

# **Aplikace termických metod v potravinářské technologii**

Veronika Spáčilová

---

Bakalářská práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Veronika Spáčilová**  
Osobní číslo: **T17486**  
Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Aplikace termických metod v potravinářské technologii**

### Zásady pro vypracování

Teoretická část

1. Metody termické analýzy.
2. Termodynamický přístup, teplo a energie.
3. Termo-fyzikální vlastnosti potravin.
4. Termické přechody při tepelném zpracování potravin.
5. Termická difuzivita, konduktivita.
6. Kalorické hodnoty potravin.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] SUN, Da-Wen. Thermal food processing: new technologies and quality issues. Boca Raton: CRC/Taylor Francis, 2006, 640 p. Food science and technology. ISBN 9781420027372.
- [2] RICHARDSON, Philip. Thermal technologies in food processing. Cambridge: Woodhead, 2001, 294 s. Woodhead Publishing in food science and technology. ISBN 9781855735583.
- [3] LUDGER, O., TEIXEIRA, Arthur., A. Food Physics. Physical Properties? Measurement and Applications. 2007, Springer. Berlin, Heidelberg, New York. ISBN 978-3-540-34191-8.
- [4] SLOBODIAN, Petr. Termická analýza materiálů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 153 s. ISBN 9788074544033.
- [5] RAEMY, A., LAMBELET, P. Thermal behaviour of foods. Thermochemica acta, Vol. 193, 1991, Pages 417-439, ISSN 0040-6031.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Mgr. Barbora Lapčíková, Ph.D.**  
Ústav technologie potravin

Datum zadání bakalářské práce: **17. února 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

---

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

---

**doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
Podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je zaměřit se na jednotlivé metody termické analýzy. Zkoumáním termo-fyzikálních vlastností potravin je možné přiblížit vliv teploty na tuky, bílkoviny a sacharidy, které tvoří hlavní složku potravin. Kvalitativně a kvantitativně jsou popsány tepelné přechody, které je možné využít u zpracování potravin. Jako je pečení, odpařování, sušení aj.

Klíčová slova: termické metody, zpracování potravin

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is to focus on individual methods of thermal analysis. By examining the thermo-physical properties of food, it is possible to approximate the effect of temperature on fats, proteins and carbohydrates, which are the main component of food. Thermal transition that can be used in food processing are described. Such as baking, evaporation, drying, etc.

Keywords: thermal methods, food processing

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí bakalářské práce paní doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D. za cenné rady a trpělivost při vedení bakalářské práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TERMICKÁ ANALÝZA</b> .....	<b>10</b>
1.1 ÚVOD .....	10
1.2 HISTORIE .....	11
<b>2 METODY TERMICKÉ ANALÝZY</b> .....	<b>13</b>
2.1 MĚŘENÍ TERMICKÉ ANALÝZY .....	14
2.2 DIFERENČNÍ TERMICKÁ ANALÝZA DTA .....	15
2.2.1 Přístroje DTA .....	16
2.2.2 DTA termoanalytická křivka .....	16
2.3 TERMOGRAVIMETRIE TG .....	17
2.3.1 Termováhy .....	17
2.3.2 Termogravimetrická křivka .....	18
2.4 DIFERENČNÍ KOMPENZAČNÍ KALORIMETRIE DSC .....	19
2.4.1 Přístroje diferenční kompenzační kalorimetrie .....	20
2.4.2 DSC křivka .....	20
2.5 TERMOMECHANICKÁ ANALÝZA TMA A TERMODILATOMETRIE TD .....	21
2.6 ANALÝZA UVOLNĚNÝCH PLYNŮ EGA .....	22
<b>3 TERMODYNAMIKA</b> .....	<b>23</b>
3.1 TERMODYNAMICKÉ DĚJE .....	24
3.2 TEPLO A ENERGIE .....	24
<b>4 TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ POTRAVIN</b> .....	<b>26</b>
4.1 PEČENÍ A SMAŽENÍ .....	26
4.2 ODPAŘOVÁNÍ .....	26
4.3 SUŠENÍ .....	26
4.3.1 Sušení pomocí vzduchu .....	27
4.3.2 Kontaktní sušení .....	27
4.3.3 Sublimační sušení .....	27
4.4 PASTERACE A STERILACE .....	27
4.4.1 Pasterace .....	27
4.4.2 Sterilace .....	27
4.5 BLANŠÍROVÁNÍ .....	27
<b>5 TERMOFYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI POTRAVIN</b> .....	<b>29</b>
5.1 MĚRNÁ ENTALPIE .....	29
5.2 MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA .....	29
5.3 METODY STANOVENÍ MĚRNÉ TEPELNÉ KAPACITY .....	30
5.3.1 Směšovací kalorimetr .....	30
5.3.2 Blackův kalorimetr .....	30
5.3.3 Bunsenův kalorimetr .....	30
5.3.4 Elektrický kalorimetr .....	30
5.4 TERMICKÁ ANALÝZY V POTRAVINÁŘSTVÍ .....	31
5.4.1 Proteiny .....	31

5.4.2	Sacharidy.....	32
5.4.3	Lipidy.....	32
<b>6</b>	<b>TERMICKÁ KONDUKTIVITA A DIFUZITIVA .....</b>	<b>33</b>
6.1	TERMICKÁ KONDUKTIVITA .....	33
6.2	TERMICKÁ DIFUZIVITA .....	34
6.3	VLIV TEPLA NA TERMICKOU KONDUKTIVITU A DIFUZIVITU.....	35
<b>7</b>	<b>KALORICKÉ HODNOTY POTRAVIN .....</b>	<b>36</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>38</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>39</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>44</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>46</b>



## ÚVOD

Metody termické analýzy patří mezi experimentální analytické metody, které jsou v dnešní době hojně využívány jak ve výrobě, tak ve výzkumu. Pomocí termické analýzy jsme schopni sledovat fyzikální i chemické vlastnosti potravin, které jsou závislé na teplotě a čase. Během zahřívání nebo ochlazování určitého vzorku dochází k řadě procesů, které je možné za pomoci těchto metod sledovat. Těmito procesy mohou být krystalizace, dehydratace, změna elektrické vodivosti či uvolňování nebo pohlcování tepla. Použitím metod termické analýzy jsme schopni zjistit ideální podmínky pro skladování, dopravu nebo technologický postup výroby. Hlavními procesy, které jsou využívány v potravinářství jsou termogravimetrie a diferenční kompenzační kalorimetrie.

# 1 TERMICKÁ ANALÝZA

## 1.1 Úvod

Termická analýza je definována jako experimentální analytická metoda, během které dochází ke sledování fyzikálních vlastností látek v závislosti na čase nebo na teplotě. Zjednodušeně lze říci, že zobrazuje změny fyzikálně chemických vlastností sledované látky během ohřevu. Metody, které spadají do termické analýzy, jsou schopny zkoumat vlastnosti systému jako dynamickou funkci teploty. Mezi tyto vlastnosti lze zařadit hmotnost, energii, rozměr či vodivost.

Základním jevem, který je nepostradatelný pro metody termické analýzy je změna entalpie ( $\Delta H$ ). Entalpie vyjadřuje míru energie, která je uložena v termodynamickém systému. Každou látku je možné charakterizovat obsahem volné entalpie ( $G$ ), která je dána výrazem:

$$G = H - TS$$

kde:

$H$  je entalpie,  $T$  je absolutní teplota,  $S$  je entropie.

Každý systém při určité teplotě je schopen dosáhnout takového stavu, který je srovnatelný v nižším obsahem volné entalpie. Jako příklad lze uvést přechod látky z jedné krystalické formy do druhé, která má při určité teplotě nižší obsah volné entalpie. Z toho vyplývá, že je i stálější. Pokud chceme vytvořit stabilnější krystalickou strukturu nebo stav látky, která má hodnotu volné entalpie nižší, lze využít i jednotlivé mezistupně, kterých lze dosáhnout při ohřevu vzorku. Mezi tyto přeměny je možné zařadit tání, var, sublimaci, krystalickou přeměnu, chemickou reakci aj. Jednotlivé přeměny jsou vyznačovány změnou entalpie a teplotou[1].

Během procesu termické analýzy dochází ke sledování příslušného vzorku, který je zahříván či ochlazován. Jednotlivé fyzikální změny jsou zaznamenávány na křivce jako funkce teploty termické analýzy. Avšak je nutné dodržet určité podmínky, aby metoda byla účinná:

- a) teplota daného vzorku a jeho fyzikální vlastnosti by měly být nepřetržitě registrovány
- b) teplota i fyzikální vlastnosti by měly být automaticky zaznamenávány

- c) teplota daného vzorku by měla být měněna (zvyšována, snižována) konstantní rychlostí[2]

Termické analýzy jsou metody, které se vyznačují svou jednoduchostí, možností automatizace, ale také vysokou rychlostí termického rozboru u náročnějšího materiálu. Zároveň tyto metody mají i řadu negativ, kterými je malá přesnost či složitost zařízení [3].

Metody termické analýzy jsou hojně využívány v potravinářském průmyslu. Během výroby, přepravy, skladování, přípravy či spotřeby dochází k fyzikálním změnám potravin. Nejčastěji je využíváno procesu pasterizace, sterilizace, odpařování, vaření, zmrazení, chlazení, aj. Snížením či zvýšením teploty dochází k fyzikálním a chemickým změnám jednotlivých složek potravin. Tyto změny zapříčiňují ovlivnění finálního výsledku např. chutě, stability, vůně, vzhledu atd. Tepelné změny jsou doprovázeny jak chemickými reakcemi, tak fyzickými změnami. Mezi tyto změny lze zařadit oxidaci, tavení, krystalizaci, hydrolyzu, gelaci apod. Pro potravinářský průmysl je nutné zcela porozumět vlivu teploty na vlastnosti potravin. To umožňuje výrobcům zajistit optimální podmínky pro zpracování a zlepšení kvality potravin [4, 5].

## 1.2 Historie

Z historického hlediska termická analýza sahá až do starověku, kdy lidé jevíli zájem o prozkoumávání jednotlivých technologických procesů. Ty byly úzce spjaty s využitím potřebné teploty, která byla zkoušena a pozorována na jednotlivých potravinách či látkách. V době novověku alchymisté zkoušeli chování chemických látek. Na základě jejich pozorování dedukovali různé závěry. V dnešní době lze říci, že pozorovali termickou analýzu. Avšak největší rozkvět přišel až v době průmyslové revoluce. Lidé měli potřebu ovládnout technologické procesy, které byly doprovázeny chtíčem po kontrole surovin a výrobků [6].

Jako základní kámen termické analýzy lze považovat až rok 1887, kdy LeChatelier zveřejnil výsledky svého výzkumu termického chování jílovitých hornin tzv. rating curve metodou. V současné době lze tuhle metodu srovnat s metodou diferenční termické analýzy (DTA). Ale bez referenčního vzorku. Jednalo se tedy o první metodu, která byla vyvinuta a je používána až do dnešní doby. Rok 1915 je druhým významným mezníkem pro termickou analýzu. Byly vynalezeny termovky panem Hondou, které jsou využívány v termogravimetrii (TG) [7].

V roce 1965 zasedala první mezinárodní konference o termické analýze, která byla pořádána Mezinárodními komitétami pro termickou analýzu (ICTA neboli the International Confederation for Thermal Analysis) [1]. Název ICTA byl v roce 1992 změněn na Mezinárodní konfederaci termické analýzy a kalorimetrie (ICTAC neboli the International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry). Změna názvu měla vyjádřit vztah mezi kalorimetrií a tepelnou analýzou [8]. V dnešní době je termická analýza využívána nejen pro vědecké účely, také pro průmyslovou praxi. Největší využití má při identifikaci a analýze látek [6].

## 2 METODY TERMICKÉ ANALÝZY

Jednotlivé metody termické analýzy jsou schopny analyzovat pochody, které probíhají v pevných látkách během procesu zahřívání či ochlazování. Nejběžnějšími pochody, které lze sledovat jsou krystalizace, tání, dehydratace, sublimace aj. Každá z metod termické analýzy je zaměřena na jiný děj, který v daném vzorku probíhá. Může dojít k objemové změně vzorku, změně elektrické vodivosti, uvolňování či pohlcování tepla, změně hmotnosti a mnoha dalším pochodům.

Mezi základní metody termické analýzy lze zařadit:

- Termogravimetrie – TG
- Diferenční termická analýza – DTA
- Diferenční kompenzační kalorimetrie – DSC
- Termodilatometrická analýzy – TD
- Termomechanická analýza – TMA
- Emanační termická analýza – ETA
- Analýza uvolněných plynů – EGA
- Diferenční tlaková analýza – DPA [9]

**Tabulka 1** Přehled metod termické analýzy, zkratk a sledování fyzikálních vlastností [10]

Metoda termické analýzy	Zkratka	Sledovaná fyzikální vlastnost
Termogravimetrie	TG	hmotnost
Diferenční termická analýza	DTA	rozdíl teplot
Diferenční skenovací kalorimetrie	DSC	
Heat-flux DSC		rozdíl teplot
Power-compensation DSC		energie
Termodilatometrie	TD	lineární nebo objemové změny
Termomechanická analýza	TMA	deformace vzorku
Emanační termická analýza	ETA	analýza uvolněných sytících plynů
Diferenční tlaková analýza	DPA	tlak
Detekce/Analýza uvolněných plynů	EGD/EGA	detekce a analýza plynných produktů
Termomikroskopie	HSM	změny vzhledu
Termoelektrometrie		elektrické vlastnosti vzorku

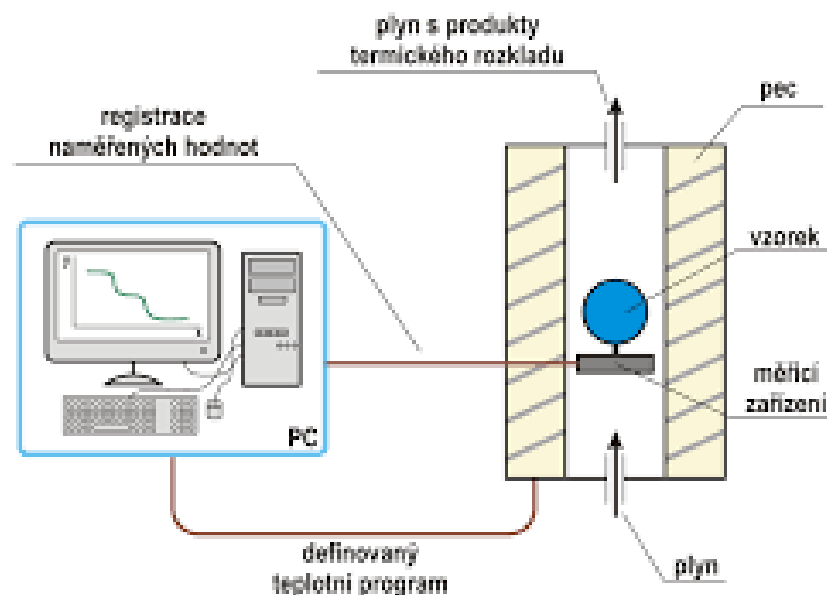
Dalšími metodami, které jsou zahrnuty v termické analýze, mohou být:

- Diferenční Calvetova kalorimetrie- jejím cílem je sledovat tepelnou vodivost v kalorimetru
- Detekce uvolněných plynů- EGD – zaznamenávají uvolnění plynů ze zkoumaného vzorku

- Simultánní termická analýza- STA- pro zjištění fyzikálních vlastností vzorku používá dvě metody současně, např. TG a DTA.
- Derivační termogravidimetrie – DTG- stejně jako termogravidimetrie zkoumá hmotnostní změny, které jsou vyjádřeny první derivací
- Derivační diferenční termická analýza- DDTA- zaměřuje se na derivaci teplotního rozdílu mezi vzorkem a referenční látkou [9]

## 2.1 Měření termické analýzy

Termická analýza využívá speciální přístroje zařízení. Analyzovaný vzorek, který se nachází v tavicím kelímku je umístěn do pece. Zde je vystaven požadované teplotě. V této fázi dochází k monitorování vlastností vzorku, která bývá přeměněna na elektrickou veličinu (napětí, proud). Zpravidla dochází k lineární změně teploty v rámci určitého času [6].

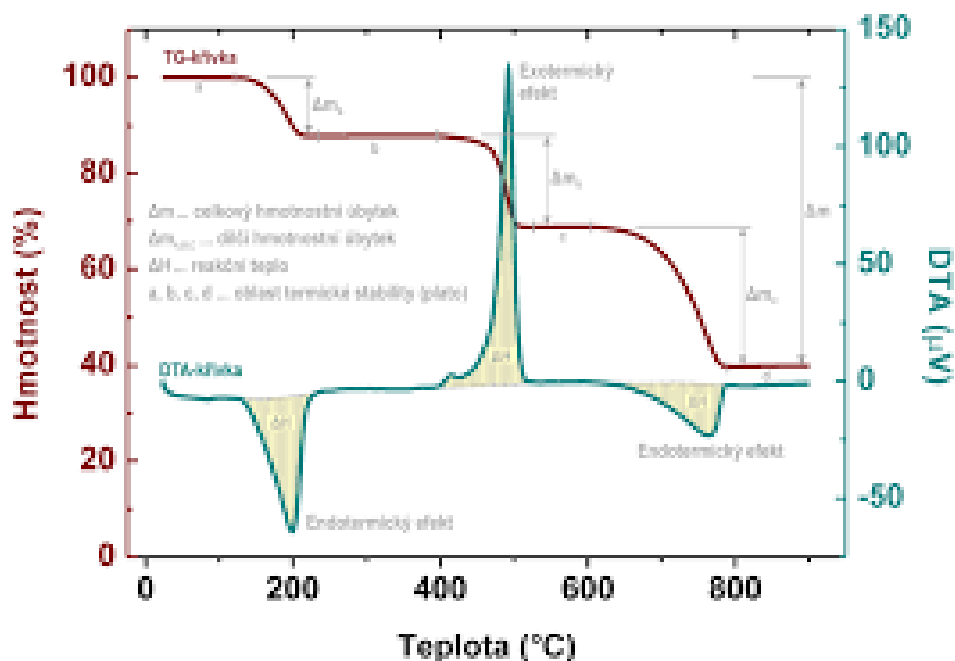


Obr. 1 Schéma termického analyzátoru [7]

Výsledkem měření je termoanalytická křivka, na které mohou být patrné píky, nespojitosti či změny sklonu křivky [6].

Monitorovaná vlastnost vzorku je vyjádřena jako funkce teploty či času. Základními termíny, které jsou využívány k popisu křivky: [11]

- Baseline, neboli základní linie- vyjadřuje nulový rozdíl zkoumané veličiny mezi sledovaným a referenčním vzorkem.
- Hmotnostní úbytek a hmotnostní nárůst- oblast změny hmotnosti.
- Plato- vyjadřuje zónu termické stability zkoumaného vzorku, ve které nedochází ke změně hmotnosti
- Pík- ukazují rozdíl mezi sledovaným a referenčním vzorkem, vzniklá křivka má různý průběh v porovnání s baseline a to vlivem endotermických a exotermických dějů [7]



Obr. 2 Thermoanalytická křivka [7]

## 2.2 Diferenční termická analýza DTA

Diferenční termická analýza je tepelná analytická metoda, během které dochází k pozorování teplotní změny analyzovaného vzorku. Současně s teplotními změnami jsou sledovány i fyzikální a chemické změny [1].

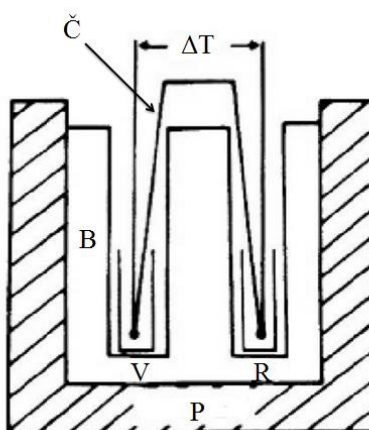
Metoda je založena na principu rozdílu teploty mezi zkoumaným a referenčním vzorkem. Podmínkou pro správné měření je vystavení obou vzorků totožným podmínkám. Tzn., že oba vzorky musí být umístěny v peci vedle sebe a musí být zahřívány stejným způsobem [12].

### 2.2.1 Přístroje DTA

Přístroje pro měření diferenční termické analýzy jsou vybaveny dvěma držáky, ve kterých jsou umístěny termočlánky. Jeden držák nese kelímek s analyzovaným vzorkem a druhý se vzorkem referenčním. Materiál a vlastnosti kelímku, který nese oba vzorky, jsou velmi důležité pro správné měření. Pro stanovení anorganických látek je využíván oxid hlinitý, karbid křemíku, zatímco pro organické látky silikonový olej. V obou případech je nutné, aby kelímek měl stejnou velikost a tvar [6,7,12].

DTA přístroj je složen z:

- elektrické pece
- měřící hlavy
- regulátoru teploty a počítače



Obr. 5 Přístroj diferenční termické analýzy [7]

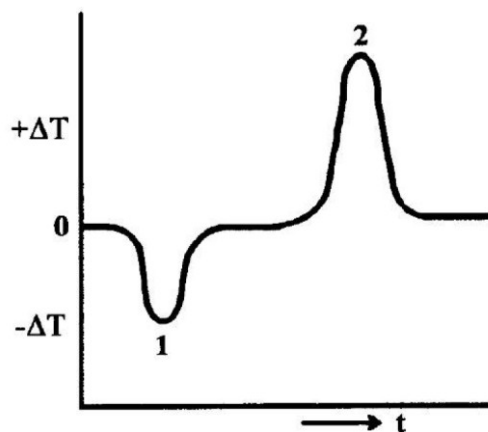
### 2.2.2 DTA termoanalytická křivka

Výsledky DTA jsou zaznamenávány na DTA termoanalytické křivce. Graf vyjadřuje závislost studovaného vzorku a referenčního vzorku na rozdílu teplot. Z DTA termoanalytické křivky lze zjistit následující hodnoty:

- plocha píku je přímo úměrná reakčnímu teplu a hmotnosti vzorku
- plocha píku je závislá na rychlosti ohřevu
- termočlánek neovlivňuje plochu píku, ale jeho vrchol
- plocha píku se snižuje s hmotností vzorku

Výsledný tvar křivky může být ovlivněn rychlostí ohřevu, hmotností vzorku, velikostí částic, geometrií vzorku [3,6,11].





Obr. 6 DTA křivka [11]

## 2.3 Termogravimetrie TG

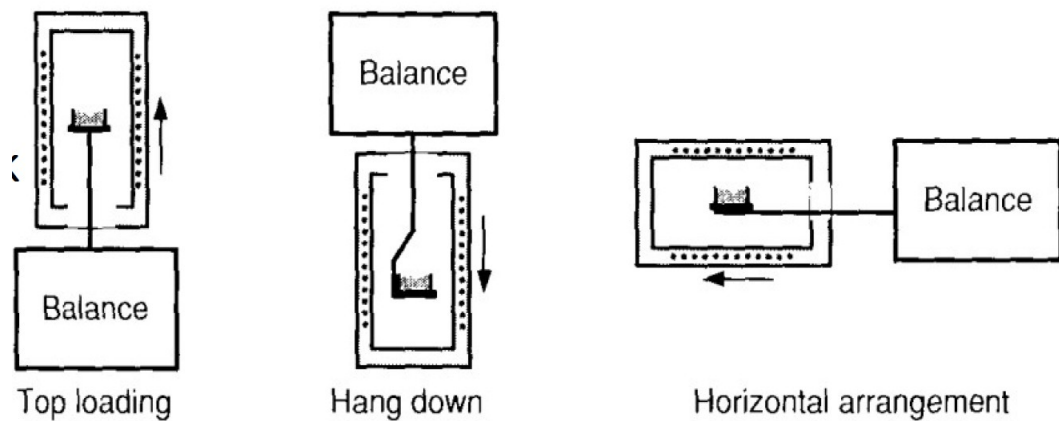
Termogravimetrie patří mezi základní termické metody. Je založena na principu pozorování změny hmotnosti při určité teplotě. Hmotnost měřeného vzorku je vážena za pomoci termovah. Výsledkem termogravimetrie je termogravimetrická křivka, která vyjadřuje závislost hmotnosti na teplotě, případně čase [1,12].

### 2.3.1 Termováhy

Termogravimetrie probíhá na termovkách. Nedílnou součástí termovah jsou elektrické mikrováhy, které jsou pevně zabudovány v peci. Analyzovaný vzorek je umístěn v peci, kde je na něj vyvíjena určitá teplota. Pokud dojde ke změně hmotnosti vzorku, termovky danou změnu zaznamenají a poté se vrátí na původní místo. Po celou dobu měření se vzorek nachází na stejné pozici, tedy je vystaven stejné teplotě. V případě, že by vzorek měnil svou polohu, byl by vystaven různým teplotám, které by se zcela neshodovaly s teplotou v původní pozici. Z toho vyplývá, že lineární nárůst teploty by byl změněn na nelineární nárůst. Analyzovaný vzorek je měřen v kelímku a upevněn na termočlánek, kde je snímána teplota. Nejčastěji využívaným materiálem je korund nebo platina [2,3,11,12].

Termováhy mohou být v peci umístěny ve třech polohách:

- Vertikální se vzorkem položeným na mechanismu termovah
- Vertikální se vzorkem zavěšeným na mechanismu termovah
- Horizontální[11]



Obr. 3 Termováhy [13]

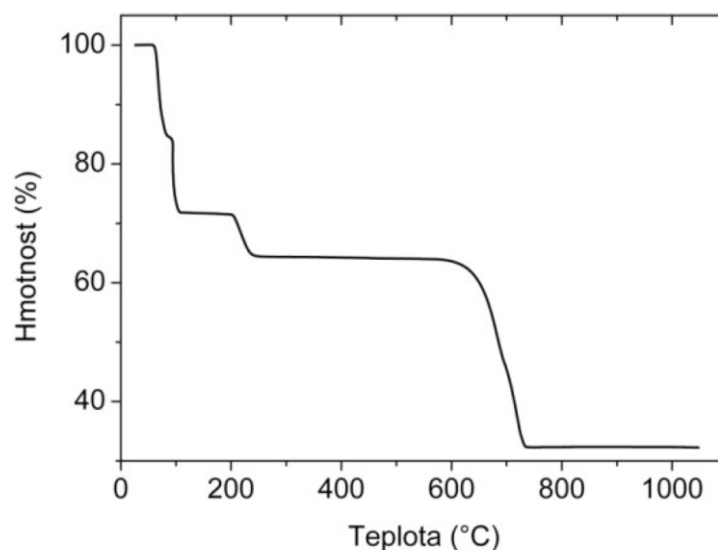
### 2.3.2 Termogravimetrická křivka

Termogravimetrická křivka vyjadřuje závislost hmotnosti na teplotě. Hmotnost je zaznamenávána na ose y, zatímco teplota na ose x. Z TG- křivky lze vyčíst oblast změny hmotnosti, oblast bez změny hmotnosti, celkový hmotnostní úbytek nebo dílčí hmotnostní úbytek [7,11].

Podle parametrů, které jsou měřeny, může TG- křivka znázorňovat:

- Závislost hmotnosti na teplotě nebo čase, vyjádřenou normální TG-křivkou
- Závislost rychlosti změny hmotnosti na teplotě a čase, vyjádřenou derivační termogravimetrickou křivkou[1].

Výsledný tvar TG- křivky může být ovlivněn řadou faktorů. Jako je příprava vzorku, pecní atmosféra, pecní tlak a vlhkost, teplotní režim, tvar a velikost kelímku [11].



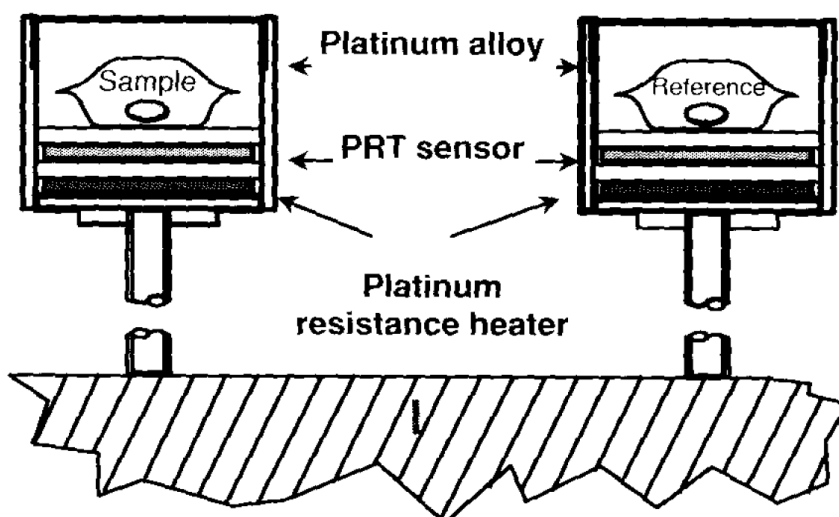
Obr. 4 TG- křivka [13]

## 2.4 Diferenční kompenzační kalorimetrie DSC

Diferenční kompenzační kalorimetrie patří mezi nejpoužívanější termické analýzy. Zároveň lze říci, že se jedná o obrácenou metodu k metodě diferenční termické analýzy [1,6,14].

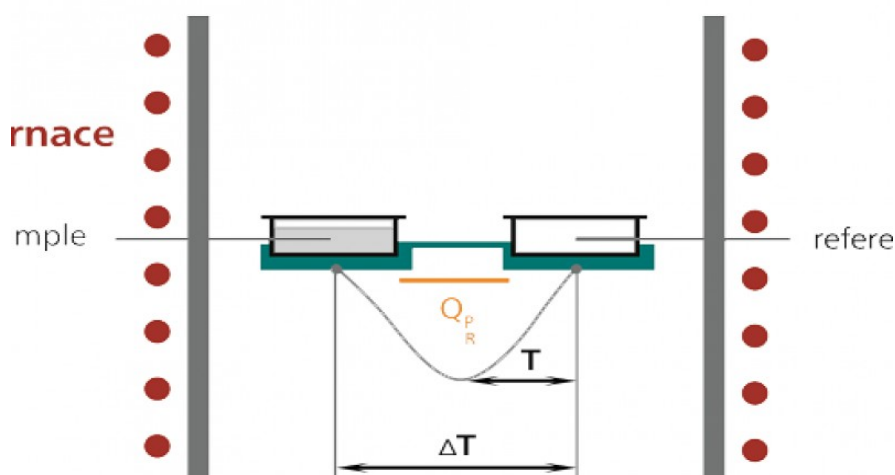
U DSC metody je možné rozpoznat dva typy analyzátorů:

- a) Diferenční skenovací kalorimetrie s kompenzací příkonu (= power compensation DSC)- u této metody je přístroj vybaven dvěma celami, které jsou zcela shodné. Jedna cela je určena pro studovaný vzorek a druhá pro vzorek referenční. Oba vzorky je nutné zahřívat stejnou rychlostí. Pokud dojde ve studovaném vzorku k endotermní reakci, je jeho teplota podstatně nižší než teplota referenčního vzorku. Abychom docílili opětovného vyrovnání teplot, je nutné u analyzovaného vzorku zvyšovat energii a tím dojde ke zvýšení jeho teploty. V opačném případě, kdy dojde k exotermní reakci, je teplota studovaného vzorku vyšší v porovnání s referenčním vzorkem. Pro vyrovnání teplot je nutné snížit energii v analyzovaném vzorku, tím dojde ke snížení teploty. U tohoto typu diferenční skenovací kalorimetrie je měřen elektrický příkon, který je nezbytný pro vyrovnávání teploty u obou vzorků [1,6,7,11].



Obr. 7 Schéma diferenční skenovací kalorimetrie s kompenzací příkonu [7]

- b) Diferenční skenovací kalorimetrie s tepelným tokem (= heat flux DSC)- u DSC s tepelným tokem je analyzovaný vzorek i referenční vzorek dán do jedné cely. Oba vzorky leží na teplotních termočláncích, které jsou k sobě připojeny pomocí tepelného mostu. Pokud dojde v analyzovaném vzorku k endotermní či exotermní reakci, dojde i ke změně teploty v daném vzorku. Teplotní rozdíl mezi oběma vzorky je zaregistrován přístrojem v podobě tepelného toku [7,11].



Obr. 8 Schéma diferenční skenovací kalorimetrie s tepelným tokem [15]

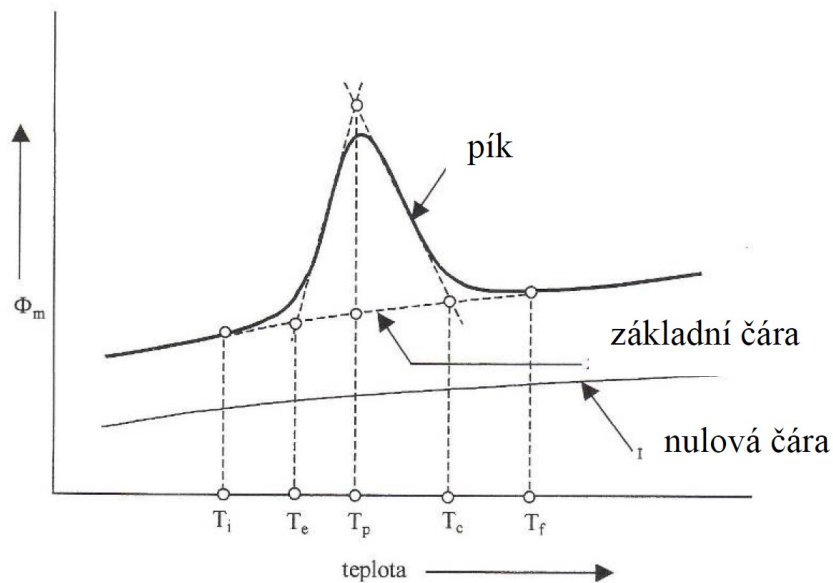
#### 2.4.1 Přístroje diferenční kompenzační kalorimetrie

Složení přístroje DSC s kompenzačním prítokem a DSC s tepelným tokem se značně liší. DSC s kompenzačním prítokem je tvořen dvěma celami s zcela oddělenými obvody, kterými jsou kontrolní a řídicí obvod. U této metody je analyzovaný vzorek umístěn ve své cele, která je vybavena teplotními čidly a topnými tělísky. V případě DSC metody s tepelným tokem je přístroj tvořen pecí, termostatem, měřicí hlavou, zdrojem plynů, regulátorem teploty a počítačem. Zde jsou vzorky umístěny pouze do jedné cely, která je vybavena teplotními čidly [1,11].

#### 2.4.2 DSC křivka

V případě DSC metody je plocha píku přímo úměrná uvolněnému či naopak spotřebovanému teplu během endotermní či exotermní reakce. Naopak výška píku je přímo úměrná rychlosti, kterou daná reakce probíhá. V grafu DSC křivky rozlišujeme pík, základní čáru a nulovou čáru. Nulová čára je získána během měření s prázdným zařízením. V této metodě

je z grafu křivky hodnocen tvar píku, vliv nosného plynu, endotermní či exotermní reakce [1,6,14].



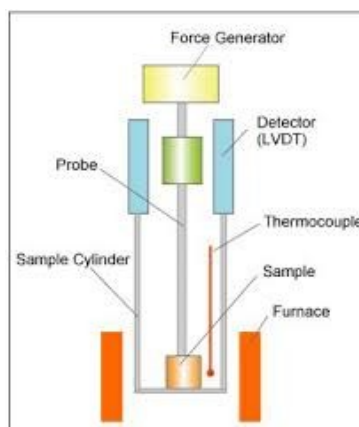
Obr. 9 DSC křivka [11]

## 2.5 Termomechanická analýza TMA a termodilatometrie TD

Termomechanická analýza je metoda termické analýzy, která je tvořena z více termoanalytických metod. Díky tomuto komplexu metod lze zkoumat penetraci, expanzi, pokřivení analyzovaného vzorku v závislosti na teplotě. Lze tedy říci, že termomechanická analýza se zabývá změnami délky, případně objemu vzorku v závislosti na teplotě.

Rozlišujeme dva druhy TMA:

- termomechanickou analýzu se statickým zatížením, TMA
- termomechanickou analýzu s dynamickým zatížením, DMA[6,7]



Obr. 10 Schéma přístroje pro termomechanickou analýzu [16]

Termodilatometrie je metoda, která se zabývá měřením rozměrů vzorku při minimálním zatížení v závislosti na teplotě. I tuhle metodu lze rozdělit na dva typy. To na termodilatometrii lineární a termodilatometrii objemovou. Oba typy se od sebe liší a to v závislosti na měřené veličině [6].

## 2.6 Analýza uvolněných plynů EGA

Analýza uvolněných plynů je úzce spjata s dalšími metodami termické analýzy. Mezi tyto metody je možné zařadit termogravimetrii, diferenční termickou analýzu a diferenční kompenzační kalorimetrii. Analyzované vzorky mají schopnost vytvářet a uvolňovat plyny, které jsou schopny vznikat ve vzorku v průběhu desorpce nebo termického rozkladu. Při analýze uvolněných plynů jsou převážně využívány techniky hmotnostní spektrometrie (MS), infračervené spektroskopie (FTIR) či plynové chromatografie (GC). U EGA metody tedy dochází k měření teplotní vodivosti. Detektory, které jsou zde využívány, se zaměřují na teplotní vodivost, měření hustoty plynu aj [6].

### 3 TERMODYNAMIKA

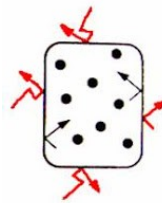
Termodynamiku lze definovat jako soustavu, ve které dochází ke změně teploty, tlaku nebo složení, zapříčiňující ovlivnění rovnováhy dané soustavy [21].

Termodynamický systém je popsán pomocí tří veličin:

- tlaku
- objemu
- teploty systému [22]

Soustava, v níž se daný systém nachází je pomyslná část prostoru, která je od okolí oddělena domnělými stěnami. Je možné rozlišit:

- Izolovanou soustavu, ve které nedochází k výměně energie mezi soustavou a okolím. Např. termoska s čajem.

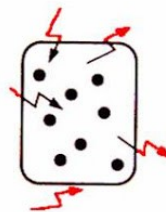


izolovaná soustava



termoska – příklad izolované soustavy

- Uzavřenou soustavu, která je schopna do okolí uvolnit energii, ale není schopna energii z okolí přijímat. Např. zavařená marmeláda.

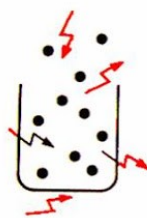


uzavřená soustava



hrníček s čajem jako  
příklad uzavřené soustavy

- Otevřenou soustavu, která je schopna do okolí energii odevzdávat a zároveň je schopna ji i přijímat. Příkladem může být hrnek s kávou [23].



otevřená soustava



příklad otevřené soustavy

Mezi další způsoby dělení soustavy patří homogenní a heterogenní systémy. Homogenní systémy se vyznačují tím, že látky mají stejné složení i vlastnosti. Naproti tomu heterogenní systémy mají různé složení a vlastnosti [22].

### 3.1 Termodynamické děje

Termodynamické děje jsou děje, které jsou schopné probíhat v dané soustavě. Soustava má schopnost přecházet z jednoho stavu do druhého. Rozlišujeme děje ireverzibilní, reverzibilní, kruhové, děje s konstantní veličinou.

- Reverzibilní děj je děj, kdy soustava je schopna se vrátit do původního stavu.
- Ireverzibilní děj je děj, kdy soustava není schopna se vrátit do původního stavu.
- Kruhový děj je dějem, kdy soustava projde celou řadou změn a nakonec se vrátí do svého původního stavu.
- Děje s konstantní veličinou zahrnují celou řadu dějů:
  - ✓ Izotermické děje probíhají za konstantní teploty
  - ✓ Izobarické děje probíhají za konstantního tlaku
  - ✓ Izoentalpické děje probíhají za konstantní entalpie
  - ✓ Izochorické děje probíhají za konstantního objemu
  - ✓ Adiabatické děje probíhají za konstantního tepla [17,24]

### 3.2 Teplo a energie

Teplo je možné definovat jako energii, která způsobuje změnu teploty mezi systémem a okolím. Veličinou tepla je  $Q$ , kdy základními jednotkami jsou jouly (J). Je možné rozlišit tři druhy tepla. Teplo kladné, teplo záporné a vyměněné teplo.

- Kladné teplo nastává tehdy, je-li energie dodávána z okolí do systému. Platí tedy, že  $Q > 0$ .



- Záporné teplo je opakem kladného tepla. Tedy, teplo je ze systému uvolňováno do okolí. V této situaci platí vztah  $Q > 0$ .
- V případě výměnného tepla nedochází k přenosu energie, tedy teplo není ani uvolňováno ani pohlcováno. Což lze vyjádřit pomocí vztahu  $Q = 0$ .

V potravinářství je nejvíce uplatňován první zákon termodynamiky, který je vyjádřen pomocí tepla, práce a vnitřní energie. První zákon termodynamiky je možné definovat jako zákon zachování energie, který je vyjádřen pomocí vztahu:

$$\Delta U = Q - W$$

kde:

U – vnitřní energie tělesa

Q – teplo

W – práce, kterou je schopen daný systém vykonat [17,27]

## 4 TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ POTRAVIN

Tepelným zpracováním potravin dochází ke zlepšení stravitelnosti potravin, zároveň přeměňujeme jejich konzistenci. Jednotlivými technologickými postupy dochází ke zvýraznění vonných a chuťových látek, které jsou obsaženy v potravinách. Tepelnou úpravou zabíjíme choroboplodné mikroorganismy [28].

### 4.1 Pečení a smažení

Pečení a smažení lze považovat za jedny z nejstarších způsobů úpravy potravin. Potraviny, které jsou upravovány těmito způsoby, jsou schopny prodloužit jejich trvanlivost a zlepšit jejich kulinární vlastnosti. Na druhou stranu je možné říci, že těmito způsoby dochází i k určité sterilitě potravin. Zdrojem energie během pečení jsou trubky, které jsou schopny vydávat teplo do prostoru. Surovina je schopna přijímat teplo buď ve formě radiace, nebo konvekce. Velká část energie je distribuována pomocí proudících plynů, které zajišťují i stejnoměrné rozložení tepla. Potravina je schopna přijímat určitý poměr tepla i z podložky, na které je umístěna. Potravinářské výrobky nelze považovat za dobré vodiče tepla, spíše je můžeme přirovnat k tepelným izolantům. Z tohoto důvodu dochází k velkému teplotnímu rozdílu mezi povrchem a vnitřní částí výrobku. V dnešní době je nejrozšířenějším typem pece tzv. konvenční pec. Jejich principem je, že proudící plyn zvyšuje množství tepla. Značnou nevýhodou je, že při celkovém zrychlení celého procesu dochází k rychlejšímu odpařování vody, což není zcela žádoucí např. u výroby pečiva nebo masa [29,30].

### 4.2 Odpařování

Odpařování je technologický proces, ve kterém dochází k odnímání vlhkosti v podobě páry. V potravinářském průmyslu sehraává odpařování významnou roli. Nejvíce je využíváno při výrobě cukru, koncentrátů či zahušťování šťáv [32].

### 4.3 Sušení

Technologický proces sušení je založen na principu přívodu tepla a odvodu vlhkosti. Sušení lze provést třemi způsoby:

- sušení pomocí vzduchu
- kontaktní sušení
- sublimační sušení [34]

### 4.3.1 Sušení pomocí vzduchu

Vzduch je schopný vázat vodní páry v závislosti na objemu vzduchu, teplotě vzduchu nebo množství vodní páry nevázané ve vzduchu. Za jeho pomoci je teplo vháněno do sušárny a následně pohlceno potravinou. Teplota je v sušárně měřena pomocí suchého či mokrého teploměru [34,35].

### 4.3.2 Kontaktní sušení

Kontaktní sušení je využíváno především pro potraviny kašovitého charakteru. Metoda je založena na principu rozetření kašovitě hmoty na vytápěný povrch, kam je přiváděno teplo. Tím dochází k odpařování vody [34,35].

### 4.3.3 Sublimační sušení

Mezi sublimační sušení je možné zařadit lyofilizaci. Principem metody je rychlé zmrazení potraviny, aby nedošlo ke znehodnocení její struktury. Následně je zmrazené potraviny vpravena do sušárny, kde je vystavena nízkému tlaku. Voda, která je v potravinech obsažena, je odpařována přímo z ledu [33,34].

## 4.4 Pasterace a sterilace

Pasterace a sterilace jsou procesy, které zajišťují prodloužení trvanlivosti potravin. Potraviny jsou vystaveny zvýšené teplotě, čímž dochází k denaturaci bílkovin a usmrcení mikroorganismů [30,34].

### 4.4.1 Pasterace

Pasterace je technologický postup, kdy je potravina vystavena zvýšené teplotě. Teplota se pohybuje maximálně do 100°C. Tímto procesem dochází ke zničení mikroorganismů, ale teplota není dostatečně vysoká na zničení jejich spor [30,34].

### 4.4.2 Sterilace

Během procesu sterilace dochází k působení teploty vyšší než 100°C. To způsobuje zničení všech mikroorganismů v potravinách včetně jejich spor [30,34].

## 4.5 Blanšírování

Blanšírování neboli předvaření je proces, při kterém je surovina vystavena krátkodobému působení teploty. V takovém případě dochází k deaktivaci enzymů, které jsou v potravině

nách obsaženy a způsobovaly by zhoršení kvality potravin při delším skladování. Blanšírování nezpůsobuje pouze deaktivaci enzymů, také dochází ke snížení kontaminace, úpravě konzistence, odstranění nežádoucí vůně a pachů, odstranění plynů, aj [34].

## 5 TERMOFYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI POTRAVIN

Potraviny jsou tvořeny vodou, tuky, proteiny a sacharidy. Tyto složky, které jsou obsaženy v jednotlivých potravinách, umožňují určit jejich tepelné vlastnosti. Mezi nejdůležitější vlastnosti je možné zařadit měrnou tepelnou kapacitu a entalpii [25].

### 5.1 Měrná entalpie

Entalpie udává jaké je zastoupení tepla v daném systému. Měrná entalpie má označení  $H$  a je vyjádřena v joulech na kilogram, pomocí vztahu:

$$\Delta H = \int c_p \cdot dT$$

kde:

$H$ - entalpie (J/kg)

$c_p$ - měrná tepelná kapacita (J/kg . K)

$T$ - teplota (K)

Změna entalpie je počítána v případě, kdy dochází k ohřevu či ochlazení látky nebo změně skupenství. V potravinářském průmyslu je entalpie využívána především v případě mražených jídel [6,20].

### 5.2 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita popisuje, kolik tepla je nutné určitě látce dodat, aby se zvýšila její teplota. Kapacitu je možné vyjádřit pomocí vztahu:

$$c_p = \sum c_{pi} \cdot w_i$$

kde:

$c_p$ - měrná tepelná kapacita (kJ/kg . K)

$c_{pi}$ - specifické teplo

$w_i$ - hmotnostní zlomek

Měrná tepelná kapacita je vyjádřena v kJ/kg . K. Kapacita je závislá na obsahu vody a sušiny v potravinách [20,25].

### 5.3 Metody stanovení měrné tepelné kapacity

Měrnou tepelnou kapacitu lze určit pomocí kalorimetru. Kalorimetry mají schopnost zprostředkovat výměnu tepla mezi jednotlivými látkami a tím i změřit výslednou teplotu a teplo [26].

#### 5.3.1 Směšovací kalorimetr

Kalorimetr je tvořen dvěma nádobkami, mezi kterými se nachází vzduch, aby došlo k tepelné izolaci soustavy. Obě nádoby jsou přikryty víčkem, ve kterém je umístěn teploměr [26, 31].

#### 5.3.2 Blackův kalorimetr

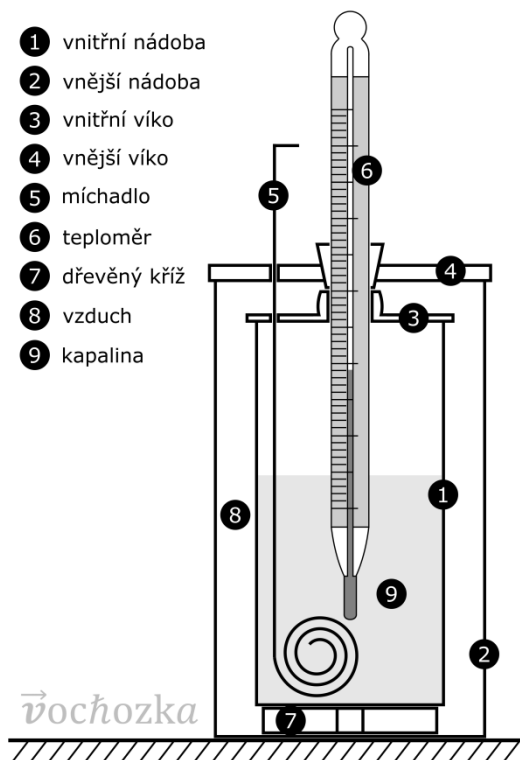
Blackův kalorimetr je jedním z prvních kalorimetrů, který se začal využívat. V jamce je umístěn led, na který je položen teplý předmět. Po zchladnutí předmětu je odsáta rozpuštěná voda, která je následně změřena. Pomocí získané hmotnosti je možné vypočítat tepelnou kapacitu [26,31].

#### 5.3.3 Bunsenův kalorimetr

Kalorimetr je tvořen nádobou s vodou a ledem. Na spodní straně nádoby je umístěna rtuť, která se pohybuje při změně tepla. Tím dojde k vyjádření měrné tepelné kapacity [26,31].

#### 5.3.4 Elektrický kalorimetr

Elektrický kalorimetr je založen na principu měření tepla, které vzniklo v nádobě při průchodu elektrického proudu [26,31]



Obr.13 Obecné schéma kalorimetru

## 5.4 Termická analýzy v potravinářství

Proteiny, sacharidy a lipidy jsou hlavními komponenty potravin. Jedná se o velmi důležité složky nejen při zpracování potravin, ale mají i své opodstatnění ve výživě [30,36].

### 5.4.1 Proteiny

Bílkoviny jsou struktury, které jsou tvořeny dlouhými lineárními řetězci. Jednotlivé bílkoviny se skládají z aminokyselin, které jsou mezi sebou spojeny peptidickými vazbami. Podle prostorového uspořádání, jaké daná molekula zaujímá, lze rozlišit struktury bílkovin. Těmito strukturami jsou primární, sekundární, terciární a kvartérní.

Vlivem tepla při zpracování potravin dochází k rozrušení bílkovinné struktury, tedy k tzv. denaturaci bílkovin. Tímto procesem jsou přerušeny peptidické vazby mezi jednotlivými aminokyselinami. Ve výsledku lze tento proces přiřadit k endotermickým reakcím. Při rozrušení vazeb dochází ke ztrátě schopnosti vázat vodu či ztrátě stability proteinů.

Pro získání bližších informací při tepelné denaturaci bílkovin, se používají diferenční kompenzační kalorimetrické metody. Proteiny hrají významnou roli při posuzování čerstvosti masa, nebo při hodnocení kvality mléka, vajec, fazolí, apod [30,36].

### 5.4.2 Sacharidy

Sacharidy jsou molekuly, které jsou tvořeny z cukerných složek. Podle celkového počtu složek rozlišujeme monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy. Mezi monosacharidy, které jsou tvořeny jen jednou jednotkou, lze zařadit glukózu nebo fruktózu. Do oligosacharidů patří sacharóza (tvořená glukózou a fruktózou), nebo rafinóza. Poslední skupinou představující sacharidy jsou polysacharidy, které obsahují více jak deset cukerných složek. Mezi ně se řadí škrob, celulóza.

V případě vystavení sacharidu, respektive škrobu, vyšší teplotě dochází k jeho želatinaci. Což je proces, při kterém je rozrušena struktura škrobového zrna, vlivem zvýšené teploty a obsahu vody.

Pro bližší nastínění o tepelném rozkladu sacharidů je využívána metoda termogravimetrie [30,36].

### 5.4.3 Lipidy

Lipidy jsou molekuly látek, které jsou tvořeny dlouhými uhlovodíkovými řetězci, které mají nepolární charakter. Jsou tvořeny nejen uhlovodíkovým řetězcem, ale také mastnými kyselinami, dusíkatými bázemi či alkoholy.

Pokud jsou lipidy vystaveny působení tepla, dochází k jejich chemické přeměně. Tím lze docílit toho, že lipidy jsou schopny vlivem tepla měnit své skupenství. V případě vyšší teploty dochází k jejich tání, naopak při nižší teplotě k jejich tuhnutí. Některé potraviny jsou charakteristické svým polymorfismem. Což je schopnost látek krystalizovat v rozdílných modifikacích. Těmito modifikacemi mohou být  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma$  formy. Každá z forem má rozdílné vlastnosti např. teplotu tání či krystalovou mřížku. Kakaové máslo je typickým příkladem polymorfni potraviny.

Pro zkoumání lipidů se využívá diferenční kompenzační kalorimetrie nebo termogravimetrie [30,36].



## 6 TERMICKÁ KONDUKTIVITA A DIFUZITIVA

### 6.1 Termická konduktivita

Termická konduktivita neboli tepelné vodivost ( $\lambda$ ) je veličina jejíž charakteristickou vlastností je schopnost vést teplo materiálem. Základní rovnice tepelné vodivosti je definována pomocí Fourierova zákona:

$$\frac{q}{A} = \frac{\lambda (T_1 - T_2)}{z}$$

kde:

q - rychlost přenosu tepla (W)

A – plocha průřezu ( $m^2$ )

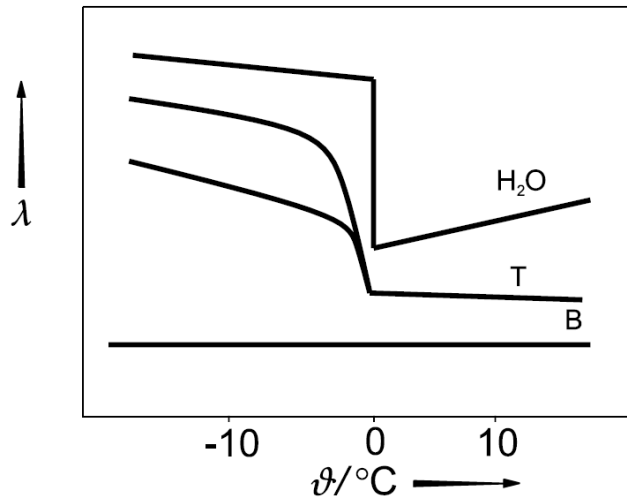
z – tloušťka materiálu (m)

$T_1, T_2$  – povrchová teplota (K)

$\lambda$  – tepelná vodivost (W/m . K)

V podstatě lze říci, že tepelná vodivost představuje vnitřní vlastnost dané látky. V potravinách je tepelná konduktivita měřena pomocí sondy. Měření lze provádět hned dvěma způsoby. Buď pomocí zařízení tepelné vodivosti s horkým drátem, nebo sondou tepelné vodivosti. Zařízení tepelné vodivosti s horkým drátem je mnohem přesnější. Využívá se především k měření kapalin a plynů. Avšak jeho nevýhodou je složitost přístroje. Metoda tepelné konduktivity se sondou je využívána zvláště pro vzorky malého charakteru. Výhodou je její rychlost.

Tepelná konduktivita potravinářských látek je závislá na teplotě pouze v omezeném množství. Takle mírná závislost je způsobena přítomností hrubých částic v dané látce. Těmito částicemi mohou být voda či vzduch. Vodivost roste s množstvím vody, která je v daném jídle obsažena. Z toho vyplývá, že potravina s vysokým podílem vody je schopna změnit své skupenství. Na obrázku 11 je vyjádřena závislost termické konduktivity na teplotě, kde T je označení pro krutí maso, B pro máslo. Voda v jídle je za působení nízké teploty přeměněna z kapalného skupenství na pevný led. Z fyzikálního hlediska má led lepší tepelnou vodivost v porovnání s kapalinou [17,20].



Obr. 11 Graf termické konduktivity [17]

## 6.2 Termická difuzivita

Termická difuzivita ( $\alpha$ ) charakterizuje rychlost, kterou se teplo pohybuje či rozptyluje daným materiálem. Lze jej definovat pomocí vztahu

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho * c_p}$$

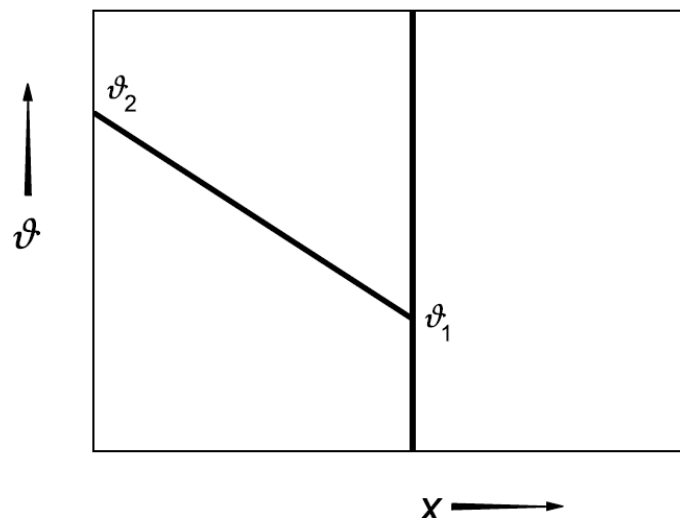
kde:

$\rho$  – hustota  $\text{kg/m}^3$

$c_p$  – měrná tepelná kapacita  $\text{J/kg} \cdot \text{K}$

$\lambda$  – termická konduktivita  $\text{W/m} \cdot \text{K}$

Difuzivita popisuje schopnost vést tepelnou energii materiálem. Látky, které mají vysoký stupeň termické difuzivity, jsou schopny lépe snášet změny tepelného prostředí. Zatímco látky s nízkým stupněm snášejí tyto změny hůře. Na obrázku 12 se teplota nachází v ustáleném stavu a teplotní gradient je konstantní. Měření je možné provádět dvěma způsoby. Buď přímým, nebo nepřímým měřením [17,20].



Obr. 12 Graf termické difuzivity [17]

### 6.3 Vliv tepla na termickou konduktivitu a difuzivitu

Jak termická konduktivita, tak termická difuzivita je závislá na teplotě, složení, struktuře, vlhkosti či fyzikálních vlastnostech určitého materiálu. Pro tekuté potraviny lze využít pouhý odhad tepelné vodivosti pomocí empirických modelů. U tuhých potravin je nutné k vyjádření tepelné vodivosti využít modely strukturální. V případě nízké vlhkosti je difuzivita a konduktivita nelineárně závislá na obsahu vlhkosti. Se zvyšující se vlhkostí roste i lineární závislost [20].

#### Simple Thermal Conductivity Equations for Foods

Material	Model
Fruits and vegetables	$k = 0.148 + 0.493x_w$ $0 < x_w < 0.60$
Tomato paste	$k = 0.029 + 0.793x_w$ $0.538 < x_w < 0.708, T = 30^\circ\text{C}$
Tomato paste	$k = -0.066 + 0.978x_w$ $0.538 < x_w < 0.708, T = 40^\circ\text{C}$
Tomato paste	$k = -0.079 + 1.035x_w$ $0.538 < x_w < 0.708, T = 50^\circ\text{C}$
Spring wheat (hard red)	$k = 0.129 + 0.274x_w$ $0.014 < x_w < 0.148, 32^\circ\text{C} < T < 60^\circ\text{C}$
Dairy products and margarine	$k = 0.141 + 0.412x_w$
Meats and fish	$k = 0.080 + 0.52x_w$ $0.60 < x_w < 0.80, 0^\circ\text{C} < T < 60^\circ\text{C}$
Fish	$k = 0.0324 + 0.3294x_w$
Minced meat	$k = 0.096 + 0.34x_w$
Fruit juice	$k = 0.140 + 0.42x_w$
Sorghum	$k = 0.564 + 0.0858x_w$
Pistachio	$k = 0.0866 - 0.2817x10^{-3}x_w$ $5\% < x_w < 40\%$

**Tabulka 4** Rovnice, které vyjadřují obsah vody v potravinách, kde  $k$ - tepelná konduktivita,  $x_w$ - obsah vody v potravine[20]

## 7 KALORICKÉ HODNOTY POTRAVIN

Potraviny jsou zdrojem energie pro lidský organismus. Energie z potravin je využívána ke správné funkci metabolismu, který probíhá v buňkách tělních tkání či orgánech. Dále je energie zpracována na energii pro svalstvo, které ji využívá na vykonávání pohybu a práce. Zbylá energie je z těla uvolňována ve formě přebytečného tepla. Celkovou energii lze vypočítat z rovnice pro rovnoměrnou energii [17].

$$E_A = E_M + E_N$$

kde:

$E_A$  - je energie odebraná, která je vyjádřena v joulech (J)

$E_M$  – je energie metabolizovaná, která je vyjádřena v joulech (J)

$E_N$  – je energie, která nebyla metabolizovaná vyjádřená v joulech (J)

**Tabulka 2** Množství energie, která je nutná pro lidský organismus [17]

$\dot{E}/W$	Typ aktivity
70	Žádná aktivita (sezení, spánek)
200-300	Lehká aktivita (malování, řízení auta)
300-500	Střední aktivita (tenis, jízda na kole)
500-700	Těžká aktivita (plavání, běh, veslování)
100	24hod- průměr

V praxi jsou více využívány kalorie oproti joulům, kdy 1 kalorie je rovna 4,187 joulu. Denní příjem kalorií by měl být zhruba  $2000 \pm 500$  kcal.

Kalorická hodnota potravin nám udává, kolik kalorií je obsaženo v jednotlivých druzích potravin. Při zvýšeném množství příjmu energie, která není v těle spotřebována, např. při vykonávání práce, dochází k jejímu nadměrnému ukládání v podobě tuku.

Za pomoc BMI indexu, tedy indexu tělesné hmotnosti (= Body Mass Index), je možné zjistit orientační hodnoty obezity.

$$\text{BMI} = \text{hmotnost (kg)} / \text{výška (m)}^2 \quad [18]$$

Tabulka 3 Hodnoty pro BMI [19]

BMI	Kategorie	Zdravotní rizika
méne než 18,5	podváha	vysoká
18,5 - 24,9	norma	minimální
25,0 - 29,9	nadváha	nízká až lehce vyšší
30,0 - 34,9	obezita 1. stupně	zvýšená
35,0 - 39,9	obezita 2. stupně (závažná)	vysoká
40,0 a více	obezita 3. stupně (těžká)	velmi vysoká

## ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na charakterizaci jednotlivých metod termické analýzy, které jsou hojně aplikovány v oboru potravinářství. Z potravinářského hlediska bylo zjištěno, že nejvíce jsou využívány metody termogravimetrie, diferenční termická analýza a diferenční kompenzační kalorimetrie, které porovnávají hmotnost vzorku v závislosti na teplotě. Zaměřením se na vliv teploty působící na potraviny, bylo možné hlouběji prozkoumat chemické i fyzikální vlastnosti, které ovlivňují jejich stabilitu a termoregulaci. U potravin, které byly vystaveny zvýšeným teplotám, došlo ke změně konzistence a zároveň byly zvýrazněny jejich vonné a chuťové látky. K těmto změnám mohlo dojít při kulinářských úpravách či během tepelného zpracování potravin. Potraviny jsou složeny z proteinů, sacharidů a lipidů, pomocí nichž bylo možné přiblížit tepelné vlastnosti, které v potravinách probíhají. Potraviny, jako nedílné složky pro lidský organismus, jsou zdrojem energie. Což bylo možné blíže prozkoumat pomocí kalorimetrických hodnot potravin. Metody termické analýzy jsou v potravinářském průmyslu stále více využívány.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BLAŽEK, Antonín. *Termická analýza*, 1. Vydání, Praha: nakladatelství SNTL, 1972, 296 stran, ISBN 04-626-72
- [2] DANIELS, T. *Thermal Analysis*, 1. Vydání, London: KoganPage Limited, 1973, 272 stran, ISBN 85038-34-0
- [3] ZÝKA, Jaroslav. *Analytická příručka*. 1. Vydání, Praha: nakladatelství SNTL, 1972, 1040 stran, ISBN 04-627-72
- [4] *ThermalAnalysisofFoods*[online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: <http://people.umass.edu/~mcclemen/581Thermal.html>
- [5] *ThermalAnalysisof Food*[online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: [https://www.mt.com/cz/cs/home/library/on-demand-webinars/lab-analytical-instruments/Food\\_TA.html](https://www.mt.com/cz/cs/home/library/on-demand-webinars/lab-analytical-instruments/Food_TA.html)
- [6] SLOBODIAN, Petr. *Termický analýza materiálů*. 1. Vydání, Zlín: UTB, 2014, 151 stran, ISBN 978-80-7454-403-3
- [7] ŠTARHA, Pavel, TRÁVNÍČEK Z. *Termická analýza*. Olomouc 2011, studijní materiály UPOL
- [8] *International ConfederationforThermalAnalysis and Calorimetry (ICTAC)*[online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.ictac.org/index.html>
- [9] *Metody termické analýzy*[online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/chemsekce/tgir/termanal.pdf>
- [10] SEILEROVÁ, Lenka, BRUSOVÁ H., KRATOCHVÍL B., KREJČÍK L. *Využití metod termické analýzy ve výzkumu a vývoji léčiv*[online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: <file:///C:/Users/Spáčilovi/Desktop/Bakalářská%20práce/chemické%20listy.pdf>
- [11] KLOUŽKOVÁ, A., ZEMENOVÁ P., KLOUŽEK J., PABST W. *Termická analýza*. Praha, 2012, studijní materiál VŠCHT
- [12] HOLZBECHER, Z., CHURÁČEK J. *Analytická chemie*. 1. Vydání, Praha: nakladatelství SNTL, 1987, 664 stran, ISBN 04-612-87
- [13] ŠTARHA P. *Termická analýza*. [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: [file:///C:/Users/Spáčilovi/Desktop/termicka\\_analyza\\_1.pdf](file:///C:/Users/Spáčilovi/Desktop/termicka_analyza_1.pdf)

[14] BĚHÁLEK, L. *DCS jako nástroj pro ověřování kvality plastů*. [online].

[cit.2020-05-12]. Dostupné z:

<https://www.mmspektrum.com/clanek/dsc-jako-nastroj-pro-overovani-kvality-plastu.html>

[15] ŠMILAUEROVÁ, Jana. *Diferenční skenovací kalorimetrie*. [online].

[cit.2020-05-12]. Dostupné z:

<https://www.mff.cuni.cz/cs/kfm/experimentalni-vybaveni/diferencni-skenovaci-kalorimetrie-dsc>

[16] *Amorfni a krystalické polymery, termické analýzy*. [online].

[cit.2020-05-12]. Dostupné z:

[https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/9320/mod\\_resource/content/0/9.pdf](https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/9320/mod_resource/content/0/9.pdf)

[17] LUDGER, O., TEIXEIRA, Arthur., *Food Physics. Physical Properties Measurement and Application*. 2007, Springer: Berlina, Heidelberg, New York. ISBN 978-3-540-34191-8

[18] *Kalorické hodnoty potravin*. [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z:

<https://docplayer.cz/448799-Kaloricke-tabulky-potravin.html>

[19] *Klasifikační tabulka pro BMI* [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné

z:<https://www.rehabilitace.info/zajimavosti/vypocet-bmi-body-mass-index/>

[20] SUN, DA-WEN. *Thermal food processing: new technologies and quality issues*.

BocaRaton: CRC/Taylor & Francis, 2006, 640 stran, ISBN 978-142-002-7372

[21] *Termodynamika* [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z:

[https://mci.img.cas.cz/pdf/Zakony\\_termodynamiky.pdf](https://mci.img.cas.cz/pdf/Zakony_termodynamiky.pdf)

[22] RITZOULIS, CHRISTOS. *Physical chemistry of foods*. BrokenSoundParkway:

CRC Press, 2013, 210 stran, ISBN 978-1-4665-1175-0

[23] *Termodynamika* [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z:

<https://fch.upol.cz/wp-content/uploads/2015/07/termodynamika.pdf>

[24] *Vnitřní energie soustavy* [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z:



Hps://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\_fyziky\_pro\_DS/display.php/molekul/index\_2.php

[25] KADLEC, PAVEL. *Procesy potravinářských a biochemických výrob.* 1. Vydání, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003, 308 stran, ISBN 80-7080-527-7

[26] SEVERA, LIBOR, NEDOMOVÁ, Š. *Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin,* 1. Vydání, Brno: Ediční středisko Mendelovy univerzity v Brně, 2011, 117 stran, ISBN 978-80-7375-521-8

[27] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika,* 6. Vydání, Brno- nakladatelství VUTRUM, 2001, 1279 stran, ISBN 80-214-1869-9

[28] *Účel a charakteristika technologických úprav potravin.* [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: <http://papu.ssss.cz/w/kc/te/12rocnik/0ucelvareni.htm>

[29] RICHARDSON, Philip. *Thermal technologies in food processing.* Cambridge: Woodhead, 2001, 294 stran, ISBN 978-185-573-5583

[30] RAEMY, A., LAMBELET, P. *Thermal behaviour of foods.* Thermochemica acta, 1991, ISBN 0040-6031

[31] JANČOVÁ, E. *Molekulová fyzika a termodynamika.* [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/115695460-Molekulova-fyzika-a-termodynamika.html>

[32] KRÁLOVÁ, M. *Vypařování a kondenzace.* [online]. [cit.2020-05-12]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/skupenstvi/vyparovani-kondenzace>

[33] KADLEC, P. *Technologie potravin I,* Praha: nakladatelství VŠCHT, 2002, 300 stran, ISBN 80-7080-509-9

[34] KADLEC, P. *Procesy potravinářských a biochemických výrob,* 1. Vydání, Praha: nakladatelství VŠCHT, 2003, 308 stran, ISBN 80-7080-527-7

[35] KADLEC, P., MELZOCH, K., VOLDŘICH, M., *Co byste měli vědět o výrobě potravin,* 1. Vydání, Ostrava: KEY Publishing, 2009, ISBN 978-80-7418-051-4

[36] *Thermal Analysis Food.* [online]. [cit.2020-05-12].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\Delta H$	Entalpie
G	Volná entalpie
T	Absolutní teplota
S	entropie
DTA	Diferenční termická analýza
TG	Termogravimetrie
ICTA	the International Confederation for Thermal Analysis
ICTAC	the International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry
DTG	derivační termogravimetrie
DDTA	derivační diferenční termická analýza
DSC	diferenční kompenzační kalorimetrie
TD	termodilatometrická analýza
STA	simultánní termická analýza
TMA	termomechanická analýza
ETA	emanační termická analýza
EGA	analýza uvolněných plynů
DPA	diferenční tlaková analýza
EGD	detekce uvolněných plynů
MS	hmotnostní spektrometrie
FTIR	infračervená spektroskopie
GC	plynová chromatografie
$E_A$	odebraná energie
$E_M$	metabolizovaná energie
$E_N$	nemetabolizovaná energie
U	vnitřní energie tělesa

---

Q	teplo
W	práce, kterou je schopen daný systém vykonat
H	entalpie
$C_p$	měrná tepelná kapacita
T	teplota
q	rychlost přenosu tepla
A	plocha průřezu
z	tloušťka materiálu
$\lambda$	tepelná vodivost
$\rho$	hustota

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Schéma termického analyzátoru

Obr. 2 Termoanalytická křivka

Obr. 3 Termováhky

Obr. 4 TG- křivka

Obr. 5 Přístroj diferenční termické analýzy

Obr. 6 DTA křivka

Obr. 7 Schéma diferenční skenovací kalorimetrie s kompenzací příkonu

Obr. 8 Schéma direkční skenovací kalorimetrie s tepelným tokem

Obr. 9 DSC křivka

Obr. 10 Schéma přístroje pro termomechanickou analýzu

Obr. 11 Graf termické konduktivity

Obr. 12 Graf termické difuzivity

Obr. 13 Obecné schéma kalorimetru

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled metod termické analýzy, zkratk a sledování fyzikálních vlastností

Tabulka 2 Množství energie, která je nutná pro lidský organismus

Tabulka 3 Hodnoty pro BMI

Tabulka 4 Rovnice, které vyjadřují obsah vody v potravinách

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Kalorie v mase

Příloha P II: Kalorie v rybách

Příloha P III: Kalorie v uzeninách

Příloha P IV: Kalorie ve vejcích a majonéze

Příloha P V: Kalorie v mléčných výrobcích

Příloha P VI: Kalorie v těstovinách

Příloha P VII: Kalorie v tucích

Příloha P VIII: Kalorie v bramborách, luštěninách a obilovinách

Příloha P IX: Kalorie v pečivu

Příloha P X: Kalorie v ovoci

Příloha P XI: Kalorie v zelenině

Příloha P XII: Kalorie ve sladkostech

Příloha P XIII: Kalorie v nápojích

Příloha P XIV: Kalorie v alkoholu

Příloha P I: Kalorie v mase [19]

Kuřecí maso	80 kcal (330 KJ) /100g
Vepřové maso	290 kcal (1230 KJ) /100g
Hovězí maso	160 kcal (670 KJ) /100g
Krůtí maso	120 kcal (500 KJ) /100g
Husí maso	240 kcal (1100 KJ) /100g
Jehněčí maso	180 kcal (745 KJ) /100g
Telecí maso	120 kcal (505 KJ) /100g
Králičí maso	115 kcal (470 KJ) /100g
Zaječí maso	80 kcal (330 KJ) /100g
Srnčí maso	70 kcal (290 KJ) /100g
Sojové maso	280 kcal (1172 KJ) /100g

Příloha P II: Kalorie v rybách [19]

Kapr	95 kcal (390 KJ) /100g
Makrela	115 kcal (470 KJ) /100g
Filé	75 kcal (310 KJ) /100g
Sardinky v oleji	340 kcal (1400 KJ) /100g
Zavináč	220 kcal (900 KJ) /100g
Uzenáč	150 kcal (630 KJ) /100g
Losos	160 kcal (670 KJ) /100g
Pstruh	67 kcal (281 KJ) /100g
Okoun	89 kcal (373 KJ) /100g
Škeble	56 kcal (234 KJ) /100g

Příloha P III: Kalorie v uzeninách [19]

Šunkový salám	185 kcal (785 KJ) /100g
Vepřová šunka	360 kcal (1520 KJ) /100g
Debrecínská pečeně	290 kcal (1220 KJ) /100g
Drůbeží šunka	115 kcal (490 KJ) /100g
Tlačenka	290 kcal (1220 KJ) /100g
Uzený bůček	540 kcal (2240 KJ) /100g
Kabanos	200 kcal (840 KJ) /100g
Čabajka	520 kcal (2180 KJ) /100g
Moravská klobása	275 kcal (1150 KJ) /100g
Uzená krkovice	390 kcal (1650 KJ) /100g
Drůbeží párky	175 kcal (735 KJ) /100g
Jemné párky	215 kcal (905 KJ) /100g
Špekáčky	325 kcal (1355 KJ) /100g
Vysočina	460 kcal (1930 KJ) /100g
Uherák	495 kcal (2055 KJ) /100g
Poličan	440 kcal (1835 KJ) /100g

Příloha P IV: Kalorie ve vejcích a majonéze [19]

Vejce	78 kcal (330 KJ) /1ks
Žloutek	63 kcal (267 KJ) /1ks
Bílek	15 kcal (63 KJ) /1ks
Majonéza	664 kcal (2780 KJ) /100g
Tatarská omáčka	524 kcal (2194 KJ) /100g

Příloha P V: Kalorie v mléčných výrobcích [19]

Plnotučné mléko	60 kcal (251 KJ) /100g
Polotučné mléko	50 kcal (209 KJ) /100g
Odtučněné mléko	38 kcal (159 KJ) /100g
Tučný tvaroh	175 kcal (735 KJ) /100g
Odtučněný tvaroh	75 kcal (310 KJ) /100g
Tvarohové ovocné dezerty	100 kcal (420 KJ) /100g
Tvarohové ov. dezerty light	50 kcal (220 KJ) /100g
Bílý odtučněný jogurt	35 kcal (140 KJ) /100g
Ovocný jogurt	95 kcal (405 KJ) /100g
Podmáslí	35 kcal (140 KJ) /100g
Smetana ke šlehání	320 kcal (1330 KJ) /100g
Šlehačka ve spreji	340 kcal (1420 KJ) /100g
Zakysaná smetana	170 kcal (710 KJ) /100g
Tavený sýr 45%	230 kcal (965 KJ) /100g
Tavený sýr 30 %	185 kcal (785 KJ) /100g
Tvarůžky	135 kcal (575 KJ) /100g
Cihla eidam	260 kcal (1085 KJ) /100g

Příloha P VI: Kalorie v těstovinách [19]

Máslo	753 kcal (3115 KJ) /100g
Hera	740 kcal (3100 KJ) /100g
Pomazánkové máslo	335 kcal (1400 KJ) /100g
Flora	630 kcal (2645 KJ) /100g
Flora light	355 kcal (1505 KJ) /100g



Diana	360 kcal (1505 KJ) /100g
Ztužený pokrmový tuk	864 kcal (3624 KJ) /100g
Olej	785 kcal (3306 KJ) /100g
Škvařené vepřové sádlo	900 kcal (3750 KJ) /100g
Anglická slanina	556 kcal (2326 KJ) /100g
Škvarky	741 kcal (3101 KJ) /100g

#### Příloha P VII: Kalorie v tucích [19]

Brambory	71 kcal (297 KJ) /100g
Bramborový salát	164 kcal (687 KJ) /100g
Bramboráky	280 kcal (1172 KJ) /100g
Hranolky	264 kcal (1105 KJ) /100g
Chipsy	539 kcal (2257 KJ) /100g
Fazole	330 kcal (1385 KJ) /100g
Hrách	335 kcal (1395 KJ) /100g
Čočka	325 kcal (1375 KJ) /100g
Sója	445 kcal (1865 KJ) /100g
Rýže	319 kcal (1336 KJ) /100g
Ovesné vločky	347 kcal (1453 KJ) /100g
Kukuřičné vločky	349 kcal (1461 KJ) /100g

#### Příloha P IX: Kalorie v pečivu [19]

Bílá mouka	350 kcal (1460 KJ) /100g
Rohlíky	300 kcal (1225 KJ) /100g
Celozrné pečivo	280 kcal (1160 KJ) /100g
Dalamánek	267 kcal (1117 KJ) /100g
Pšeničný chléb	270 kcal (1130 KJ) /100g
Pšeničný chléb celozrný	240 kcal (990 KJ) /100g
Grahamový křehký chléb	350 kcal (1500 KJ) /100g
Perník v čokoládě s náplní	420 kcal (1720 KJ) /100g

Suchary	380 kcal (1600 KJ) /100g
Vánočka	351 kcal (1461 KJ) /100g
Tatranka	520 kcal (2150 KJ) /100g
Strouhanka	353 kcal (1478 KJ) /100g

Příloha P X: Kalorie v ovoci [19]

Ananas	51 kcal (217 KJ) /100g
Banán	59 kcal (247 KJ) /100g
Broskev	41 kcal (171 KJ) /100g
Citrón	23 kcal (96 KJ) /100g
Pomeranč	32 kcal (134 KJ) /100g
Mandarinka	47 kcal (196 KJ) /100g
Grep	41 kcal (172 KJ) /100g
Višeň	59 kcal (248 KJ) /100g
Třešeň	54 kcal (226 KJ) /100g
Hrozny	61 kcal (255 KJ) /100g
Švestka	59 kcal (247 KJ) /100g
Rybíz	56 kcal (238 KJ) /100g
Meruňka	43 kcal (180 KJ) /100g
Jablko	50 kcal (209 KJ) /100g
Jahoda	36 kcal (150 KJ) /100g
Hruška	51 kcal (213 KJ) /100g
Meloun	16 kcal (67 KJ) /100g
Kiwi	54 kcal (230 KJ) /100g

Příloha P XI: Kalorie v zelenině [19]

Brambory	80 kcal (335 KJ) /100g
Brokolice	32 kcal (135 KJ) /100g
Celer	26 kcal (108 KJ) /100g

Cibule	40 kcal (167 KJ) /100g
Česnek	110 kcal (460 KJ) /100g
Cuketa	18 kcal (77 KJ) /100g
Fazolové lusky	36 kcal (151 KJ) /100g
Hrách	41 kcal (170 KJ) /100g
Kapusta	37 kcal (155 KJ) /100g
Kedlubny	25 kcal (105 KJ) /100g
Mrkev	33 kcal (139 KJ) /100g
Květák	20 kcal (81 KJ) /100g
Okurky	13 kcal (50 KJ) /100g
Paprika	20 kcal (82 KJ) /100g
Pórek	30 kcal (125 KJ) /100g
Rajčata	22 kcal (92 KJ) /100g
Ředkvičky	14 kcal (55 KJ) /100g
Hlávkový salát	13 kcal (50 KJ) /100g
Špenát	18 kcal (70 KJ) /100g
Bílé zelí	20 kcal (83 KJ) /100g
Červené zelí	30 kcal (134 KJ) /100g

Příloha P XII: Kalorie ve sladkostech [19]

Cukr	390 kcal (1646 KJ) /100g
Granko	376 kcal (1574 KJ) /100g
Mléčná čokoláda	535 kcal (2235 KJ) /100g
Hořká čokoláda	530 kcal (2222 KJ) /100g
Čokoláda na vaření	515 kcal (1980 KJ) /100g
Kremrole	230 kcal (970 KJ) /100g
Laskonka	294 kcal (1231 KJ) /100g
Linecký koláček	473 kcal (1980 KJ) /100g
Bábovka	358 kcal (1499 KJ) /100g
Pařížský dort	286 kcal (1197 KJ) /100g
Kakaový dort	411 kcal (1721 KJ) /100g
Větrník	332 kcal (1390 KJ) /100g
Včelí med	322 kcal (1348 KJ) /100g

Příloha P XIII: Kalorie v nápojích [19]

Cola	43 kcal (180 KJ) /100g
Fanta	36 kcal (151 KJ) /100g
Jablečný mošt	40 kcal (167 KJ) /100g
Pomerančový džus	23 kcal (96 KJ) /100g
Tonik	38 kcal (159 KJ) /100g
Ochucená minerálka	21 kcal (88 KJ) /100g
Jablečný džus	41 kcal (172 KJ) /100g
Broskvový džus	36 kcal (151 KJ) /100g

Příloha P XIV: Kalorie v alkoholu [19]

Bacardi	249 kcal (1043 KJ) /100g
Becherovka	285 kcal (1193 KJ) /100g
Gin	249 kcal (1043 KJ) /100g
Vodka	222 kcal (929 KJ) /100g
Rum	300 kcal (1254 KJ) /100g
Slivovice	221 kcal (925 KJ) /100g
Pivo 10° světlé	31 kcal (130 KJ) /100g
Pivo 12° světlé	33 kcal (138 KJ) /100g
Pivo 10° tmavé	50 kcal (209 KJ) /100g
Bílé víno	69 kcal (289 KJ) /100g
Červené víno	76 kcal (318 KJ) /100g