrojem TFA byly mléčný tuk a maso přežvýkavců (viz níže). Na přelomu století došlo v průmyslových zemích k dramatické změně ve složení přijímaných mastných kyselin v potravinách, když byl objeven proces hydrogenace tuku, tj. přeměny kapalných olejů na tuhé nebo polotuhé tuky (Ascherio & Willett 1997).

Výroba náhrad másla byla zahájena v Evropě v polovině 19. století v důsledku vysoké ceny másla. Na žádost francouzského císaře Napoleona III. (synovec Napoleona Bonaparte) francouzský chemik Hippolyte Mege-Mouries vyrobil v roce 1869 přijatelnou náhradu másla. Tento produkt, složený z hovězího loje, mléka a vody vykazoval dobrou konzistenci a rozpouštěl se v ústech, což přispělo k jeho přijetí na spotřebitelský trh. V následujících letech se při vývoji náhrad másla začalo používat také sádlo. První margariny byly tedy vyráběny z živočišných tuků (Ghotra et al. 2002).

V následujících letech se v Evropě a ve Spojených státech začaly vyrábět hydrogenované tuky a margariny i z rostlinných olejů zejména z bavlníkového a sójového, které jsou bohaté na nenasycené mastné kyseliny (Shurtleff & Aoyagi 2004). V průběhu druhé světové války došlo k velkému nárůstu konzumace margarínů a během 20. století se jejich produkce neustále zvyšovala díky nízkým nákladům na jejich výrobu, dlouhé skladovatelnosti a možnosti je využívat pro další zpracování (Ascherio & Willett 1997).

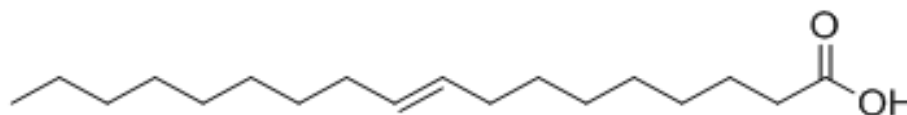
Až do roku 1940 byl však margarín považován za horší náhradu másla. V roce 1941 státní americký úřad Food and Drug Administration (FDA) zveřejnil zprávu o tom, že margarín má postavení základní potraviny (Ghotra et al. 2002).

Na konci 50. let vědci zjistili, že obsah α -linolenové kyseliny (18:3 Δ 9c, 12c, 15c) souvisí s tvorbou nepříjemných pachů při smažení jídla na sójovém oleji. Byla vyvinuta metoda selektivní hydrogenace jako alternativy ke snížení množství této mastné kyseliny v sójovém oleji (Gray & Russell 1979). Selektivní hydrogenace znamená, že polyenové mastné kyseliny se hydrogenují postupně, tj. postupně se mění na kyseliny s menším počtem dvojných vazeb, například: linolenová \rightarrow linolová \rightarrow olejová \rightarrow stearová. Tato strategie vedla k lehké hydrogenaci, což je proces, při kterém se snížilo množství kyseliny α -linolenové na 3 % z celkového obsahu mastných kyselin v oleji, a tím se rozšířila možnost produkce tuků se specifickými vlastnostmi (Martin et al. 2007).

Hydrogenace je proces přidání atomů vodíku k monoenovým nebo polyenovým mastným kyselinám v přítomnosti niklového katalyzátoru a spočívá v tom, že se dvojně vazby v nenasycené mastné kyselině částečně přerušují a připojují se na to místo dva atomy vodíku, čímž se mastná kyselina mění na nasycenou. Tímto způsobem lze polyenové mastné kyseliny převést na monoenové nebo nasycené mastné kyseliny. Hydrogenační proces převádí kapalné oleje na polotuhou formu, která zvyšuje trvanlivost při zachování odpovídajících chuťových a texturních vlastností (Gebauer et al. 2011; Wang et al. 2012; Gashaw & Getasetegn 2018).

Plně ztužený tuk vznikne rozrušením všech dvojných vazeb v uhlovodíkovém řetězci mastných, takový tuk neobsahuje pak žádné nenasycené mastné kyseliny. Pokud po hydrogenaci v tuku zůstanou dvojně vazby, označuje se tato hydrogenace za částečnou (parciální). Během částečné hydrogenace se některé *cis*-izomery, které se nacházejí v alifatickém řetězci, přeměňují na *trans*-izomery. Hydrogenační proces ponechává dvojnou vazbu neporušenou, ale způsobuje zřetelné konformační změny. Cílem je zvýšit oxidační stabilitu olejů snížením koncentrace více nenasycených mastných kyselin a změnou jejich fyzikálních vlastností, čímž se rozšiřuje jejich využití. Hydrogenace závisí hlavně na teplotě oleje, tlaku vodíku, rychlosti míchání, reakční době a typu a koncentraci katalyzátoru (Martin et al. 2007; Brát 2014).

V částečně ztužených tucích se vyskytuje především elaidová kyselina (18:1 Δ 9-*trans*) (viz Obrázek 8). Olejová kyselina (18:1 Δ 9-*cis*) je přirozeně se vyskytující mastná kyselina, která se nachází v mnoha rostlinných olejích. Po částečné hydrogenaci se změnou konformace přeměňuje na elaidovou kyselinu (Ganguly & Pierce 2015).



Obrázek 8: Elaidová kyselina

(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elaidic-acid-2D-skeletal.png>)

TFA mohou vznikat také i při tepelném zpracování potravin, např. při smažení. Tučky a oleje zajišťují účinný přenos tepla během procesu smažení, ale dochází při něm také k absorpci oleje do smažené potraviny a současně ke ztrátě vlhkosti, tuků, bílkovin a sacharidů z potraviny (Brühl 2014). Proces smažení vyvolává složité chemické a fyzikální změny ve smažicím médiu, které produkují bezpočet látek, které jsou začleněny do potravin a mění jejich vzhled, aroma a chuť, ale také ovlivňují kvalitu a bezpečnost potravin a v důsledku toho i lidské zdraví (Moya Moreno et al. 1999; Gertz 2000). Při smažení tuků se obvykle vyskytují tři typy změn: oxidační, hydrolytické a polymerační. Oxidační změny jsou způsobeny přítomností kyslíku rozpuštěného v tuku. Tato reakce se dá zpozorovat, když tuk pění. Produkty oxidačních reakcí nevykazují akutní toxicitu, ale při dlouhodobé konzumaci byl prokázán vznik aterosklerotických usazenin, usazenin v nervových tkáních a ostatních orgánech. Hydrolytické změny nastávají působením horké vodní páry na tuk, vznikají volné mastné kyseliny, které se pak absorbují do připravované potraviny. K těmto procesům jsou náchylné např. palmojádřový, kokosový a mléčný tuk. Při polymeračních reakcích dochází k tvorbě vysokomolekulárních látek (polymerů), což nastává při dlouhodobém působení vysoké teploty na tuk. Ke vzniku TFA při smažení dochází zejména v důsledku (oxidačních i neoxidačních) radikálových reakcí řetězců mastných kyselin, kterým podléhají jak volné mastné kyseliny, tak mastné kyseliny vázané v triacylglycerolech a jiných sloučeninách (White 1991; Szukalska 1995; Velíšek & Hajšlová 2009, Réblová & Peprná 2013). Velíšek & Hajšlová (2009) uvádí, že vznik TFA je ovlivněn počtem dvojných vazeb: čím je více dvojných vazeb ve sloučenině, tím více TFA vzniká za nižších teplot. Např. u linolové kyseliny (C18:2) je vznik TFA podmíněn teplotou okolo 240 °C, u linolenové kyseliny (C18:3) 210-220 °C. Nicméně Tsuzuki (2010) uvádí, že běžný proces smažení s použitím nehydrogenovaných olejů má malý dopad na příjem TFA. Během zahřívání na 160, 180 nebo 200 °C po dobu 24 hodin nebyly vytvořeny žádné TFA v sójovém oleji, což dokazuje, že TFA mohou být tvořeny pouze za extrémně vysokých teplot při zahřívání nebo při opakovaném použití oleje (Liu et al. 2007).

Moreno a kol. (1999) hodnotili vliv teploty a času na tvorbu *trans*-izomerů během zahřívání slunečnicového oleje v otevřené nádobě. V této studii bylo pozorováno, že obsah TFA začal stoupat při 150 °C a od 250 °C se zvýšilo o podstatné množství. Při zahřívání po dobu 20 minut na 200, 250 a 300 °C bylo pozorováno zvýšení koncentrace TFA o 356,5 %, 773,9 % a 3026,1 % ve vztahu k výchozím hodnotám (0,22 mg/g) (Wolff 2003).

Pro snížení rizika výskytu TFA ve fritovacích olejích během smažení by se měla zvolit správná teplota během smažení, výběr fritovacích olejů s nízkým obsahem TFA a použití výrobků na smažení s nízkým obsahem TFA. Překročení doporučené teploty kolem 180 °C sice zkrátí dobu smažení, ale zvýší tvorbu TFA (Aladedunye & Przybylski 2009).

Při rafinaci olejů byl též pozorován vznik TFA. Během tohoto procesu se jedlé oleje zahřívají na 60-100 °C, aby se odstranily některé složky (volné mastné kyseliny, fosfolipidy, uhlovodíky a bílkoviny z vedlejších produktů rozkladu), které mohou ovlivnit barvu, chuť a aroma. Poté probíhá deodorace, jejímž cílem je zlepšit smyslové vlastnosti oleje. Při tomto procesu se teplota pohybuje okolo 180-270 °C, což vede k tvorbě TFA (Bhardwaj et al. 2011).

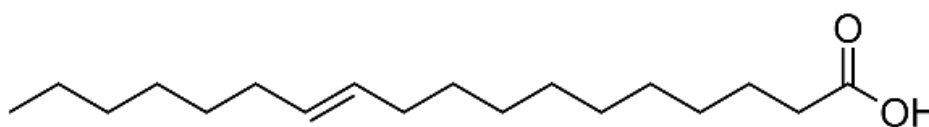
TFA mohou vznikat také např. při radiaci (ozařování) červeného masa. Ozáření masa prodlužuje jeho životnost tím, že jej chrání před patogenními mikroorganismy. Způsobuje to však strukturální změny v mnoha živinách, a také se ruší dvojné vazby, což vede k tvorbě karbonylových sloučenin a podporuje tvorbu TFA (Martin et al. 2007).

V dnešní době se ve snaze o redukci TFA využívá při výrobě ztužených tuků proces transesterifikace. Během tohoto procesu se přeměňují triacylglyceroly na methylester řepkového oleje (FAME, z anglického jazyka fatty acid methyl esters). Z chemického hlediska je to proces výměny organické skupiny R' esteru za organickou skupinu R' alkoholu. Tyto reakce jsou často katalyzovány přidáním kyselého nebo zásaditého katalyzátoru. Ve většině metod se jako transesterifikační činidlo používá hydroxid draselný nebo methanolát sodný v methanolu (Buchgraber & Ulberth 2002; Anneken et al. 2006; Vyas et al. 2010).

3.3.1.2 Ruminantní *trans*-mastné kyseliny

Ruminantní TFA jsou často přehlíženy kvůli velkému množství literatury, které je zaměřené na účinky rTFA u různých nemocí (Bassett et al. 2010). rTFA vznikají bakteriálním metabolismem (biohydrogenací) polyenových mastných kyselin v batoru přežvýkavců (u skotu, ovcí, koz, a dalších), a jsou proto přítomny ve všech tučích těchto zvířat. rTFA se vyskytují hlavně v mase, mléce a mléčných výrobcích (např. sýr, máslo) (Motard-Bélangier et al. 2008; Stender et al. 2008).

Hlavním zástupcem v kategorii rTFA je vakcenová kyselina (VA) (18:1 Δ^{11} -*trans*), která tvoří 50 až 80 % všech rTFA (Field et al. 2009). VA obsahuje pouze jednu dvojnou vazbu (viz Obrázek 9). Je podobná elaidové kyselině, rozdíl mezi těmito dvěma kyselinami je v pozici dvojné vazby, u vakcenové kyseliny je dvojná vazba na 11. uhlíku a u elaidové kyseliny na 9. uhlíku v řetězci (Ganguly & Pierce 2015).

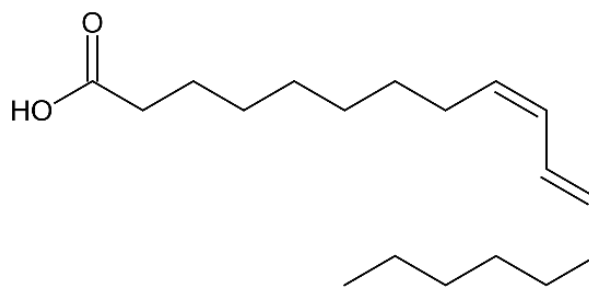


Obrázek 9: *Trans*-vakcenová kyselina

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trans-vaccenic_acid.svg)

Konjugovaná linolová kyselina (CLA) je dalším zástupcem rTFA. Termín CLA se používá pro směs izomerů linolové kyseliny. Ve směsi se vyskytují optické izomery *cis-cis*, *cis-trans* a *trans-trans* a obsahují v alifatickém řetězci dvě konjugované dvojně vazby (odděleny jednou jednoduchou vazbou) v polohách 9 a 11, 10 a 12 a 11 a 13 (viz Obrázek 10), což vede k 28 možným izomerům (Banni 2002). CLA se nachází především v produktech živočišného původu, v rostlinných produktech (např. ve slunečnicovém oleji) je její obsah velice nízký (Ganguly & Pierce 2015).

Konjugovaná linolová kyselina jakožto přirozená složka stravy je vnímaná pozitivně na rozdíl od TFA vznikajících při zpracování potravin (Yang et al. 2015).



Obrázek 10: Konjugovaná linolová kyselina (CLA) (18:2 Δ^9 -*cis*, 11-*trans*)
(https://en.wikipedia.org/wiki/Conjugated_linoleic_acid)

3.3.2 Zdroje a obsah v potravinách

Obsah TFA v průmyslově hydrogenovaných tucích se velmi liší a může představovat až 50-60 % obsahu mastných kyselin, zatímco obsah rTFA v živočišných výrobcích tvoří relativně malou část tuků, podle některých autorů (Bassett et al. 2010) to může představovat 2-9 % z celkového obsahu mastných kyselin. Hladina rTFA v mase, mléce a mléčných výrobcích zvířat závisí na krmení, geografických a sezónních podmínkách (Aro et al. 1998; Weggemans et al. 2004; O'Donnell-Megaró et al. 2011). Množství TFA v běžně konzumovaných živočišných produktech je uvedeno v Tabulce 4.

Tabulka 4: Množství TFA ve vybraných živočišných produktech (Gebauer et al. 2011)

Potravina	Celkový tuk (g/100 g)	TFA (g/100 g)	TFA (% z celkového tuku)
Sýr Cheddar (28 g)	36,4	0,87	2,39
Plnotučné mléko (244 g, 1 sklenice)	3,1	0,09	2,9
Nízkotučný jogurt (255 g, 1 kelímek)	1,16	0,03	2,59
Syrové hovězí maso (115 g)	21	0,79	3,76

Hydrogenované (částečně ztužené) rostlinné tuky se přidávají do různých výrobků, např. do sladkých potravin, jako jsou koláče, sušenky, koblihy, čokolády, do slaných výrobků, mezi které patří např. smažené brambory, bramborové lupínky, hranolky, popcorn, a také do instantních polévek, omáček a můžeme je nalézt i v pokrmech z rychlého občerstvení (Zbikowska 2010; Dhaka et al. 2011; Iqbal 2014).

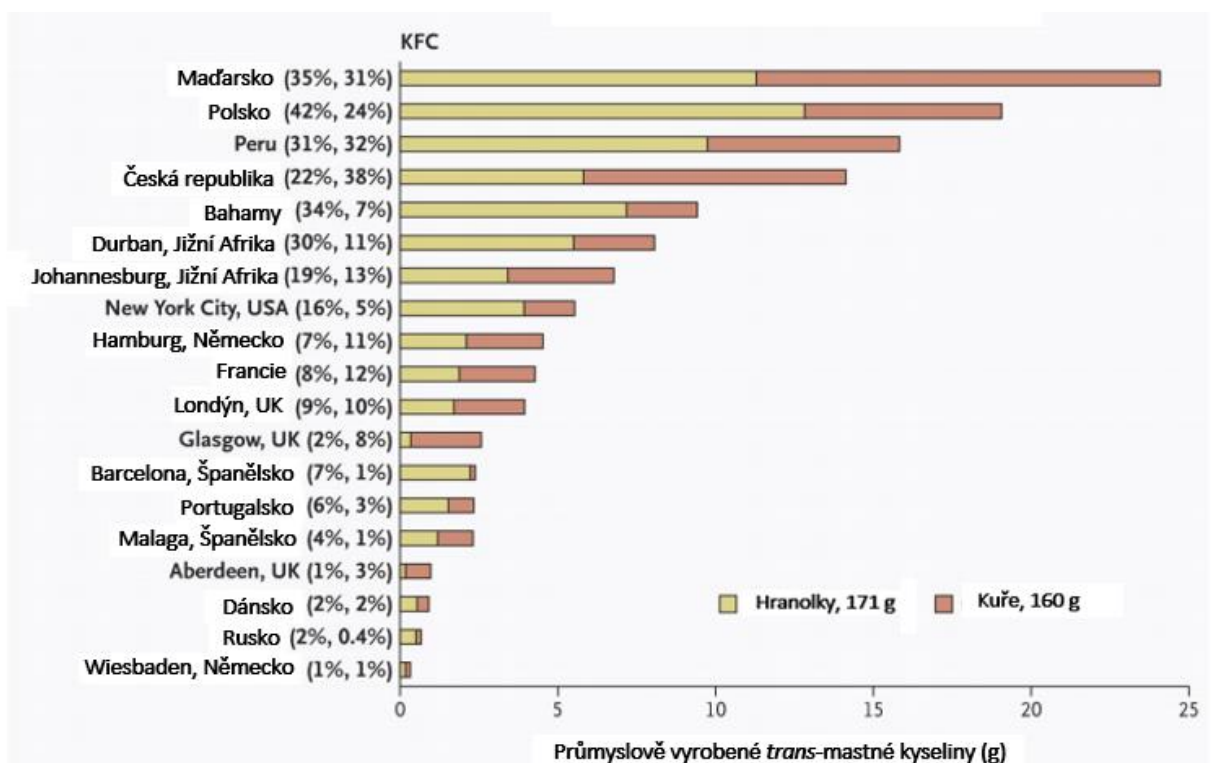
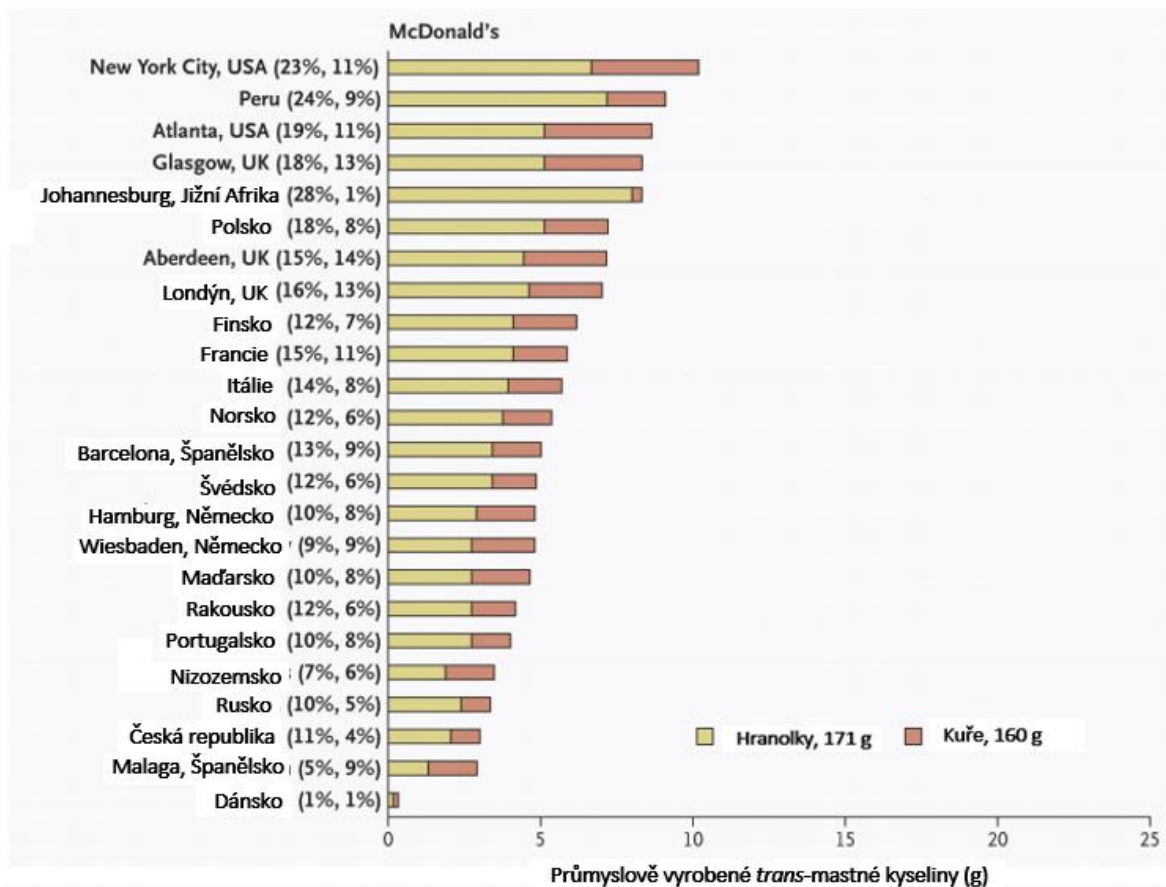
Polští vědci Daniewski et al. (1998) zkoumali obsah TFA v polských potravinách po dlouhá léta. V tucích používaných pro výrobu pekařských a cukrářských výrobků se obsah TFA pohyboval od 0,1 do 72,6 % a v tucích extrahovaných z pekařských a cukrářských výrobků v rozmezí od 0,1 do 45,5 %. Pozdější studie ukázaly nevýznamné snížení obsahu TFA v tucích používaných na výrobu pekařských a cukrářských výrobků na 70 % a v cukrářských výrobcích na 40 % (Daniewski et al. 1998; Balas 2004).

Typické potraviny s obsahem částečně ztužených rostlinných tuků prodávané ve Spojených státech amerických a obsah TFA v těchto potravinách je uveden v Tabulce 5.

Tabulka 5: Obsah *trans*-mastných kyselin v potravinách (Mozaffarian et al. 2006)

Výrobek	Obsah <i>trans</i> -mastných kyselin	
	g/100 g potraviny	% celkového tuku
Hranolky	4,2 – 5,8	28 – 36
Burrito	0,9	12
Pizza	0,5	9
Popcorn	3	11
Koláč	3,1	28
Sušenky	5,9	26
Muffin	1,3	14
Margariny	19,2	19

Hranolky, smažená kuřata a jiné smažené výrobky z rychlého občerstvení významně přispívají ke spotřebě TFA obyvatelstvem. Vědci z Dánska a jejich zahraniční kolegové prováděli pokus a kupovali hranolky a smažená kuřata v restauracích McDonald's a KFC a analyzovali obsah mastných kyselin, včetně TFA pomocí metody plynové chromatografie. Celkem od listopadu 2004 do září 2005 bylo analyzováno složení hranolek a smažených kuřat ze 43 restaurací. Výsledky jsou uvedeny na Obrázku 11 (Stender et al. 2006).



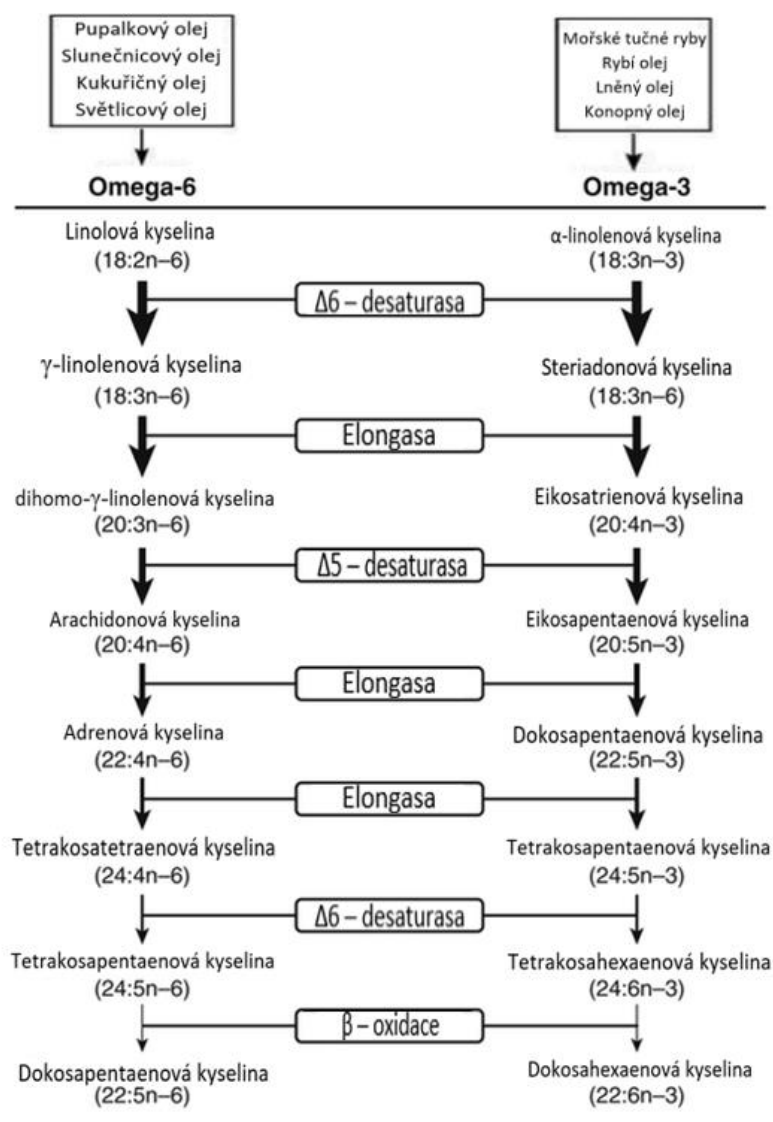
Obrázek 11: Množství iTFA v hranolkách a smažených kuřatech v restauracích McDonald's a KFC v různých zemích. V závorkách je procentuální podíl TFA z celkového tuku (Stender et al. 2006)

3.3.3 Metabolismus v těle

Jak již bylo uvedeno výše, linolová a α -linolenová kyseliny jsou esenciální mastné kyseliny, které lidský organismus neumí syntetizovat. Z těchto MK jsou v těle syntetizovány kyseliny eikosapentaenová a dokosaheptaenová. Tyto mastné kyseliny jsou v lidském těle využívány k tvorbě prostaglandinů, tromboxanů, leukotrienů a lipoxinů, které jsou souhrnně známé jako eikosanoidy (FAO 2010).

Celý mechanismus syntézy probíhá střídavě elongací, desaturací a pak končí β -oxidací. Elongace spočívá v prodlužování řetězce pomocí enzymu elongáza a desaturace tvorbou dvojných vazeb pomocí enzymů desaturáz. K těmto reakcím dochází jak u ω -6, tak u ω -3 MK (Kang et al., 2004; Lai et al., 2006).

Řetězení probíhá až na 24 uhlíků a vzniká tetrakosapentaenová kyselina (C24:5n-6) u řady ω -6 a tetrakosaheptaenová kyselina (C24:6n-3) u řady ω -3. Tyto mastné kyseliny jsou metabolické meziprodukty, které se běžně neshromažďují v plazmě nebo v tkáni. Proces končí jejich následným odbouráním β -oxidací na 22-uhlíkovou eikosapentaenovou (EPA) a dokosaheptaenovou (DHA) kyselinu, viz Obrázek 12 (Expert Consultation 2008).



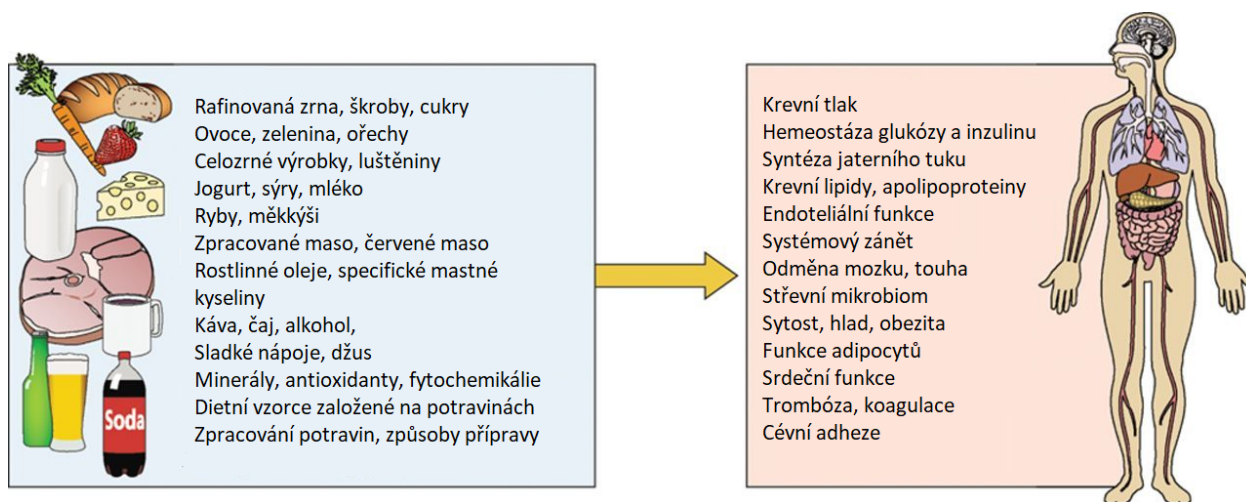
Obrázek 12: Cesta proměny linolové a α -linolenové kyseliny na EPA a DHA (FAO 2010)

Aktivitu enzymů ($\Delta 6$ -desaturáza, $\Delta 5$ -desaturáza, elongáza) a následnou syntézu EPA a DHA negativně ovlivňuje několik faktorů. Především schopnost produkce těchto enzymů u daného jedince, dále snížení aktivity narůstá s dlouhodobou konzumací alkoholu, kouřením, nedostatkem vitaminů a minerálních látek, vyšším příjmem TFA, stresem a virovými infekcemi (Žák 2005).

Co se týče metabolismu tuků s *trans*-konfigurací, tak ty mají různé vlastnosti, které vyvolávají pochybnosti ve vědecké komunitě. Degradace TFA vede k tvorbě meziprojektu 2-*trans*,4-*trans*-dienoyl-CoA, který může být dále metabolizován dvěma různými cestami. Buď pomocí reduktázy (2,4-dienoyl-CoA reduktáza) na 3-*trans*-enoyl-CoA, který je dál převeden D3,D2-enoyl-CoA isomerázou na 2-*trans*-enoyl-CoA a ten znovu vstupuje do cyklu β -oxidace, nebo je 2-*trans*, 4-*trans*-dienoyl-CoA metabolizován přímo pomocí enoyl-CoA hydratázy II multifunkčního enzymu na 3-hydroxy,4-*trans*-enoyl-CoA, který se pak odbourává β -oxidací. To je obecné schéma β -oxidace, které bylo pozorováno u všech TFA a nebere do úvahy možnost neúplné β -oxidace, konkrétně z elaidové kyseliny. Tato mastná kyselina je částečně převedena na 5-*trans*-tetradecenovou kyselinu. Podle všeho 5-*trans*-tetradecenoyl-CoA se rychleji vytváří, než degraduje β -oxidací, zatímco odpovídající meziprojektu běžnějších dietních mastných kyselin, včetně 5-*cis*-tetradecenoyl-CoA odvozeného od kyseliny olejové, se degradují bez výraznější akumulace. Tudíž tato data podporují závěr, že přítomnost 5-*trans* dvojně vazby namísto 5-*cis* nebo žádné dvojně vazby v substrátu vede k snížené rychlosti buněčného dýchání nebo dokonce k nepříznivým účinkům na jiné reakce β -oxidace, jako přechod z mitochondrie do cytosolu, kde může být aktivován přeměnou na svůj CoA derivát a použit pro syntézu lipidů (Yu et al. 2004; Robert et al. 2005; Brandao & Longhi 2016).

3.3.4 Vliv na zdraví

Je zřejmé, že stravovací návyky ovlivňují různé kardiometabolické rizikové faktory, mezi něž patří nejen obezita a zvýšení hladiny lipoproteinů o nízké hustotě (LDL, z anglického low density lipoproteins), ale také vysoký krevní tlak (TK), porucha homeostáze glukózy a inzulínu, zánět, porušené jaterních funkcí atd. Složky stravy, které mohou mít vliv na metabolické dráhy člověka jsou zobrazeny na Obrázku 13 (Mozaffarian 2016).

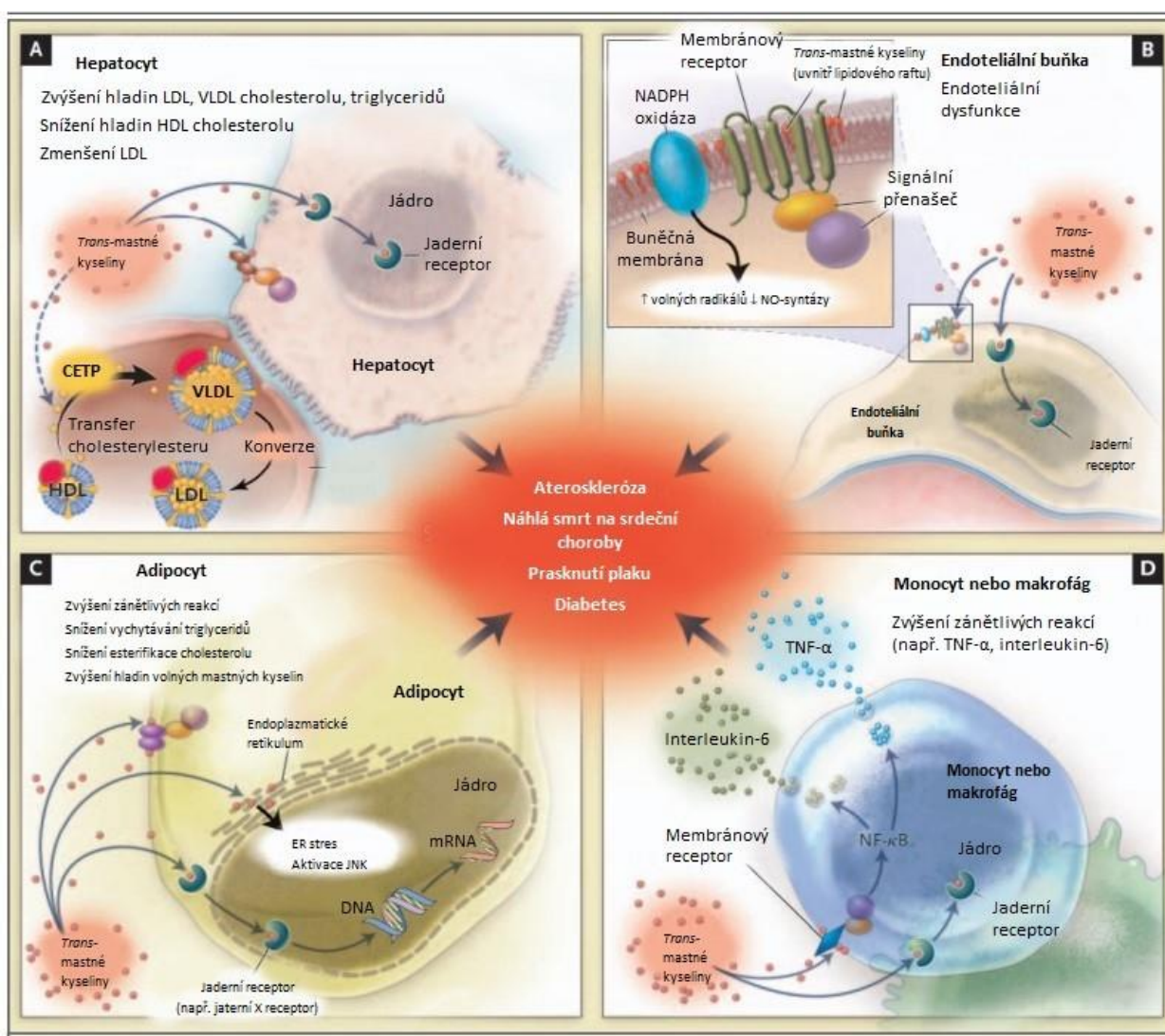


Obrázek 13: Strava a kardiovaskulární a metabolická rizika (Mozaffarian 2016)

Mastné kyseliny nejsou zdaleka jen inertními přenašeči kalorií, jsou to také významné modulatory buněčných funkcí, které mají vliv na tekutost membrány a reakci membránových receptorů jejich začleněním do fosfolipidů v buněčných membránách. Mastné kyseliny se vážou a modulují jaderné receptory, které regulují transkripci genu. Mastné kyseliny mohou také přímo nebo nepřímo modulovat metabolické a zánětlivé reakce endoplazmatického retikula. Změny ve složení mastných kyselin, které přijímáme z potravin, mohou mít zásadní vliv na organismus (Clandinin et al. 1991; Roach et al. 2004; Vanden Heuvel 2004; Feller & Gawrisch 2005; Hotamisligil 2005; Gashaw & Getasetegn 2018).

Řada epidemiologických studií poskytla prakticky nesporný důkaz, že spotřeba iTFA má negativní zdravotní účinky zejména v souvislosti s kardiovaskulárními onemocněními, cévní mozkovou příhodou, zvýšením krevního tlaku, nádorovým onemocněním prsu a tlustého střeva, diabetem, rizikem preeklampsie, poruchami nervového systému u kojenců a obezitou (Mozaffarian et al. 2006).

U *trans*-izomerů mastných kyselin bylo pozorováno ovlivnění funkce a odezvy mnoha typů buněk (viz Obrázek 14).



Obrázek 14: Potenciální fyziologické účinky TFA (Asgary & Nazari 2008)

Trans-mastné kyseliny vytvořené v tucích během hydrogenace mění sekreci, lipidové složení a velikost lipoproteinů produkovaných jaterními buňkami, a také zvyšují plazmatickou aktivitu cholesteryl ester transfer proteinu (CETP), což je plazmatický protein, který usnadňuje transport cholesterylesterů a triglyceridů mezi lipoproteiny s vysokou hustotou (HDL, z anglického high density lipoproteins) a lipoproteiny s nízkou (LDL) a velmi nízkou hustotou (VLDL, z anglického very low density lipoproteins). Účinek na CETP pravděpodobně není přímý a je zprostředkován pomocí navázání na membránové nebo jaderné receptory. Při zvýšené aktivitě CETP může dojít ke snížení hladin HDL a zvýšení hladin LDL a VLDL cholesterolu pozorovaných při příjmu TFA (van Tol et al. 1995; Ascherio et al. 1999; Mensink et al. 2003).

Trans-mastné kyseliny zabudované do molekul bílkovin na povrchu buněk mají vliv na membránové receptory a enzymy, což způsobuje zvýšení tvorby volných radikálů a snižují funkci NO-syntázy, což je důležitá signální molekula (Baer et al. 2004; Lopez-Garcia et al. 2005).

Trans-mastné kyseliny také ovlivňují metabolismus mastných kyselin přímou vazbou na jaderné receptory regulující genovou transkripci a přímou nebo nepřímou vazbou na endoplazmatické retikulum, čím vyvolávají zánětlivé reakce adipocytů, což má za následek snížené vychytávání triglyceridů, sníženou esterifikaci nově syntetizovaného cholesterolu a zvýšenou produkci volných mastných kyselin (Matthan et al. 2001; Mozaffarian et al. 2004).

Dále *trans*-mastné kyseliny modulují aktivitu monocytů a makrofágů, což se projevuje zvýšenou produkcí zánětlivých mediátorů, jako např. TNF- α (faktor nádorové nekrózy α) a interleukin-6 (Han et al. 2002; Mozaffarian et al. 2004).

Každý z těchto účinků byl pozorován v kontrolovaných studiích na lidech a může jednotlivě nebo dohromady zvyšovat riziko aterosklerózy, prasknutí plaku, náhlé smrti na srdeční choroby a diabetu. Ukazuje se, že omezená spotřeba potravin s iTFA poskytuje účinný prostředek ke snížení rizika řady onemocnění (Mozaffarian et al. 2006; Gashaw & Getasetegn 2018).

Longhi et al. (2019) studovali účinky TFA na biochemické a zánětlivé parametry, konkrétně v játrech, u laboratorních potkanů po dobu 4 týdnů. Experimentální skupiny byly krmeny vysokotučnými dietami, dietou s 20 % čerstvého sójového oleje, dietou s 20 % oxidovaného sójového oleje a dietou s 20 % margarínu. Oxidované jedlé oleje vyvolaly v játrech peroxidaci (oxidační degradaci) lipidů, kde volné radikály přebírají elektrony lipidům v buněčných membránách, na rozdíl od neoxidovaných olejů. Z toho vyplývá, že existuje těsná korelace mezi konzumací TFA z oxidovaných olejů a peroxidací lipidů, což způsobuje poruchy v metabolismu jaterních lipidů, který by mohl vést k nealkoholickému ztučnění jater. Nejsilnější zánětlivý účinek byl vyvolán dietou s margarínem, který obsahoval nejvyšší hladinu TFA (Dhibi et al. 2011; Longhi et al. 2017; Longhi 2019).

Zatímco průmyslově vzniklé TFA jsou známy tím, že jsou škodlivé pro srdečně-cévní soustavu, současná literatura naznačuje, že přirozeně se vyskytující rTFA má jen malý nebo žádný nepříznivý účinek. Může to být jednak kvůli tomu, že „přirozené“ rTFA nemusí vykazovat škodlivé účinky na srdce, jednak se předpokládá, že je lidé nepožijí v tak významné dávce, aby to mohlo způsobit zjevné klinické účinky. Vzhledem k tomu, že právní předpisy v západních zemích jsou nastavovány tak, aby se snížil příjem iTFA, relativní účinky rTFA na zdraví se mohou stát závažnými (Bendsen et al. 2011; Benatar 2017).

Údaje o účincích rTFA na plazmatické lipoproteiny u lidí jsou omezené malými studiemi, které hodnotí možné rozdíly mezi iTFA a rTFA (Tholstrup et al. 2006; Mozaffarian et al. 2009). Jedna studie zjistila nepříznivé účinky pouze při vysokém příjmu rTFA (nad 3 % z celkových mastných kyselin přijatých za den) (Motard-Bélanger et al. 2008). Další studie dospěla k závěru, že iTFA i rTFA zvyšují poměr plazmatických LDL k HDL cholesterolu (Brouwer et al. 2010).

Tyto experimentální studie tvrdí, že na dávce rTFA záleží. Při nízkých dávkách (do 1 %) má rTFA jen málo zřetelných účinků, ale při vysokých dávkách (nad 3 %) může dojít k negativním vlivu na lipidový profil. Tyto výsledky však nejde aplikovat do reálného života, protože dávky používané v experimentálních modelech jsou mnohem vyšší, než kolik může běžná populace spotřebovat. V praxi se příjem rTFA 1,5 % z celkové energie za den považuje za velmi vysoký. Takové dávky by šlo dosáhnout při konzumaci 4 porcí sýra (4 x 50 g, 33 % tuku), 2 porcí mléka (2 x 250 ml; 3,25 % tuku), jedné porce jogurtu (175 g; 3,25 % tuku) a 8 čajových lžiček másla (8 x 5 ml) za den, což je téměř nereálné. Navíc účinky rTFA mohou být zároveň zlepšeny jinými složkami přítomnými v mléčných výrobcích. Jelikož je známo, že hladiny iTFA v potravinách mohou dosahovat až 50 % celkového obsahu tuku, rTFA jsou obvykle pod 6 %. Dosud není jasné, zda je příjem rTFA vůbec spojen se zvýšeným rizikem ICHS (Motard-Bélanger et al. 2008; European Food Safety Authority 2010; Benatar 2017).

Jak vyplývá z předchozího textu, většina *trans*-izomerů má nepochybně negativní účinek na zdraví, avšak je nutné poznamenat, že existují také *trans*-izomery, které naopak mohou mít pozitivní vliv na zdraví. Příkladem takového *trans*-izomeru je konjugovaná linolová kyselina (CLA). Vyskytuje se v malém množství v tuku přežvýkavců (Lehnen et al. 2015).

3.3.4.1 Kardiovaskulární onemocnění

Kardiovaskulární onemocnění (KVO) je termín, který široce definuje onemocnění, která ovlivňují srdce a cévy obklopující srdce. KVO vedou k poruchám srdečních funkcí, nedostatečné funkci srdce a snížení krevního zásobení ostatních orgánů (Ganguly & Pierce 2015).

Mezi nejvýznamnější KVO patří ateroskleróza a ischemická choroba srdeční. Ateroskleróza je kornatění tepen a vzniká v důsledku akumulace tukových látek (v první řadě LDL cholesterolu) do stěny tepny, tím potom vznikají ateromy (plak). Následné hromadění i dalších látek (vápníku, polysacharidů a také odpadních látek) způsobuje zúžení tepen. Pokud ateromy rostou a blokují nebo brání průtoku krve v tepnách, mohou nastat závažné zdravotní komplikace, jako např. infarkt myokardu, mozková mrtvice, ischemická choroba dolních končetin nebo selhání některých orgánů (např. ledviny, oko) (American Heart Association 2017). Ischemická choroba srdeční (ICHS) je patologický stav, který nastává při narušení krevního zásobení myokardu kyslíkem v důsledku poškození koronárních tepen. Srdeční sval má nedostatečný přívod krve a ve výsledku může dojít až k infarktu myokardu (Špinar & Vítovec 2003).

Kardiovaskulární onemocnění zůstávají dnes hlavní příčinou úmrtí na světě. Odhaduje se, že v roce 2016 na KVO zemřelo 17,9 milionu lidí, což představuje 31 % všech úmrtí na světě. K 85 % těchto úmrtí došlo v důsledku infarktu a cévní mozkové příhody (WHO 2017). V Česku jsou KVO nejčastější příčinou smrti jak u žen (50 % všech úmrtí), tak u mužů (42 %) (OECD & European Observatory 2017).

Na vzniku a rozvoji KVO se podílí genetická dispozice, věk, pohlaví (u mužů je výskyt častější), další provázející onemocnění (např. vysoká hladina cholesterolu v krvi, hypertenze, obezita, diabetes), a také ovlivnitelné rizikovými faktory. Ty jsou spojeny s výběrem životního stylu (Ganguly & Pierce 2015). Mezi hlavní rizikové faktory životního stylu, podílející se na vzniku kardiovaskulárních onemocnění patří nevyvážená strava, kouření, nadměrná konzumace alkoholu, nízká fyzická aktivita aj. (Ganguly & Pierce 2015; Gashaw & Getasetegn 2018; Health Canada 2019). V rámci nevyvážené stravy je s rizikem KVO spojen zejména druh konzumovaných tuků, konkrétně nadměrná konzumace SFA a TFA a nedostatečná konzumace MUFA a PUFA (Ganguly & Pierce 2015).

Trans-mastné kyseliny byly identifikovány jako zjevná příčina KVO (Ganguly & Pierce 2015). Byly provedeny studie, kde po nahrazení nasycených mastných kyselin *trans*-mastnými kyselinami po dobu 4 týdnů došlo u účastníků ke snížení HDL cholesterolu o 21 % a ke zhoršení schopnosti dilatace (roztahení) cév až o 29 %. Předpokládá se, že TFA ovlivňují strukturu membrány, a tak mění enzymatické dráhy, které mohou následně vyvolat srdeční arytmie a náhlou smrt (De Roos et al. 2001).

Mnoho let epidemiologických výzkumů ukázalo, že populace konzumující stravu s vysokým obsahem nasycených mastných kyselin vykazují relativně vysokou hladinu cholesterolu v séru (Caggiula & Mustad 1997). Bylo zjištěno, že vyšší příjem *tTFA* má nepříznivý účinek na koncentrace lipoproteinů. Spotřeba výrobků s vyšším obsahem *trans*-mastných kyselin zvyšuje hladinu celkového cholesterolu, LDL cholesterolu a triacylglycerolů a snižuje prospěšný HDL cholesterol. Na základě důkazů z různých studií se obecně uznává, že vysoké hladiny cholesterolu v séru, zejména LDL cholesterol, podporují rozvoj aterosklerózy nebo ischemické choroby srdeční (Motard-Bélanger et al. 2008; Dhaka et al. 2011; Gashaw & Getasetegn 2018).

Studie provedené Mozaffarianem et al. (2016) ukázaly, že vyšší riziko ischemické choroby srdeční souvisí s *tTFA*, jelikož tuk přežvýkavců obsahuje nízké hladiny *rTFA* (< 6 % mastných kyselin) a množství přijatých *rTFA* je ve většině studovaných zemí nízké (obecně < 1 % celkového energetického příjmu), a tudíž *rTFA* tolik nepřispívají k riziku ICHS (Mozaffarian 2016). Navíc CLA přítomná v tuku přežvýkavců si získává pozornost díky schopnosti snižování hladiny cholesterolu v krvi a antiaterogennímu působení. Také byly pozorovány její regulační účinky na imunitní funkce, metabolismus lipidů a eikosanoidů, produkci cytokynů a imunoglobulinů a modulaci exprese řady genů (Zbikowska 2010).

3.3.4.2 Účinek na krevní tlak

Krevní tlak je tlak, kterým krev působí na stěny cévy. Hypertenze (zvýšený krevní tlak) je onemocnění, při kterém je tlak krve v krevním řečišti chronicky zvýšený, vede to postupně k poškození cév a následným nemocem, jako cévní mozková příhoda a ischemická choroba srdeční, která pak může vést k vzniku infarktu (Appleton et al. 2016).

Jedním z faktorů, který ovlivňuje zdravé proudění krve v cévách, jsou *trans*-mastné kyseliny. TFA mají schopnost poškozovat výstelku tepen, což vede k její ztvrdnutí, a tím zvýšení krevního tlaku (Gashaw & Getasetegn 2018).

V případě rTFA, konkrétně CLA byl však u laboratorních zvířat i v klinické studii u lidí s hypertenzí sledováno významné snížení systolického i diastolického tlaku po 8 týdnech, při příjmu 4,5 g CLA (9-*cis*, 11-*trans* C18:2 50 %, 10-*trans*, 12-*cis* C18:2 50 %) (Koba & Yanagita 2014).

3.3.4.3 Účinek na nádorová onemocnění

Rakovina prsu je jedním z nejčastěji diagnostikovaných nádorových onemocnění a je hlavní příčinou úmrtnosti žen na celém světě (Jemal et al. 2010). Nevhodná strava a škodlivé složky potravin jsou považovány za hlavní ovlivnitelné rizikové faktory spojené s jejím výskytem (Holmes & Willett 2004; Michels et al. 2007). Několik studií ukazuje, že některé makro a mikronutrienty a různé skupiny potravin, včetně ovoce a zeleniny, potravin bohatých na fytochemikálie, mléčných výrobků a masných výrobků, mohou souviset se vznikem rakoviny prsu (Gandini et al. 2000; Bahadoran et al. 2013). V evropské populaci byl zkoumán vztah mezi hladinou TFA v tukové tkáni a její účinkem na výskyt rakoviny prsu, prostaty a tlustého střeva. Zjistilo se, že existuje korelace mezi příjmem TFA a výskytem těchto typů nádorových onemocnění (Barker et al. 1997; Kohlmeier et al. 1997).

Laake et al. (2013) zjišťovali souvislost rTFA a nádorovými onemocněními a dospěli k závěru, že *trans*-vakcenová kyselina je spojena s nevýznamným zvýšeným rizikem premenopauzálního karcinomu prsu a se zvýšeným a zároveň i se sníženým rizikem postmenopauzálního karcinomu prsu (Voorrips et al. 2002; Rissanen et al. 2003). *Trans*-vakcenová kyselina se totiž může v lidském těle desaturovat na konjugovanou linolovou kyselinu (Dilzer & Park 2012). CLA může mít protirakovinné vlastnosti. Ve studiích na zvířatech bylo prokázáno, že rozvoji nádorových onemocnění je možné zabránit pouze vysokým příjmem CLA. U potkanů se jednalo o dávku nejméně 0,1 g CLA/100 g tuku, což odpovídá 1,5 – 3,0 g CLA/osobu/den (Zbikowska 2010). Četné studie, jak *in vitro*, tak *in vivo*, prokázaly protirakovinovou aktivitu u lidí (Kelley et al. 2007). Vliv CLA na lidský organismus projevil antiproliferativní aktivitu proti různým nádorovým buňkám včetně rakoviny tlustého střeva (Coakley et al. 2006; Degen et al. 2011) a rakoviny prsu (Rakib et al. 2011; El Roz et al. 2013). Výsledky epidemiologických studií na lidech týkající se CLA a rizika rakoviny jsou však rozporuplné. Jelikož je těžké rozlišit účinky u rTFA a SFA, je dost

možné, že tyto pozitivní souvislosti pozorované mezi příjmem rTFA a rizikem rakoviny jsou způsobeny SFA, a nikoli rTFA. Zdroje rTFA mohou být zároveň důležitými zdroji nasycených tuků (Laake et al. 2013).

3.3.4.4 Účinky na plod

TFA mohou mít nepříznivé účinky na průběh těhotenství a vývoj plodu. Obecně se předpokládá, že inhibovaná syntéza polyenových mastných kyselin v přítomnosti TFA je jedním z faktorů, které určují hmotnost novorozence, trvání těhotenství a vývoj nervového systému plodu během nitroděložního života. Vyšší konzumace TFA totiž souvisí s nižší syntézou EPA a DHA, které jsou rozhodující pro normální vývoj a funkci nervového systému dítěte. Těhotné ženy, které konzumují významné množství TFA, jsou ohroženy hypertenzí vyvolanou těhotenstvím, preeklamsií a inzulinovou rezistencí (Jamioł-Milc et al. 2010).

Částečně ztužené tuky a oleje jsou ženami a dětmi konzumovány v poměrně značném množství. Konzumací TFA se těhotná žena vystavuje nebezpečí zvýšení hladiny lipoproteinů v krvi a snížené rezistenci vůči zánětům (Gashaw & Getasetegn 2018).

TFA jsou transportovány přes placentu a vylučovány do mateřského mléka z konzumované stravy nebo tukových zásob kojící ženy, v těle se přirozeně netvoří (Ratnayake et al. 2014). Existující důkazy ukazují, že pokud těhotné matky konzumují TFA denně, budou tyto látky začleněny do mozkových buněk dítěte. To může nadále ovlivnit i psychický vývoj dítěte (Trevizol et al. 2015). Příjem TFA těhotnými ženami způsobuje také oxidační poškození mozkových buněk dětí (Pase et al. 2013).

V ČR nebylo provedeno mnoho výzkumů mapujících obsah TFA v tuku mateřského mléka. Dlouhý et al. (2008) provedli studie, kde zjišťovali obsah tuku a složení TFA v kolostru u kojících žen. Průměrný celkový obsah TFA v mateřském mléčném tuku byl 4,22 % z celkového obsahu MK (Dlouhý et al. 2008).

Studie z roku 2018 (Bischofová et al.) ukazují, že průměrný obsah TFA v mateřském mléce činil 0,9 g/100 g tuku mateřského mléka, což je cca 3-4 x méně v porovnání s výsledky předchozích studií (Dlouhý et al. 2008).

Všechny výše uvedené studie dospěly k závěru, že ženy by měly během těhotenství a kojení přijímat ve vyšším množství rybí olej, aby ochránily mozek dítěte před oxidačním poškozením, poškozením paměti a psychického vývoje dítěte.

3.3.4.5 Účinky na diabetes

Diabetes mellitus (cukrovka) je skupina endokrinních nemocí spojených s poruchou metabolismu sacharidů v důsledku absolutního nebo relativního nedostatku inzulínu. Z provedených studií o vztahu mezi konzumací tuku v potravě a rizikem diabetu 2.typu

vyplývá, že zatímco příjem iTFA toto riziko zvyšuje, naopak příjem PUFA riziko diabetu 2. typu snižuje (Salmerón et al. 2001).

Co se týče rTFA, nedávný přehled klinických studií, které provedli Poudyal a Brown (2015), uvádí, že rTFA nemají negativní účinek na diabetes 2. typu. Přesněji řečeno, *trans*-vaskenová kyselina má neutrální účinek a CLA pomáhá při léčbě diabetu, protože má schopnost normalizovat metabolismus glukózy, díky zlepšení inzulinové senzitivity u diabetiků 2. typu (Zbikowska 2010; Poudyal & Brown 2015; Tremblay & Rudkowska 2017).

3.3.4.6 Účinky na obezitu

Obezita je výsledek nadměrného množství tělesného tuku, který může být zdraví škodlivý. Podle kritérií WHO je u dospělých definována indexem tělesné hmotnosti (BMI) vyšším než 30. Epidemiologické studie poskytují přesvědčivý důkaz, že tuk ve stravě hraje roli při vývoji a léčbě obezity. S větším příjmem iTFA se zvyšuje riziko vzniku obezity. Snižením příjmu TFA se snižuje celkový příjem energie. Zvýšením výdaje energie (pohybem, fyzickou námahou) se snižuje náchylnost k obezitě. Tato efektivní strategie by měla pomoci překonat epidemii obezity na celém světě (Bray & Popkin 1998). Podle údajů z roku 2016 mělo nadváhu asi 41 milionů dětí mladších 5 let, 340 milionů dětí a dospívajících ve věku 5 až 19 let, 39 % dospělých nad 18 let (WHO 2020).

Naproti tomu, CLA, přirozeně tvořená TFA, má antiobézní účinek u zvířat, kterým je přisuzován vliv CLA na zvýšení lipolýzy a β -oxidace v adipocytech a snížení syntézy mastných kyselin v játrech. CLA rovněž zvyšovala β -oxidaci mastných kyselin ve svalích a tukové tkáni a ve výdeji energie u laboratorních potkanů. Ukázalo se, že vyšší hladiny CLA v organismu jsou bariérou proti proniknutí jiných MK do tukových buněk, tzn. zabraňují ukládání tuku v podkožních vrstvách, a dokonce jsou přiváděny do svalů prostřednictvím tělních tekutin, kde se využívají jako zdroj energie pro fyzickou činnost. CLA zároveň urychluje metabolismus, jelikož zvyšuje spalování tuků (Koba & Yanagita 2014). Výsledky studií jsou však v otázce snižování množství tělesného tuku pomocí CLA u lidí nejednotné, jelikož jsou ovlivněny různými faktory jako dávka CLA, délka studie a stupeň obezity. Důkazy pozitivního vlivu konzumace CLA na množství tělesného tuku existují u lidí s nadváhou a obezitou. Tento pozitivní efekt je připisován zejména izomeru C18:2 Δ 10-*trans*, 12-*cis*. Dávka potřebná k dosažení účinku je 1,7 – 6,8 g celkové CLA za den a 2,6 g izomeru C18:2 Δ 10-*trans*, 12-*cis*. Je však nutno poznamenat, že efekt CLA má slabý účinek na snížení množství tělesného tuku (Zbikowska 2010). Podle jiných autorů byla redukce hmotnosti dosažena při denní dávce 3,4 g CLA (směs C18:2 Δ 9-*cis*, 11-*trans* a Δ 10-*trans*, 12-*cis* v poměru 1:1) (Blankson et al. 2000).

Bylo zjištěno, že antiobézní účinek CLA může být umocněn, pokud je kombinována se sójovou bílkovinou, sezaminem a pikolinátem chromitým, který je nutný pro správný metabolismus tuků a sacharidů (Koba & Yanagita 2014).

3.3.5 Doporučený příjem

Podle WHO většina zdravotně rizikových faktorů souvisí s výživou. V pořadí závažnosti jsou to: nadbytečný příjem soli, vysoký příjem alkoholu, nevhodné složení tuku, vysoký příjem energie a nedostatečný příjem ovoce a zeleniny. Nesprávná výživa má významný vliv na řadu onemocnění člověka, které zvyšují riziko jeho předčasného úmrtí (WHO 2015).

TFA neplní žádné životně důležité funkce v lidském organismu, a ve stravě pro ně není fyziologická potřeba. Vědecké stanovisko Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA) o TFA uvádí, že „příjem TFA by měl být co nejnižší v rámci výživy člověka“ (European Food Safety Authority 2010). Toto stanovisko je založeno na zdravotních důsledcích spotřeby TFA, ale také na úvahách, že existuje limit, na který může být snížen příjem TFA, aniž by byl ohrožen příjem esenciálních mastných kyselin a jiných živin (např. pocházejících z mléčných výrobků nebo masa přežvýkavců). Tabulka 6 uvádí zveřejněná doporučení organizací týkající se denního příjmu TFA v potravě (Mouratidou et al. 2014).

Tabulka 6: Dietní doporučení na příjem *trans*-mastných kyselin pro dospělé od vybraných organizací (Mouratidou et al. 2014).

Organizace vydávající doporučení	Rok vydání	Doporučení pro příjem TFA
Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA)	2017	Co nejnižší
Světová zdravotnická organizace (WHO) / Organizace pro výživu a zemědělství (FAO)	2003	< 1 % energie
Výbor pro lékařské aspekty potravin a výživovou politiku, Spojené Království (COMA)	1991	< 2 % energie
Německá společnost pro výživu (GNS), Rakouská společnost pro výživu, Švýcarská společnost pro výzkum výživy (SGE) a Švýcarská společnost pro výživu (SVE)	2008	< 1 % energie
Francouzský úřad pro bezpečnost potravin (AFSSA)	2001	< 2 % energie
Nizozemská zdravotní rada	2001	Co nejnižší
Ministerstvo zdravotnictví a sociálních služeb USA / Ministerstvo zemědělství USA	2005	Co nejnižší
Severská rada	2012	Co nejnižší

Doporučení pro podporu imunity a zachování zdravého stavu dospělého člověka (Liu et al. 2007; WHO 2015; Gashaw & Getasetegn 2018):

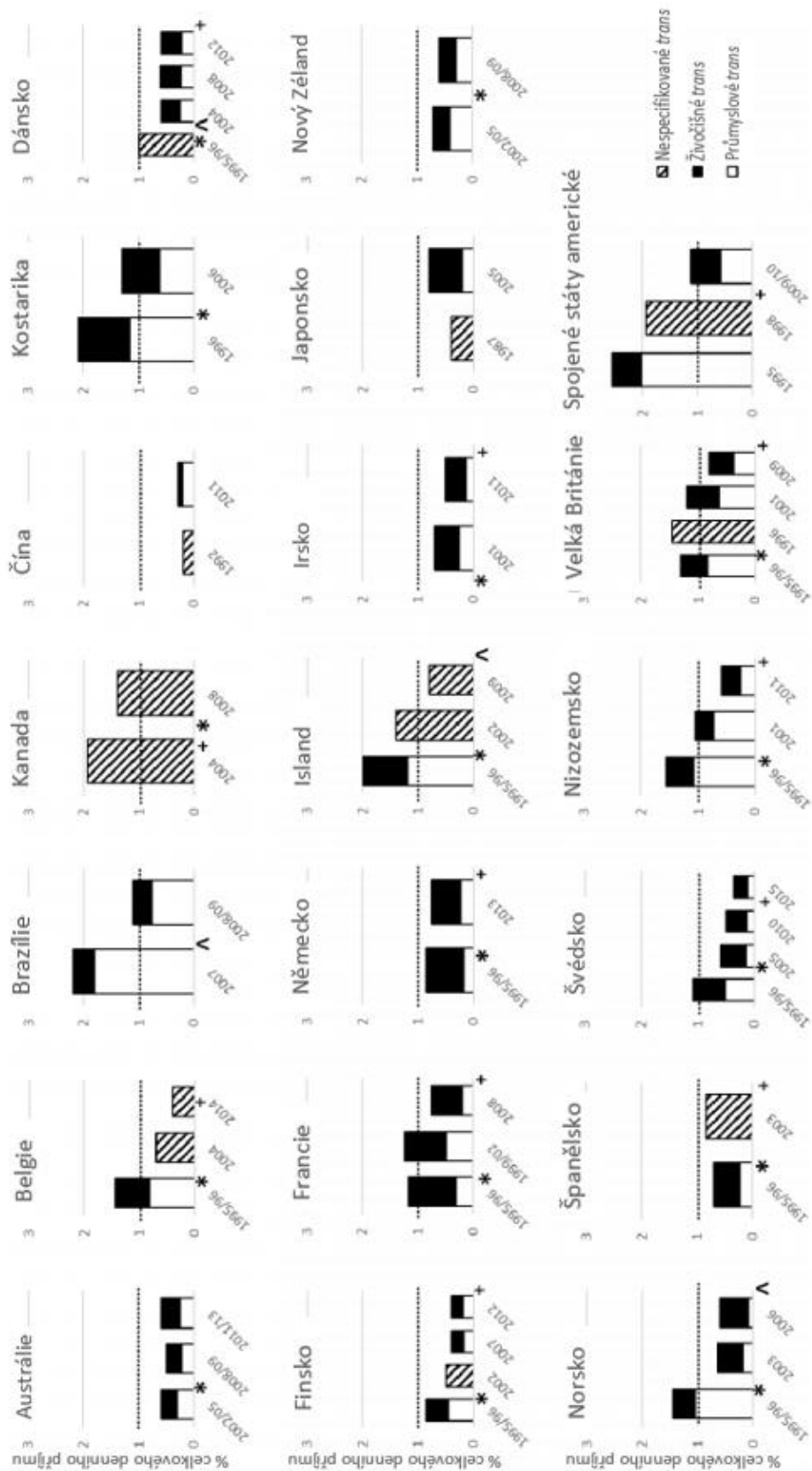
- snížení příjmu tuků na 30 % celkového denního příjmu;
- poměr SFA : MUFA : PUFA by měl tvořit 1 : 1,4 : 0,6 celkového příjmu tuků;
- poměr mastných kyselin řady ω -6 : ω -3 maximálně 5:1;
- příjem TFA by měl být co nejnižší a neměl by překročit 2 % z celkového energetického příjmu podle evropských norem;

- snížení příjmu živočišných tuků a zvýšení příjmu rostlinných tuků (zejména řepkového a olivového oleje nejlépe bez tepelné úpravy);
- omezení příjmu potravin obsahujících kokosový tuk, palmojádrový tuk a palmový olej;
- nahrazení smažení dušením nebo vařením;
- důkladně sledovat druhy tuků na výrobcích.

3.3.6 Spotřeba v různých zemích

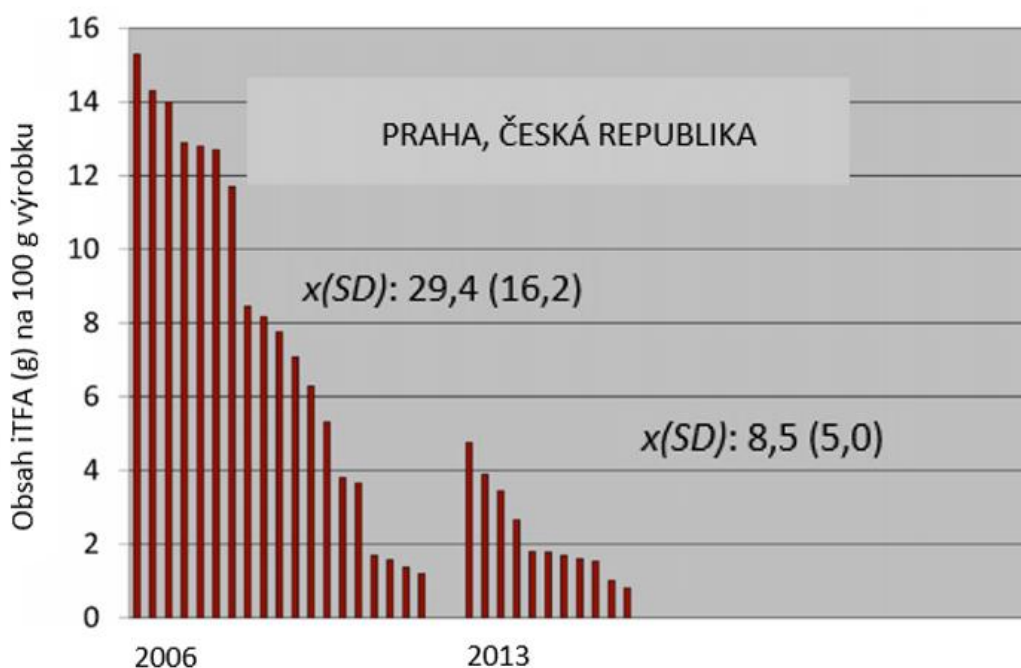
Podle studie, kterou provedli Wanders et al. (2017), kde zkoumali spotřebu TFA v 29 zemích ve světě bylo zjištěno, že se příjem TFA pohyboval od 0,3 do 4,2 % celkového příjmu energie. V 22 z 29 (76 %) zemí byl průměrný příjem TFA pod doporučením dle WHO, což je 1 % celkové energie. V době průzkumu vykázaly příjem *trans*-tuku nad 1 % energie např. Brazílie (2008/09), Kanada (2008), Kostarika (2006), Írán (2004), Libanon (2006), Portoriko (2010) a USA (2009/10).

U 20 zemí se po dobu dvou desetiletí sledoval časový trend, kde se ukázal výrazný pokles příjmu TFA. V sedmi zemích se průměrný příjem snížil z 1 % na méně než 1 % (viz Obrázek 15). Největší snížení bylo zaznamenáno v příjmu iTFA, i když v několika zemích došlo také ke snížení příjmu rTFA. Zavedení dobrovolných regulací od výrobců nebo povinných opatření od státu ke snížení obsahu *trans*-tuků v potravinách bylo v mnoha zemích spojeno se snížením příjmu TFA (Wanders et al. 2017).



Obrázek 15: Časové trendy příjmu *trans*-mastných kyselin a jejich zdrojů v populacích z 20 zemí (FAO/WHO 2010). Symboly na časové ose se vztahují k roku zavedení dobrovolných regulací (*), povinného označování (+) nebo povinných limitů (^) ke snížení příjmu tuků. Tečkované čáry představují maximální doporučenou úroveň příjmu *trans*-tuků

Stender et al. (2012) uvádí, že se v roce 1976 příjem TFA v zemích západní Evropy pohyboval kolem 6 g/den a v roce 1996 byl zaznamenán pokles na 2,6 g/den (v rozmezí 1,2 - 6,7 g/den), což představuje pokles o 78 %. Zároveň uvádí, že polovinu z příjmu TFA tvoří rTFA a kolem 1,3 g/den je přijímáno v podobě iTFA. Byl sledován obsah TFA v sušenkách, koláčích a oplatkách v České republice v roce 2005 a 2009 celkem v 56 vzorcích (v každém roce bylo hodnoceno 28 vzorků). V roce 2005 se průměrný obsah TFA ve vzorcích pohyboval kolem 5,4 g/100 g (v rozsahu 0,2-15,3 g/100 g), v roce 2009 klesl na 0,6 g/100 (a rozmezím 0,2-2,3 g/100 g). Ve studii z roku 2014 Stender et al. uvádí, že v roce 2013, došlo oproti roku 2006 k významnému poklesu obsahu iTFA v potravinách typu sušenky, koláče a oplatky (Stender et al. 2014). Graf pohybu obsahu iTFA ve sledovaných výrobcích z českých obchodů je zobrazen na Obrázku 16.



Obrázek 16: Množství iTFA v 100 g balených sušenek/koláčů/oplatek s více než 2% iTFA z celkového obsahu tuku. Výrobky byly nakoupeny ve třech supermarketech města v roce 2006 a 2013. Výrobky jsou řazené podle obsahu iTFA. $x(SD)$ je průměrná hodnota iTFA (%) celkového tuku sledovaných výrobků.

3.3.7 Opatření ke snížení spotřeby

Během posledního desetiletí země provedly různá politická opatření (včetně povinného a dobrovolného označování TFA, formulování vnitrostátních a místních limitů pro obsah TFA, zákaz používání částečně ztužených tuků apod.), jejichž cílem je omezit obsah TFA v potravinách a tím snížit příjem TFA v populaci. Několik zemí (např. Kanada, USA, Dánsko, Švýcarsko, Rakousko, Island, Norsko a další) ve skutečnosti prakticky vyloučilo industriální TFA z dodávek potravin prostřednictvím provádění systematických politických opatření a monitorovacích programů (World Health Organization 2018).

Světová zdravotnická organizace (WHO) v roce 2018 představila balíček opatření „REPLACE“. Ten slouží jako plán pro země k provádění opatření na snížení a odstranění iTFA a nastínila šest strategických oblastí činností na podporu rychlého, úplného a trvalého odstraňování iTFA z potravin.

RE (Review) – přehled zdrojů iTFA ve stravě a analýza současné situace z hlediska nezbytných politických změn;

P (Promote) – podpora nahrazení iTFA zdravějšími tuky a rostlinnými oleji;

L (Legislate) – schválení návrhů pro provádění regulačních opatření za účelem vyřazení částečně ztužených tuků;

A (Assess) - hodnocení a sledování obsahu TFA v potravinářských výrobcích a trendy jejich spotřeby obyvatelstvem;

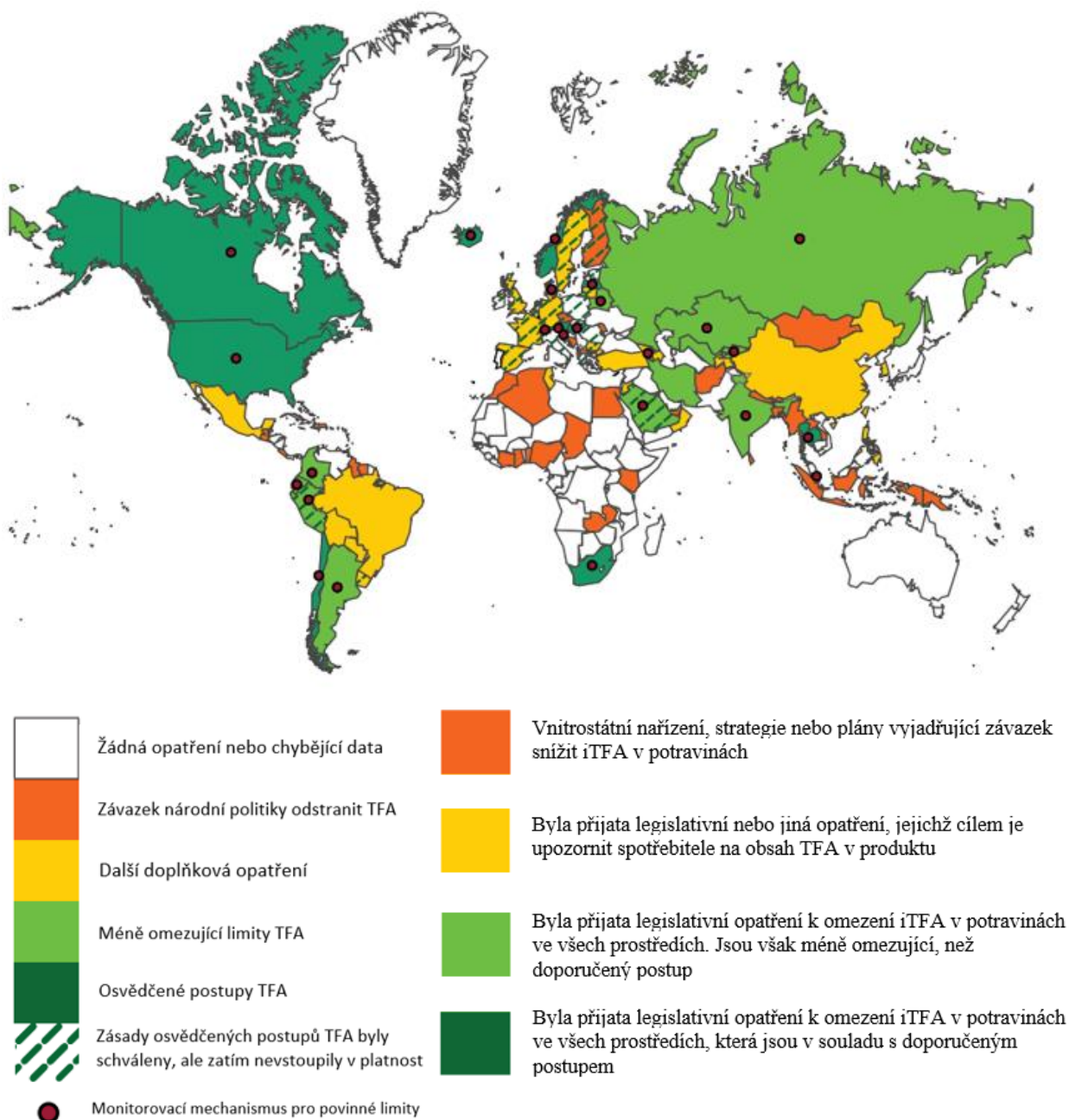
C (Create awareness) – tvoření propagace o negativních účincích TFA na zdraví mezi politiky, výrobci, dodavateli a veřejností;

E (Enforce) – kontrola dodržování zásad politiky a regulačních opatření.

Jedním ze způsobů snižování příjmu TFA je označování potravin informacemi o jejich obsahu, což v konečném důsledku umožní spotřebitelům vybrat si produkty s nízkým obsahem TFA. První země, která použila takové řešení, byla Kanada (Morin 2005). Povinnost označovat zpracované a balené potraviny vstoupila v platnost dne 1. ledna 2003 a vztahuje se na malé porce produktů, v nichž obsah TFA není vyšší než 0,2 g. Podle kanadského příkladu zavedly USA podobnou povinnost, podle níž by úroveň TFA neměla být vyšší než 0,5 g na porci. TFA musí být uvedena na etiketě konvenčních potravin a doplňků stravy na samostatném řádku bezprostředně pod řádkem obsahujícím informaci o obsahu SFA. Americký úřad pro kontrolu potravin a léčiv (Food and Drug Administration) se rozhodl nerozlišovat iTFA a rTFA, v důsledku toho jsou mléčné výrobky též označeny obsahem TFA (Zbikowska 2010).

Následně společnost Health Canada zakázala používání částečně hydrogenovaných olejů v potravinách od 17. září 2018. Zákaz vstoupil v platnost přidáním částečně hydrogenovaných olejů do seznamu kontaminantů a dalších znečišťujících látek v potravinách. Pro výrobce je nyní nezákonné přidávat částečně hydrogenované oleje do potravin prodávaných v Kanadě. To zahrnuje jak kanadské, tak dovážené potraviny, jakož i potraviny připravené ve všech provozovnách stravovacích služeb (Health Canada 2018).

Povinné limity pro obsah TFA v potravinách v současné době platí pro 2,4 miliardy lidí v 28 zemích (31 % světové populace v roce 2019). Další 24 zemí přijaly závazné limity TFA, které vstoupí v platnost v příštích dvou letech. Kromě toho má 26 zemí zavedena další doplňující opatření a 49 zemí má zavedenou vnitrostátní politiku, strategii nebo akční plán, který vyjadřuje závazek snížit obsah TFA v potravinách. U zbývajících 67 zemí nedochází k žádné akci nebo je stav neznámý (WHO 2019). Mapa níže (Obrázek 17) ukazuje stav řešení problematiky TFA v jednotlivých zemích, Tabulka 7 představuje stav omezení či vyloučení TFA z potravin v jednotlivých zemích.



* Vychází z údajů, které jsou současně době v GINA k dispozici ke dni 19. května 2019

Obrázek 17: Implementace výživové politiky související se snižováním obsahu TFA v potravinách ve světě (<https://extranet.who.int/nutrition/gina/en/scorecard/TFA>)

Tabulka 7: Stav v jednotlivých zemích ohledem povinných limitů pro TFA (WHO 2019)

Stav	Státy	Počet států
Závazek národní politiky odstranit TFA	Afghánistán, Albánie, Alžírsko, Bangladéš, Barbados, Belize, Benin, Bhútán, Bosna a Hercegovina, Kapverdy, Čad, Kostarika, Česko, Pobřeží slonoviny, Dominikánská republika, Egypt, Svazijsko, Fidži, Finsko, Ghana, Guatemala, Guyana, Indonésie, Jamajka, Keňa, Laos, Libanon, Maledivy, Malta, Mauricius, Mongolsko, Maroko, Myanmar, Nepál, Nigérie, Severní Makedonie, Papua-Nová Guinea, Moldavsko, Svatý Kryštof a Nevis, Svatá Lucie, Samoa, Seychely, Srí Lanka, Surinam, Východní Timor, Trinidad a Tobago, Spojené arabské emiráty, Vanuatu, Okupovaná palestinská území, Zambie	50
Další doplňková opatření	Ázerbájdžán, Belgie, Bolívie, Brazílie, Brunej, Bulharsko, Čína, Salvador, Francie, Gruzie, Německo, Řecko, Izrael, Jordánsko, Litva, Mexiko, Omán, Pákistán, Paraguay, Filipíny, Korejská republika, Španělsko, Švédsko, Tádžikistán, Tunisko, Turecko, Spojené království Velké Británie a Severního Irska	27
Méně omezující limity	Argentina, Arménie, Bahrajn, Bělorusko, Kolumbie, Ekvádor, Indie, Írán (Islámská republika), Kazachstán, Kuvajt, Kyrgyzstán, Peru, Ruská federace, Singapur, Švýcarsko, Uruguay, Uzbekistán	17
Osvědčené postupy odstranit TFA	Rakousko, Kanada, Chile, Dánsko, Guam, Maďarsko, Island, Lotyšsko, Severní Mariany, Norsko, Saúdská Arábie, Slovinsko, Jižní Afrika, Thajsko, Spojené státy americké	15
Zásady osvědčených postupů odstranění TFA, které byly schváleny, ale zatím nevstoupily v platnost	Belgie, Brazílie, Bulharsko, Chorvatsko, Kypr, Česko, Estonsko, Finsko, Francie, Německo, Řecko, Irsko, Itálie, Lichtenštejnsko, Litva, Lucembursko, Malta, Nizozemsko, Peru, Polsko, Portugalsko, Rumunsko, Slovensko, Španělsko, Švédsko, Spojené království Velké Británie a Severního Irska, Uruguay	27
Monitorovací mechanismus pro povinné limity TFA	Argentina, Arménie, Rakousko, Bělorusko, Kanada, Chile, Kolumbie, Dánsko, Ekvádor, Maďarsko, Island, Indie, Kazachstán, Kyrgyzstán, Lotyšsko, Norsko, Peru, Ruská federace, Saúdská Arábie, Singapur, Jihoafrická republika, Švýcarsko, Thajsko, Spojené Státy Americké, Uruguay	25

Dánsko jako první země v Evropě doporučilo omezení a postupné ukončení používání částečně ztužených tuků v potravinách. Od roku 2003 jsou v Dánsku hladiny TFA v potravinách regulovány příslušnými předpisy, podle kterých by iTFA, ty z částečně hydrogenovaných olejů, měly být omezeny na 2 % z celkového množství tuku nebo oleje přítomného v potravinách (Stender et al. 2006; Zbikowska 2010).

Evropská Unie

Komise Evropské Unie přijala nařízení, ve kterém ode dne 24. dubna 2019 platí změny v příloze III nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1925/2006 (látky, jejichž používání v potravinách je zakázáno, omezeno nebo podléhá přezkumu společenství), kde se jedná o iTFA.

Situace se vyvíjela následujícím způsobem:

Dne 4. prosince 2009 Evropský úřad pro bezpečnost potravin dospěl k závěru podle vědeckého stanoviska od Komise pro dietetické výrobky, výživu a alergie (NDA), že příjem TFA v rámci výživově vhodného stravování by měl být co nejnižší (EFSA 2010).

Dne 3. prosince 2015 přijala Komise zprávu o TFA, která připomněla, že ischemická choroba srdeční je hlavní příčinou úmrtí v Unii a zvýšený příjem TFA vážně zvyšuje riziko srdečních chorob. Na základě této zprávy se dospělo k závěru, že nejúčinnějším opatřením z hlediska veřejného zdraví a ochrany spotřebitelů by bylo stanovit pro iTFA legislativní omezení.

Následně (EFSA 2018) předložil závěry Komisi, že podle nejnovějších vnitrostátních i mezinárodních doporučení by dietární příjem TFA měl být co nejnižší.

Dne 15. května 2018 vyzvala Světová zdravotnická organizace k odstranění iTFA z globální nabídky potravin (World Health Organization 2018).

Poté byly TFA zařazeny do části B přílohy III nařízení (ES) č. 1925/2006 (Látky podléhající omezení), přičemž provozovatelé potravinářských podniků, kteří dodávají potraviny jiným provozovatelům potravinářských podniků, s výjimkou maloobchodníků, musí poskytovat informace o množství iTFA, pokud toto množství přesahuje 2 g na 100 g tuku. Obsah iTFA v potravinách určených pro konečného spotřebitele a v potravinách určených pro maloobchod nesmí překročit 2 g na 100 g tuku. Potraviny nevyhovující požadavkům tohoto nařízení se mohou uvádět na trh do 1. dubna 2021.

V České republice platí jeden limit. Je to úplný zákaz nabízení k prodeji nebo umístování reklamy na potraviny s obsahem částečně ztužených tuků ve školách a školských zařízeních (vyhláška MŠMT č. 282/2016 Sb., „o požadavcích na potraviny“).

4 Závěr

Tuky jsou důležitou součástí lidské stravy. Měly by tvořit 30–35 % příjmu celkové energie. Je však nutné rozlišovat a sledovat, o jaké tuky se jedná. Jednou ze složek tuků s negativním vlivem na lidské zdraví jsou *trans*-mastné kyseliny, zvláště TFA vyrobené částečnou hydrogenací (iTFA), které se nachází např. v cukrářských výrobcích (sušenky, koláče, mražené krémy, koblihy atd.), slaných výrobcích (brambůrky, hranolky, popcorn atd.), v instantních polévkách a také v pokrmech rychlého občerstvení.

Tyto mastné kyseliny mají negativní vliv na hladinu cholesterolu, což vede k negativnímu působení na lidské zdraví a mohou být jednou z příčin vzniku řady onemocnění, mezi které patří např. kardiovaskulární onemocnění, obezita, diabetes mellitus, nádorová onemocnění, a dokonce mají špatný vliv na vývoj plodu.

Trans-mastné kyseliny vzniklé biohydrogenací v batoru přežvýkavců nepůsobí tolik negativně, jednak kvůli tomu, že některé izomery (CLA) mají naopak příznivé účinky na lidský organismus, jednak protože se nepožívají v takovém množství jako iTFA.

V dnešní době se přijímá obezřetná politika omezující jejich spotřebu a obsah v různých potravinách. Světová zdravotnická organizace WHO navrhla řešení, balíček opatření „REPLACE“, který přivolává jak výrobce, tak spotřebitele ke snížení výroby a konzumace *trans*-nenasycených mastných kyselin a doporučuje průměrný denní příjem maximálně 1 % celkového energetického příjmu. V Evropské Unii se tato opatření také zavádí, a obsah TFA jiných, než přirozeně se vyskytujících nesmí překročit 2 g/100 g tuku. Díky těmto opatřením a doporučením od různých organizací se v současnosti ve většině zemí celého světa průměrný příjem TFA z potravin snížil pod 1 % celkového energetického příjmu.

5 Seznam literatury

- Aladedunye FA, Przybylski R. 2009. Degradation and nutritional quality changes of oil during frying. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society* **86**(2):149-156.
- Albert LL, Lehninger AL. 2005. *Lehninger principles of biochemistry* / David L. Nelson, Michael M. Cox. W. H. Freeman & Co., New York.
- Amine EK et al. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. World Health Organization, Geneva.
- Appleton JP, Sprigg N, Bath PM. 2016. Blood pressure management in acute stroke. *Stroke and Vascular Neurology* **1**(2):72-82.
- Aro A, Antoine JM, Pizzoferrato L, Reykdal O, Van Poppel G. 1998. TransFatty Acids in Dairy and Meat Products from 14 European Countries: The TRANSFAIR Study. *Journal of Food Composition and Analysis* **11**(2):150-160.
- Ascherio A, Katan MB, Zock PL, Stampfer MJ, Willett WC. 1999. Trans fatty acids and coronary heart disease **340**(25):1994-1998.
- Ascherio A, Willett WC. 1997. Health effects of trans fatty acids. *Page American Journal of Clinical Nutrition* **66**(4):1006S–1010S.
- Asgary S, Nazari B. 2008. Facts about trans fatty acids. *ARYA Atherosclerosis Journal* **4**(1).
- Baer DJ, Judd JT, Clevidence BA, Tracy RP. 2004. Dietary fatty acids affect plasma markers of inflammation in healthy men fed controlled diets: A randomized crossover study. *American Journal of Clinical Nutrition* **79**(6):969-973.
- Bahadoran Z, Karimi Z, Houshiar-rad A, Mirzayi HR, Rashidkhani B. 2013. Dietary phytochemical index and the risk of breast cancer: A case control study in a population of iranian women. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* **14**(5):2747-2751.
- Banni S. 2002. Conjugated linoleic acid metabolism. *Current Opinion in Lipidology* **13**(3):261-266.
- Barker N et al. 1997. Adipose fatty acids and cancers of the breast, prostate and colon: An ecological study. *International Journal of Cancer* **72**(4):587-591.
- Bassett CMC, Edel AL, Patenaude AF, McCullough RS, Blackwood DP, Chouinard PY, Paquin P, Lamarche B, Pierce GN. 2010. Dietary Vaccenic Acid Has Antiatherogenic Effects in LDLr^{-/-} Mice. *The Journal of Nutrition* **140**(1):18-24.
- Benatar JR. 2017. Does dairy food have effects on cardiovascular disease and cardiometabolic risk? Elsevier, Amsterdam.
- Bendsen NT, Christensen R, Bartels EM, Astrup A. 2011. Consumption of industrial and ruminant trans fatty acids and risk of coronary heart disease: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *European Journal of Clinical Nutrition* **65**:773-783.
- Bhardwaj S, Passi SJ, Misra A. 2011. Overview of trans fatty acids: Biochemistry and health effects. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews* **5**(3):161–164.
- Blankson H, Stakkestand JA, Fagertun H, Thom E, Wadstein J, Gundmudsen O. 2000. Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in overweight and obese humans. *Journal of Nutrition* **130**:2943-2948.
- Brandao I, Longhi R. 2016. Trans Fatty Acids, does Exist Safety Dosage? *Journal of Obesity & Weight Loss Therapy*. OMICS International, Los Angeles.

- Brát J. 2014. Jak poznáme kvalitu? TUKY a OLEJE. Česká technologická platforma pro potraviny, Praha.
- Bray GA, Popkin BM. 1998. Dietary fat intake does affect obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition* **68**(6):1157-73.
- Brouwer IA, Wanders AJ, Katan MB. 2010. Effect of animal and industrial Trans fatty acids on HDL and LDL cholesterol levels in humans - A quantitative review. *PLoS ONE* **5**(3):e9434.
- Brühl L. 2014. Fatty acid alterations in oils and fats during heating and frying. *European Journal of Lipid Science and Technology* **116**(6):707-715.
- Buchgraber M, Ulberth F. 2002. Determination of low level trans unsaturation in physically refined vegetable oils by capillary GLC - Results of 3 intercomparison studies. *European Journal of Lipid Science and Technology* **104**(12):792-799.
- Caggiula AW, Mustad VA. 1997. Effects of dietary fat and fatty acids on coronary artery disease risk and total and lipoprotein cholesterol concentrations: Epidemiologic studies. *Page American Journal of Clinical Nutrition* **65**(5):1597S–1610S.
- Clandinin MT, Cheema S, Field CJ, Garg ML, Venkatraman J, Clandinin TR. 1991. Dietary fat: exogenous determination of membrane structure and cell function. *The FASEB Journal* **5**(13):2761-2769.
- Coakley M, Johnson MC, McGrath E, Rahman S, Ross RP, Fitzgerald GF, Devery R, Stanton C. 2006. Intestinal bifidobacteria that produce trans-9, trans-11 conjugated linoleic acid: A fatty acid with antiproliferative activity against human colon SW480 and HT-29 cancer cells. *Nutrition and Cancer* **56**(1):95-102.
- De Roos NM, Bots ML, Katan MB. 2001. Replacement of dietary saturated fatty acids by trans fatty acids lowers serum HDL cholesterol and impairs endothelial function in healthy men and women. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* **21**(7):1233-1237.
- Degen C, Ecker J, Piegholdt S, Liebisch G, Schmitz G, Jahreis G. 2011. Metabolic and growth inhibitory effects of conjugated fatty acids in the cell line HT-29 with special regard to the conversion of t11,t13-CLA. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids* **1811**(12):1070-1080.
- Dhaka V, Gulia N, Ahlawat KS, Khatkar BS. 2011. Trans fats-sources, health risks and alternative approach - A review. *Journal of Food Science and Technology* **48**(5):534-41.
- Dhibi M, Brahmi F, Mnari A, Houas Z, Chargui I, Bchir L, Gazzah N, Alsaif MA, Hammami M. 2011. The intake of high fat diet with different trans fatty acid levels differentially induces oxidative stress and non alcoholic fatty liver disease (NAFLD) in rats. *Nutrition and Metabolism* **8**(1):65.
- Dilzer A, Park Y. 2012. Implication of Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Human Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **52**(6):488-513.
- Dlouhý P. 2008. Obsah trans-izomerů mastných kyselin v podkožním tuku a v tuku mateřského mléka jako ukazatele jejich příjmu [PhD. Thesis]. 3.lékařská fakulta University Karlovy, Praha.
- El Roz A, Bard JM, Huvelin JM, Nazih H. 2013. The anti-proliferative and pro-apoptotic effects of the trans9,trans11 conjugated linoleic acid isomer on MCF-7 breast cancer cells are associated with LXR activation. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids* **88**(4):265-272.
- European Food Safety Authority. 2010. Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids,

- trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal* **8**(3):1461.
- Expert Consultation. 2008. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO food and nutrition paper. 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Feldman EB, Kris-Etherton PM, Kritchevsky D, Lichtenstein AH. 1996. Position paper on trans fatty acids. *American Journal of Clinical Nutrition* **63**(5):663-670.
- Feller SE, Gawrisch K. 2005. Properties of docosahexaenoic-acid-containing lipids and their influence on the function of rhodopsin. *Current Opinion in Structural Biology* **15**(4):416-422.
- Field CJ, Blewett HH, Proctor S, Vine D. 2009. Human health benefits of vaccenic acid. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* **34**(5):979-991.
- Food labeling: trans fatty acids in nutrition labeling, nutrient content claims, and health claims. Final rule. 2003. *Federal register* **68**(133):41433-41506.
- Gandini S, Merzenich H, Robertson C, Boyle P. 2000. Meta-analysis of studies on breast cancer risk and diet: the role of fruit and vegetable consumption and the intake of associated micronutrients. *European Journal of Cancer* **36**(5):636-646.
- Ganguly R, Pierce GN. 2015. The toxicity of dietary trans fats. *Food and Chemical Toxicology* **78**:170-176.
- Gashaw A, Getasetegn M. 2018. Chemistry and health impacts of trans fatty acids. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy* **15**(2):159-169.
- Gebauer SK, Chardigny J-M, Jakobsen MU, Lamarche B, Lock AL, Proctor SD, Baer DJ. 2011. Effects of Ruminant trans Fatty Acids on Cardiovascular Disease and Cancer: A Comprehensive Review of Epidemiological, Clinical, and Mechanistic Studies. *Advances in Nutrition* **2**(4):332-354.
- Gertz C. 2000. Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. *European Journal of Lipid Science and Technology* **120**(8-9):566-572.
- Ghotra BS, Dyal SD, Narine SS. 2002. Lipid shortenings: A review. *Food Research International* **35**:1015-1048.
- Gray JI, Russell LF. 1979. Hydrogenation catalysts-Their effect on selectivity. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **56**(1):36-44.
- Han SN, Leka LS, Lichtenstein AH, Ausman LM, Schaefer EJ, Meydani SN. 2002. Effect of hydrogenated and saturated, relative to polyunsaturated, fat on immune and inflammatory responses of adults with moderate hypercholesterolemia. *Journal of Lipid Research* **43**(3):445-52.
- Holmes MD, Willett WC. 2004. Does diet affect breast cancer risk? *Breast Cancer Research* **6**(4):170-178.
- Hotamisligil GS. 2005. Role of endoplasmic reticulum stress and c-Jun NH₂-terminal kinase pathways in inflammation and origin of obesity and diabetes. *Diabetes* **54**(2):S73-78.
- Iqbal MP. 2014. Trans fatty acids - A risk factor for cardiovascular disease. *Pakistan Journal of Medical Sciences* **30**(1):194-197.
- Jamioł-Milc D, Stachowska E, Chlubek D. 2010. [Effects of dietary trans fatty acids in pregnancy and lactation]. *Annales Academiae Medicae Stetinensis* **56**(1):21-27.
- Jemal A, Siegel R, Xu J, Ward E. 2010. *Cancer Statistics, 2010*. CA: A Cancer Journal for

- Clinicians **60**(5):277-300.
- Kelley NS, Hubbard NE, Erickson KL. 2007. Conjugated Linoleic Acid Isomers and Cancer. *The Journal of Nutrition* **137**(12):2599-2607.
- Koba K, Yanagita T. 2014. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obesity Research and Clinical Practice* **8**(6):e525-532.
- Kohlmeier L et al. 1997. Adipose tissue trans fatty acids and breast cancer in the European Community Multicenter Study on Antioxidants, myocardial infarction, and breast cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention* **6**(9):705-710.
- Koletzko B, Decsi T. 1997. Metabolic aspects of trans fatty acids. *Clinical Nutrition* **16**(5):229-237.
- Laake I, Carlsen MH, Pedersen JI, Weiderpass E, Selmer R, Kirkhus B, Thune I, Veierød MB. 2013. Intake of trans fatty acids from partially hydrogenated vegetable and fish oils and ruminant fat in relation to cancer risk. *International Journal of Cancer* **132**(6):1389-1403.
- Lehnen TE, da Silva MR, Camacho A, Marcadenti A, Lehnen AR. 2015. A review on effects of conjugated linoleic fatty acid (CLA) upon body composition and energetic metabolism. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* **12**:36.
- Lichtenstein AH. 2014. Dietary trans fatty acids and cardiovascular disease risk: Past and present. *Current Atherosclerosis Reports* **16**(8):433.
- Liu WH, Stephen Inbaraj B, Chen BH. 2007. Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating. *Food Chemistry* **104**(4):1740–1749.
- Longhi R. 2019. *Trans fatty acid in the liver and central nervous system*. Elsevier, London.
- Longhi R, Almeida RF, Machado L, et al. 2017. Effect of a trans fatty acid-enriched diet on biochemical and inflammatory parameters in Wistar rats. *European Journal of Nutrition* **56**(3):1003–16.
- Loor JJ, Herbein JH. 2003. Dietary canola or soybean oil with two levels of conjugated linoleic acids (CLA) alter profiles of 18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat from dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* **103**(1):63-83.
- Lopez-Garcia E, Schulze MB, Meigs JB, Manson JE, Rifai N, Stampfer MJ, Willett WC, Hu FB. 2005. Consumption of Trans Fatty Acids Is Related to Plasma Biomarkers of Inflammation and Endothelial Dysfunction. *The Journal of Nutrition* **135**(3):562-566.
- Martin CA, Milinsk MC, Visentainer J V., Matsushita M, De-Souza NE. 2007. Trans fatty acid-forming processes in foods: A review. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* **79**(2):343-350.
- Matthan NR, Cianflone K, Lichtenstein AH, Ausman LM, Jauhiainen M, Jonest PJH. 2001. Hydrogenated fat consumption affects acylation-stimulating protein levels and cholesterol esterification rates in moderately hypercholesterolemic women. *Journal of Lipid Research* **42**(11):1841-1848.
- Mensink RP, Zock PL, Kester ADM, Katan MB. 2003. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: A meta-analysis of 60 controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition* **77**(5):1146-1155.
- Michels KB, Mohllajee AP, Roset-Bahmanyar E, Beehler GP, Moysich KB. 2007. Diet and breast cancer: A review of the prospective observational studies. *Cancer* **109**(12):2712-2749.
- Morin O. 2005. Trans fatty acids: New developments. *OCL - Oleagineux Corps Gras Lipides*

7:95–98.

- Mosley E. E. et al. 2005. Trans Fatty acids in milk produced by women in the United States. *The American Journal of Clinical Nutrition* **82**:1292-1297.
- Motard-Bélanger A, Charest A, Grenier G, Paquin P, Chouinard Y, Lemieux S, Couture P, Lamarche B. 2008. Study of the effect of trans fatty acids from ruminants on blood lipids and other risk factors for cardiovascular disease. *American Journal of Clinical Nutrition* **87**(3):593-599.
- Mouratidou T, Livaniou A, Saborido CM, Wollgast J, Caldeira S. 2014. Trans fatty acids in Europe: where do we stand? A synthesis of the evidence: 2003-2013. European Union, Luxemburg.
- Moya Moreno MCM, Mendoza Olivares D, Amézquita López FJ, Gimeno Adelantado J V., Bosch Reig F. 1999. Determination of unsaturation grade and trans isomers generated during thermal oxidation of edible oils and fats by FTIR. *Journal of Molecular Structure* **482–483**:551-556.
- Mozaffarian D. 2016. Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity **133**(2):187-225.
- Mozaffarian D, Aro A, Willett WC. 2009. Health effects of trans-fatty acids: Experimental and observational evidence. *European Journal of Clinical Nutrition*.
- Mozaffarian D, Katan MB, Ascherio A, Stampfer MJ, Willett WC. 2006. Trans fatty acids and cardiovascular disease. *The New England Journal of Medicine* **354**(15):1601-1613.
- Mozaffarian D, Ludwig DS. 2015. The 2015 US dietary guidelines: Lifting the ban on total dietary fat. *JAMA* **313**(24):2421-2422.
- Mozaffarian D, Rimm EB, King IB, Lawler RL, McDonald GB, Levy WC. 2004. trans Fatty acids and systemic inflammation in heart failure. *American Journal of Clinical Nutrition* **80**(6):1521–1525.
- Mueller A. et al. 2010. Trans Fatty acids in Human Milk are an Indicator of Different Maternal Dietary Sources Containing Trans Fatty Acids. *Lipids* **45**:245-251.
- O'Donnell-Megaró AM, Barbano DM, Bauman DE. 2011. Survey of the fatty acid composition of retail milk in the United States including regional and seasonal variations. *Journal of Dairy Science* **94**(1):59-65.
- OECD/European Observatory on Health Systems and Policies (2017), Česká republika: zdravotní profil země 2017, State of Health in the EU, OECD Publishing, Paris/European Observatory on Health Systems and Policies, Brussels.
- Pase CS et al. 2013. Influence of perinatal trans fat on behavioral responses and brain oxidative status of adolescent rats acutely exposed to stress. *Neuroscience* **247**:242-252.
- Pitřha J, Poledne R. 2009. *Zdravá výživa pro každý den: Fórum zdravé výživy*. Grada, Praha.
- Poudyal H, Brown L. 2015. Should the pharmacological actions of dietary fatty acids in cardiometabolic disorders be classified based on biological or chemical function? *Progress in Lipid Research* **59**:172–200.
- Rakib MA, Kim YS, Jang WJ, Jang JS, Kang SJ, Ha YL. 2011. Preventive effect of t,t-conjugated linoleic acid on 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate-induced inhibition of gap junctional intercellular communication in human mammary epithelial MCF-10A cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **59**(8):4164-4170.
- Ratnayake W. M. N. et al. 2014. Mandatory trans fat labeling regulations and nationwide product reformulations to reduce trans fatty acid content in foods contributed to lowered

- concentrations of trans fat in Canadian women's breast milk samples collected in 2009–2011. *The American Journal of Clinical Nutrition* **100**:1036-1040.
- Ríbllová Z, Peprná T. 2013. Představují tuky a oleje po smažení zdravotní riziko? *Chemické listy* **107**:271-276.
- Rédei GP. 2008. *Encyclopedia of Genetics, Genomics, Proteomics and Informatics*. Springer, London.
- Rissanen H, Knekt P, Järvinen R, Salminen I, Hakulinen T. 2003. Serum fatty acids and breast cancer incidence. *Nutrition and Cancer* **45**(2):168-75.
- Roach C, Feller SE, Ward JA, Shaikh SR, Zerouga M, Stillwell W. 2004. Comparison of cis and trans fatty acid containing phosphatidylcholines on membrane properties. *Biochemistry* **43**(20):6344-6051.
- Robert J, Marchesini S, Delessert S, Poirier Y. 2005. Analysis of the β -oxidation of trans-unsaturated fatty acid in recombinant *Saccharomyces cerevisiae* expressing a peroxisomal PHA synthase reveals the involvement of a reductase-dependent pathway. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids* **1734**(2):169-177.
- Salmerón J, Hu FB, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz GA, Rimm EB, Willett WC. 2001. Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women. *American Journal of Clinical Nutrition* **73**(6):1019–1026.
- Samur G. et al. 2009. Trans Fatty Acids and Fatty Acid Composition of Mature Breast Milk in Turkish Women and Their Association with Maternal Diet's. *Lipids* **44**:405-413.
- Scientific and technical assistance on trans fatty acids. 2018. EFSA Supporting Publications.
- Semma M. 2002. Trans fatty acids: Properties, benefits and risks. *Journal of Health Science*, **48**(1):7–13.
- Stender S, Astrup A, Dyerberg J. 2008. Ruminant and industrially produced trans fatty acids: Health aspects. *Food and Nutrition Research* **52**(1):1651.
- Stender S, Dyerberg J, Astrup A. 2006. High levels of industrially produced trans fat in popular fast foods. *The New England Journal of Medicine* **354**(15):1650-1652.
- Stender A, Astrup A, Deyrberg J. 2012. A trans European Union difference in the decline in trans fatty acid in popular foods: a market basket investigation. *BMJ Open* **2**(5):e000859.
- Stender S, Astrup A, Dyerberg J. 2014. Tracing artificial trans fat in popular foods in Europe: a market basket investigation. *BMJ Open* **4**(5):e005218.
- Szabó E. et al. 2010. Fatty Acid Profile Comparisons in Human Milk Sampled From the Same Mothers at the Sixth Week and the Sixth Month of Lactation. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* **50**(3):316-320.
- Tholstrup T, Raff M, Basu S, Nonboe P, Sejrsen K, Straarup EM. 2006. Effects of butter high in ruminant trans and monounsaturated fatty acids on lipoproteins, incorporation of fatty acids into lipid classes, plasma C-reactive protein, oxidative stress, hemostatic variables, and insulin in healthy young men. *American Journal of Clinical Nutrition* **83**(2):237–243.
- Tremblay BL, Rudkowska I. 2017. Nutrigenomic point of view on effects and mechanisms of action of ruminant trans fatty acids on insulin resistance and type 2 diabetes. *Nutrition Reviews* **75**(3):214-223.
- Trevizol F et al. 2015. Cross-generational trans fat intake facilitates mania-like behavior: Oxidative and molecular markers in brain cortex. *Neuroscience* **286**(12):353-363.
- van Tol A, Zock PL, van Gent T, Scheek LM, Katan MB. 1995. Dietary trans fatty acids increase

- serum cholesterylester transfer protein activity in man. *Atherosclerosis* **115**(1):129-134.
- Vanden Heuvel JP. 2004. Diet, fatty acids, and regulation of genes important for heart disease. *Current Atherosclerosis Reports* **6**(6):432-440.
- Velíšek J, Hajšlová J. 2009. *Chemie potravin I*. Osis, Tábor.
- Voorrips LE, Brants HAM, Kardinaal AFM, Hiddink GJ, Van Den Brandt PA, Alexandra Goldbohm R. 2002. Intake of conjugated linoleic acid, fat, and other fatty acids in relation to postmenopausal breast cancer: The Netherlands Cohort Study on Diet and Cancer. *American Journal of Clinical Nutrition*.
- Vyas AP, Verma JL, Subrahmanyam N. 2010. A review on FAME production processes.
- Wanders AJ, Zock PL, Brouwer IA. 2017. Trans fat intake and its dietary sources in general populations worldwide: A systematic review. *Nutrients* **9**(8):840.
- Wang Y, Jacome-Sosa MM, Proctor SD. 2012. The role of ruminant trans fat as a potential nutraceutical in the prevention of cardiovascular disease. *Food Research International* **46**:460-468.
- Weggemans RM, Rudrum M, Trautwein EA. 2004. Intake of ruminant versus industrial trans fatty acids and risk of coronary heart disease - What is the evidence? *European Journal of Lipid, Science and Technology* **106**(6):390-397.
- WHO. 2015. Obesity and overweight Key facts. World Health Organisation. Available from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (accessed April 2020).
- WHO. 2017. Cardiovascular diseases (CVDs). World Health Organisation. Available from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (accessed May 2017).
- Willett WC. 2006. Trans fatty acids and cardiovascular disease-epidemiological data. *Atherosclerosis Supplements* **7**(2):5-8.
- Wolff RL. 2003. Are trans isomers of α -linolenic acid of nutritional significance for certain populations? *Lipids* **37**(12):1147-1148.
- Yang B, Chen H, Stanton C, Ross RP, Zhang H, Chen YQ, Chen W. 2015. Review of the roles of conjugated linoleic acid in health and disease. *Journal of Functional Foods* **15**:314-325.
- Yurawecz MP. 2004. FDA requires mandatory labeling of trans fat. *INFORM - International News on Fats, Oils and Related Materials* **15**(3):184-185.
- Zbikowska A. 2010. Formation and properties of trans fatty acids - A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **60**(2):107-114.