

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**NOVÉ TECHNOLOGIE  
UCHOVÁVÁNÍ  
POTRAVIN**

**2022**

**JANA  
KVAPILOVÁ**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kvapilová** Jméno: **Jana** Osobní číslo: **492674**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Nové technologie uchovávání potravin – studená plazma**

Název bakalářské práce anglicky:

**New technology of food long time storage - cold plasma**

Pokyny pro vypracování:

Pandemie Covid 19 odhalila v potravinářském průmyslu nízkou výrobní kapacitu stávajících technologií uchovávání potravin. Je snaha nalézt nové technologie, které zlepší kvalitu potravin a prodlouží délku jejího skladování. Práce je zaměřena na rešerši technologií a ideový návrh zařízení využívající nové technologie zpracování a uchovávání potravin.  
1) Zpracujte literární rešerši v oblasti nových technologií zpracování a uchovávání potravin.  
2) Pro ošetření potravin technologií využívající studenou plazmu zpracujte detailní literární a průmyslovou rešerši s ohledem na procesní parametry použitých výzkumných zařízení.  
3) Pro vybraný způsob technologie využívající studenou plazmu proveďte ideový návrh zařízení pro zpracování definovaného množství potravin. K návrhu použijte vlastní experimentální data nebo data z literatury.

Seznam doporučené literatury:

Kilcast D. et. al.: Food and Beverage Stability and Shelf Life, 2011 Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-1-84569-701-3  
CRUZ, Rui M.S., ed. Food Packaging [online]. CRC Press, 2019 [cit. 2022-04-13]. ISBN 9780429023101. Dostupné z: doi:10.1201/9780429023101  
LAROQUE, Denise Adamoli, Sandra Tiemi SEÓ, Germán Ayala VALENCIA, João Borges LAURINDO a Bruno Augusto Mattar CARCIOFI. Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. Journal of Food Engineering [online]. 2022, 312 [cit. 2022-04-13]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2021.110748

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D. ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **18.09.2022**

doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....

## Anotační list

Jméno autor:	Jana Kvapilová
Název bakalářské práce:	Nové technologie uchovávání potravin-studená plazma
Anglický název:	New technology of food long time storage-cold plasma
Akademický rok:	2021/2022
Ústav:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 56 Počet obrázků: 41 Počet tabulek: 10 Počet příloh: 0
Klíčová slova:	potraviny, potravinářství, doba spotřeby, studená plazma
Keywords:	food, food industry, shelf life, cold plasma
Anotace:	Práce je zaměřena na teoretickou rešerši nových potravinářských technologií pro zlepšení trvanlivosti potravin. Dále pak obsahuje koncepční návrh výrobní linky s využitím zdroje studené plazmy. Návrh je doplněn výpočtem provozních nákladů pro použitý zdroj. Poslední část práce je experiment zaměřený na konstrukci prototypu zdroje studené plazmy.
Abstract:	This work is focused on theoretical review of new technologies in the food industry used to prolong the shelf life. Next it contains concept draft of production line using the cold plasma source. The draft is supplemented with calculation of operating costs. The final part of this work is focused on the experiment of construction of the cold plasma source.

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu této práce panu doc. Ing. Janu Skočilasovi, Ph.D. za odborné rady, dohled při tvorbě bakalářské práce a poskytnutí literatury. Dále bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Martinu Novákovi, Ph.D., díky kterému bylo možné uskutečnit experimentální část této práce.

# Obsah

<b>Úvod</b> .....	- 10 -
<b>1. Teoretická část</b> .....	- 11 -
<b>1.1. Značení potravinářských výrobků</b> .....	- 11 -
<b>1.2. Změny v potravinách</b> .....	- 11 -
1.2.1. Změny enzymové .....	- 11 -
<b>Mechanismus enzymů</b> .....	- 11 -
1.2.2. Změny fyziologické .....	- 12 -
1.2.3. Změny chemické .....	- 12 -
1.2.4. Změny mikrobiologické .....	- 12 -
Konkrétní příklady .....	- 12 -
<b>1.3. Standardní technologie uchovávání potravin</b> .....	- 13 -
<b>1.3.1. Metoda dehydratační:</b> .....	- 13 -
<b>1.3.2. Metody využívající zvýšení teploty:</b> .....	- 13 -
<b>1.3.3. Metody využívající snížení teploty:</b> .....	- 14 -
<b>1.3.4. Ochranné atmosféry</b> .....	- 14 -
<b>1.3.5. Metoda ozáření</b> .....	- 15 -
<b>1.3.6. Úprava vysokým tlakem</b> .....	- 15 -
<b>1.3.7. Fermentace</b> .....	- 15 -
<b>1.3.8. Přidávky do potravin</b> .....	- 15 -
<b>1.4. Moderní technologie uchovávání potravin</b> .....	- 17 -
1.4.1. Ošetření potravin pulzním elektrickým polem .....	- 17 -
Princip .....	- 17 -
<b>Systém a jeho parametry</b> .....	- 18 -
Příklad z praxe .....	- 19 -
Závěr .....	- 20 -
1.4.2. Ošetření potravin studenou plazmou .....	- 21 -
Dělení a vlastnosti plazmy .....	- 21 -
Princip ošetření studenou plazmou .....	- 21 -
Dopad na potraviny .....	- 22 -
<b>Systém a jeho parametry</b> .....	- 23 -
<b>Aplikace a konkrétní využití studené plazmy</b> .....	- 25 -
Závěr .....	- 26 -
1.4.3. Chytré a aktivní obaly .....	- 26 -
<b>Komponenty a druhy inteligentních obalů</b> .....	- 27 -
Závěr .....	- 28 -

1.4.4.	Moderní metody zmrazování .....	- 28 -
	<b>Druhy metod</b> .....	- 28 -
1.4.5.	Lyofilizace.....	- 29 -
	<b>Princip</b> .....	- 29 -
	<b>Systém a jeho parametry</b> .....	- 30 -
	<b>Aplikace</b> .....	- 31 -
	<b>Závěr</b> .....	- 32 -
<b>2.</b>	<b>Praktická část</b> .....	- 33 -
2.1.	Ošetřovaná látka a její forma .....	- 33 -
	<b>Kolagen</b> .....	- 33 -
	<b>Rozměry vzorku</b> .....	- 33 -
	<b>Parametry procesu ošetření</b> .....	- 33 -
2.2.	Návrh a výpočty parametrů transformátoru.....	- 34 -
	<b>Potřebný poměr závitů, výpočet proudu, cena za energie</b> .....	- 34 -
	<b>Výpočet ohřívání transformátoru</b> .....	- 35 -
2.3.	Zdroj plazmy .....	- 36 -
2.4.	Koncepční návrhy systému ošetření potravin studenou plazmou. -	36 -
	<b>2.4.1. Návrh diskontinuální</b> .....	- 36 -
	<b>2.4.2. Návrh kontinuální</b> .....	- 39 -
	<b>Kapacita linky</b> .....	- 43 -
	<b>Zbytky plynu v nádobách</b> .....	- 44 -
<b>1.5.</b>	<b>Experiment</b> .....	- 44 -
1.5.1.	Vzorky.....	- 44 -
1.5.2.	Popis zařízení.....	- 45 -
	<b>Shrnutí parametrů experimentu</b> .....	- 48 -
1.5.3.	Ošetření .....	- 48 -
1.5.4.	Výsledky.....	- 49 -
	<b>Výsledek pozorování</b> .....	- 51 -
	<b>Závěr</b> .....	- 52 -
	<b>Zdroje</b> .....	- 54 -

## Seznam použitého značení

### Zkratky

cfu/ml	Utvořená kolonie na milimetr
HPP	High pressure processing- zpracování pod vysokým tlakem
IF	Zmrazování srážením
kV/cm	Jednotka hustoty elektrického pole
NPD	Nejvyšší povolená dávka
PAF	Zmrazování s pomocí změny tlaku
PEF	Pulsed Electric Field- pulzní elektrické pole
TTI	Time Temperature Indicator – Teplotní indikátory
UV	Ultraviolet – ultrafialové

### Symboly

A	práce	[J]
C	cena	[Kč]
$C_8$	cena vztažená na 8 hodin	[Kč]
$E_1$	První ionizační energie	[eV]
f	frekvence	[Hz]
H	výška vzorku	[m]
$H_k$	výška komory	[m]
I	proud	[A]
L	délka vzorku	[m]
$L_k$	délka komory	[m]
$l$	vzdálenost elektrod	[m]
m	hmotnost	[kg]
$m_{ArKOMORA}$	hmotnost argonu v komoře	[kg]
$m_{AirKOMORA}$	hmotnost vzduchu v komoře	[kg]
$m_{ArLAHEV}$	hmotnost argonu v lahvi	[kg]
$m_{AirLAHEV}$	hmotnost vzduchu v lahvi	[kg]
$m_{PLYNU}$	hmotnost spotřebovaného plynu	[kg]
$m_{ZBYTEK}$	hmotnost zbývajících plynu v lahvi	[kg]



$p$	tlak	[Pa]
$P$	výkon	[W]
$\dot{Q}$	objemový zdroj tepla	[W.m <sup>-3</sup> ]
$s$	uražená vzdálenost	[m]
$T$	teplota	[K]
$t$	doba expozice	[s]
$T_s$	teplota stěny	[K]
$U$	napětí	[V]
$V_{KOMORA}$	objem komory	[m <sup>3</sup> ]
$V_{LÁHEV}$	objem tlakové lahve	
$v$	vůle, mezera mezi vzorky	[m]
$\dot{V}_{He}$	objemový tok helia	[l.min <sup>-1</sup> ]
$\dot{V}_{Air}$	objemový tok vzduchu	[l.min <sup>-1</sup> ]
$W$	šířka vzorku	[m]
$W_k$	šířka komory	[m]
$v$	rychlost	[m/s]
$z$	převod transformátoru	[-]
$\alpha$	součinitel prostupu tepla	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$\rho_{Cu}$	měrný elektrický odpor mědi	[ $\Omega$ .m]
$\rho$	hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_P$	hustota těžítka v rotometru	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_1$	hustota hélia	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_2$	hustota vzduchu	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{Ar ATMO}$	hustota argonu při atmosférickém tlaku	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{Air ATMO}$	hustota vzduchu při atmosférickém tlaku	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{Ar 20MPa}$	hustota argonu při 20MPa	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{Air 20MPa}$	hustota vzduchu při 20 MPa	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$Bi$	Biotovo číslo	

## Úvod

Potravinářství je velkou součástí průmyslu a zasahuje i do strojírenského průmyslu. Potravinářskými procesy můžeme chápat výrobu másla, chleba a dalších potravin, ale i speciální úpravy potravin a procesy zaměřené na jejich skladování a uchovávání. Tyto procesy se stále vyvíjí a vylepšují. Pandemie Covid19 přinesla řadu výzev a požadavků na efektivní uchovávání potravin a na prodlužování jejich životnosti.

Velkým problémem současné společnosti rozvinutých států představuje plýtvání jídlem a nadbytečné zbytky. Jídlo je v některých částech světa stále nedostatkové zboží, proto se snažíme vyvíjet nové technologie, které by prodlužovaly životnost potravin a tím pádem zamezili jejich plýtváním. Jedním z řešení plýtvání potravin je zpracovávání gastronomických zbytků, které by mohly být jednou z nejdůležitějších surovin energetického průmyslu.

Tato práce se zabývá přehledem nových technologií a metod ochrany potravin na prodlužování jejich životnosti a potenciálem technologií k nasazení do hromadné výroby. Jako příklad možného využití moderní technologie byla vybrána studená plazma, která byla začleněna do výrobní linky, a zhodnocena její účinnost.

V rámci této práce vznikla unikátní aparatura, která má ověřit možnost vytvoření atmosférické studené plazmy. Aparatura je schopna vytvoření studené plazmy a použití plazmy k ošetření povrchu biologických vzorků. Touto aparaturou byl ošetřen jeden vzorek potravin a dále pak porovnána doba znehodnocení vzorku (vzniku první plísně) za atmosférických podmínek s neošetřeným vzorkem. Byla prokázána účinnost ošetření vzorku studenou plazmou a zvýšení jeho odolnosti vůči vnějším podmínkám.

# 1. Teoretická část

## 1.1. Značení potravinářských výrobků

Potraviny jsou životu potřebné, ale bohužel neudržitelné suroviny. Skladování potravin a jejich technologické zpracování má za cíl udržet jejich nutriční hodnoty po co nejdelší dobu, nebo také zabránit jejich zkáze a ohrožení zdraví populace po konzumaci. Na obalech potravin se setkáváme s následujícími termíny: Datum použitelnosti a datum minimální trvanlivosti, které upravuje vyhláška č.113/2005 Sb., o způsobu označování potravin a tabákových výrobků § 6 [1]. Jakým způsobem mají být potraviny označovány uvádí nařízení (EU) č. 1169/2011. [1]

### **Datum použitelnosti „Use by Date“**

Na etiketě potraviny najdeme uvedeno Spotřebujte do *den/měsíc/rok*. Toto datum většinou najdeme na potravinách náchylných ke zkažení. Výrobce musí také poskytnout informace o podmínkách uchovávání. Potraviny s prošlou dobou použitelnosti se nepovažují za bezpečné v souladu s čl. 14 ods.2 až 5 nařízení (ES) č. 178/2002 [1] a nesmí se uvádět do oběhu.

### **Datum minimální trvanlivosti „Best before“**

Datem minimální trvanlivosti většinou označujeme potraviny, které nejsou náchylné ke zkažení. U potravin s prošlou minimální trvanlivostí výrobce nezaručuje chuť a výživovou hodnotu. Tyto potraviny se mohou uvádět do oběhu pouze tehdy, kdy jsou jako prošlé označeny a jsou zdravotně nezávadné. [1]

## 1.2. Změny v potravinách

Během technologie zpracování potravina podstupuje změny enzymové, fyziologické, chemické a mikrobiologické.

### 1.2.1. Změny enzymové

Enzymy můžeme chápat jako specifické katalyzátory biochemických reakcí. V drtivé většině jsou enzymy proteiny. Mohou reakci ovlivňovat jako klasické katalyzátory, a to vytvořením komplexu enzym-substrát, ale také mohou ovlivňovat reakci například i svým tvarem a mechanicky napomáhat reakci. [2]

#### **Mechanismus enzymů**

Hlavní funkcí enzymů je snížení aktivační energie. Toho dosahují těmito 4 kroky.

1. Vznik komplexu ENZYM – SUBSTRÁT.
2. Substrát se přemění na produkt.
3. Vzniká komplex ENZYM – PRODUKT.
4. Komplex E-P se rozpadá a získáváme samostatný produkt. [2]

Enzymové reakce mohou mít za příčinu změnu chuti, vůně, konzistence, barvy nebo snížení nutriční hodnoty. Některé enzymové reakce jsou žádoucí např. fermentace. Tyto konkrétní reakce začínají probíhat hlavně po mechanické poruše textury (loupání, dělení). Enzymové procesy můžeme inaktivovat nejčastěji ohřevem. Enzymové reakce většinou probíhají na organických látkách (tuky, mastné kyseliny, glykosidy). [3]

### **1.2.2. Změny fyziologické**

V živých organismech je uchovávaná dynamická rovnováha mezi životními procesy. Potom co organismu tuto rovnováhu narušíme (sklizeň ovoce, porážka dobytka), začínáme pozorovat žádoucí i nežádoucí změny. Nežádoucí fyziologické změny mohou mít za příčinu například nedostatek vody, teplotní stres, tkáňové dušení (anaerobní dýchání organismu → fermentace) a další. [3]

### **1.2.3. Změny chemické**

Složky určité potraviny mezi sebou reagují a dochází k chemickým reakcím. Dále se do chemických reakcí zapojují látky z okolí, produkty reakcí fyziologických a enzymových. Další reaktanty se do chemických reakcí dostanou právě díky zpracování suroviny. [3]

### **1.2.4. Změny mikrobiologické**

Největší vliv na změnu potraviny mají reakce mikrobiologické. Potraviny jako takové obsahují mikroorganismy. Technologické zpracování vždy zahrnuje konzervační krok, který zaručuje, že se zastaví nebo zpomalí růst mikroorganismů. Pod mikroorganismy si můžeme představit například bakterie, kvasinky nebo plísně. [3]

## **Konkrétní příklady**

### ***Plesnivění***

Děj, při kterém dochází k prorůstání potravin plísněmi. Existují i případy, kde je tento děj žádaný jako například při výrobě plísňových sýrů. Ne vždy jsou ale plísně přínosné, a proto potraviny chráníme před plesnivěním sterilizací, pasterizací nebo skladováním v ochranné atmosféře s omezeným přístupem vzduchu a snížené vlhkosti. [5]

### ***Kvašení***

Kvašení patří mezi kvasné procesy, které jsou zapříčiněny vlivem bakterií a kvasinek. Kvašení neboli fermentace je charakteristická rozkladem bezdusíkatých organických látek, jako je například cukr nebo škrob, za vzniku CO<sub>2</sub> a případně i alkoholů (ethanol). Opět je v některých případech chtěným dějem, a to například u výroby piva, vína nebo octu. [5]

### ***Kysání***

Kysání je dalším příkladem kvasných procesů. Kysání je charakteristické rozkladem organických látek, což zvyšuje kyselost potraviny. Tento jev pozorujeme například při kysání mléka a zelí. [5]

### ***Hnití***

Hnití je charakteristické rozkladem organických dusíkatých látek, a to konkrétně proteinů. Rozklad může být částečný, za vzniku velmi nebezpečných sloučenin, nebo úplný, při kterém zásadně vznikají neškodné sloučeniny. [5]

## 1.3. Standartní technologie uchování potravin

### 1.3.1. Metoda dehydratační:

#### **Sušení**

Sušení je založeno na cirkulaci vzduchu v okolí potravin a postupného snižování množství vody. Snižováním obsahu vody snížíme i vodní aktivitu. Mikroorganismy mohou růst a reprodukovat se pouze v prostředí s vodní aktivitou nad 0,95 [6] a bakterie v prostředí s vodní aktivitou nad 0,9. Pro následné uchování účinku musíme potraviny uchovávat v suchu a v obalech, které nepropouští vlhkost. Mezi často sušené potraviny patří například ovoce, houby nebo kořenové zelenina. Sušení je výhodné i z hlediska zmenšení objemu, lehčí skladnosti a je jedno z nejlevnějších možností. Bohužel ale můžeme pozorovat ztrátu chuti nebo ztrátu důležitých vitamínů, proteinů nebo tuků. [6]

#### **Přidávání soli nebo cukru**

Zvýšení koncentrace solí a cukrů má za důsledek zvýšení osmotického tlaku, což zhoršuje podmínky pro množení mikroorganismů. Voda, která je dostupná v potravině za normálních podmínek, je nyní hůře dostupná pro mikroorganismy, protože se váže na sůl. [6]

### 1.3.2. Metody využívající zvýšení teploty:

#### **Sterilizace**

Je děj, při kterém docílíme zničení všech mikroorganismů včetně spór. Tohoto efektu můžeme dosáhnout mnoha způsoby (zvýšením teploty, vlhkým teplem nebo plazmou). Metoda sterilizace je velmi často využívána v oboru lékařství. [7]

#### **Pasterizace**

Pasterizace je jednou z metod konzervace potravin, která spočívá v krátkodobém zvýšení teploty, a jejím cílem je opět zničit mikroorganismy. V tomto případě se speciálně zaměřujeme na mikroorganismy, které škodí lidskému zdraví a snižují trvanlivost potravin. Při tomto procesu se většinou zbavíme i všech plísní, bakterií a kvasinek. Pasterizaci považujeme za šetrnější metodu. [5] [6]

Tabulka 1 - Rozdíly pasterizace a sterilizace [6]

Kritérium	Pasterizace	Sterilizace
Teplota	65–75 °C	135–140 °C až do 150 °C
Stav mikroorganismů po ošetření	Po ošetření mohou v potravině přežít teplotně odolné mikroorganismy, viry nebo spóry. Jejich aktivita, je však na určitou dobu pozastavena.	Termofilní bakterie a spóry se mohou stále vyskytovat i po ošetření.
Změna nutriční hodnoty a obsahu	Zanedbatelné	Tuky, proteiny a cukry se mohou rozložit. Draslík, minerály a vitamíny mohou uniknout ze struktury.
Skladování	Chlazené prostředí	Okolní teplota
pH	3.5 < pH < 4.6	pH > 4.6

Kritérium	Pasterizace	Sterilizace
Prodloužení trvanlivosti	Několik dní až týdnů	Až měsíce

### 1.3.3. Metody využívající snížení teploty:

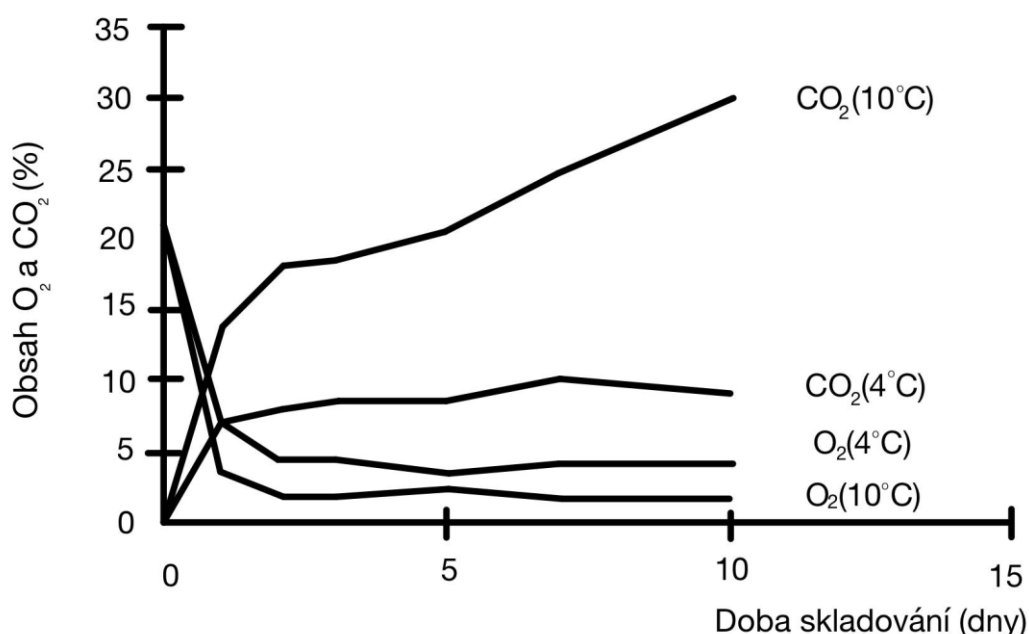
#### Chlazení a zmrazování

U metody chlazení se teploty pohybují v intervalu  $(-1 \div -8)^{\circ}\text{C}$  [6]. U metody zmrazování se pohybují v intervalu  $(-10 \div -30)^{\circ}\text{C}$  [6]. Při snížení teploty dochází ke snížení vodní aktivity díky změně vody na led. Snížení vodní aktivity a teploty vytváříme nevhodné prostředí pro růst a množení mikroorganismů, tím pádem dosahujeme delší trvanlivosti.

Chlazení je využíváno na krátkodobé uchovávání potravin. Při dlouhodobém chlazení potraviny ztrácí vlhkost (nevhodné u zeleniny a ovoce). [6]

### 1.3.4. Ochranné atmosféry

Pro skladování potravin využíváme ochrannou atmosféru, která vytváří nepříznivé prostředí pro růst a množení mikroorganismů. Hlavním aspektem podporujícím život a reprodukci mikroorganismů je vlhkost prostředí, a proto je hlavním požadavkem minimální propustnost vlhkosti obalu. V obalu můžeme zajistit ochrannou atmosféru. Nejsme ji ale schopni dlouhodobě udržet, právě kvůli nedokonalému těsnění obalu. Změnu složení ochranné atmosféry můžeme vidět na obr.1. [8]



Obr. 1 - Graf vykreslující změnu složení ochranné atmosféry v závislosti na době skladování v případě kostkované mrkve při 4°C a 10°C [8]

Další možnost, jak potravinu chránit před oxidačními reakcemi, je v obalu potraviny vytvořit vakuum. Vytvořením vakua se v obalu kompletně zbavíme kyslíku, a tím pádem vzniká nepříznivé prostředí pro růst mikroorganismů a plísní. [8]

### 1.3.5. Metoda ozáření

Metoda ozáření je popisována jako vystavení ošetřované potravině ionizujícímu záření o vysoké energii (např. gamma, beta nebo rentgenové záření), schopné vyrážet elektrony z atomového obalu, a tím dosáhnout samotné ionizace potravin. Cílem je opět snížit množství mikroorganismů, a tím dosáhnout omezení kažení. Záření se dávkuje do 10kGy. Při této dávce nedochází k úplné inaktivaci. Co se týče rizika využívání této metody, nepozorujeme žádné škodlivé účinky při dodržení hranice 10 kGy na dávku. Na obrázku 2, jsou uvedeny velikosti dávek ozáření pro různé druhy potravin. Pro tyto hodnoty bude vliv na prodloužení doby trvanlivosti pro každou potravinu odlišný. Hodnoty vychází z maximální dávky ozáření, při které nedochází ke změnám sensorických vlastností potravin. [9]

	Skupina potravin	NPD v kGy*
1.	Sušené byliny, koření, kořenící přípravky	10,0
2.	Zmrazené byliny	10,0
3.	Brambory	0,2
4.	Sladké brambory	0,2
5.	Cibule, šalotka	0,2
6.	Česnek	0,2
7.	Luštěniny, sušená zelenina, čerstvá zelenina s výjimkou cibule, šalotky, česneku, rebarbory	1,0
8.	Čerstvé ovoce, čerstvé houby, rebarbora	2,0
9.	Sušené ovoce	1,0
10.	Mlýnské obilné výrobky s výjimkou rýžové mouky, vloček a klíčků určených pro mléčné výrobky	1,0
11.	Vločky a klíčky pro mléčné výrobky	10,0
12.	Rýžová mouka	4,0
13.	Arabská guma	3,0
14.	Kuřecí maso, drůbeží maso (kur domácí, husy, kachny, perličky, holuby, křepelky, krocani)	7,0
15.	Drůbeží droby, drůbeží separát	5,0
16.	Mražená žabí stehýnka	5,0
17.	Sušená živočišná krev, plasma, koaguláty	10,0
18.	Ryby a ostatní mořští živočichové s výjimkou mražených krájených nebo dekapitovaných krevet a mražených žabích stehýnek	3,0
19.	Mražené krájené nebo dekapitované krevety	5,0
20.	Vaječný bílek	3,0
21.	Kasein, kaseináty	6,0

Obr. 2 - Přehled dávek záření pro určité potraviny [10]

### 1.3.6. Úprava vysokým tlakem

U této metody využíváme tlaků vysokých až 900 MPa [6] pro usmrcení mikroorganismů. Díky tomu zpomalujeme kažení jídla a průběh dalších enzymových a chemických změn. Co se týče zachování vitamínů, chuti a čerstvosti je metoda HPP (High Pressure Processing) velmi obstojná. Největší nevýhodou je vysoká cena a limitované dostupné informace o průmyslových aplikacích. [6]

### 1.3.7. Fermentace

Fermentaci řadíme mezi biologické procesy. Při fermentaci dochází k rozkladu sacharidů za pomoci mikroorganismů a enzymů. Do fermentace se zapojují bakterie, plísně a kvasinky. Fermentace zvyšuje nutriční hodnotu a dodává látky nápomocné při trávení. Často fermentovaná potravina je zelí. Dalším příkladem jsou Surströmming (kyselý sled) – národní švédská specialita. [6]

### 1.3.8. Přidávky do potravin

Velmi široce používané jsou přidávky pro prodloužení spotřební doby (konzervanty, antioxidanty, stabilizátory). Hlavním cílem je zlepšit nebo udržet

nutriční hodnotu a omezit plýtvání. Přidávky dělíme na přírodní nebo syntetické. Syntetická aditiva jsou záměrně používána při zpracování nebo balení potravin (např. kyselina benzoová, kyselina sorbová, oxid siřičitý, kyselina tetraboritá, dusičnany, dusitany a další).

Drtivá většina aditiv je považována za bezpečné pro požívání, objevily se ale i některé výjimky, které prokázaly negativní dopad na zdraví. [6]



## 1.4. Moderní technologie uchovávání potravin

Pro prodloužení doby trvanlivosti

→**OŠETŘENÍ POTRAVIN PULSNÍM ELEKTRICKÝM POLEM – PEF**

→**OŠETŘENÍ POTRAVIN STUDENOU PLAZMOU**

Pro uchovávání potravin

→**CHYTRÉ A AKTIVNÍ OBALY**

→**MODERNÍ METODY ZMRAZOVÁNÍ**

→**LYOFILIZACE**

### 1.4.1. Ošetření potravin pulzním elektrickým polem

Tato nová technologie se začíná používat v potravinářství ve větším měřítku. Povedlo se ji úspěšně adaptovat z laboratorních podmínek do průmyslu. Konkrétně u PEF nás zajímá mikrobiologická inaktivace a obnova potravin. Při používání PEF musíme brát v potaz i vliv teploty a pH prostředí.

PEF je metoda pro uchovávání potravin bez použití přímého tepla. Krátkými intenzivními pulzy elektřiny v potravině způsobujeme znatelné změny na kvalitě a chování biologického materiálu. Od tradičních způsobů uchovávání potravin se PEF liší tím, že při ošetření potravinu nevystavujeme škodlivým změnám skladby. Hlavním cílem PEF je zabránit růstu mikroorganismů. [11]

#### Princip

Základní princip PEF je použití krátkých pulzů silného elektrického pole po dobu v řádech mikro až milisekund. Intenzita elektrického pole se pohybuje okolo hodnot desítek kV/cm. Počet cyklů je přímo úměrný délce impulzu a intenzitě elektrického pole.

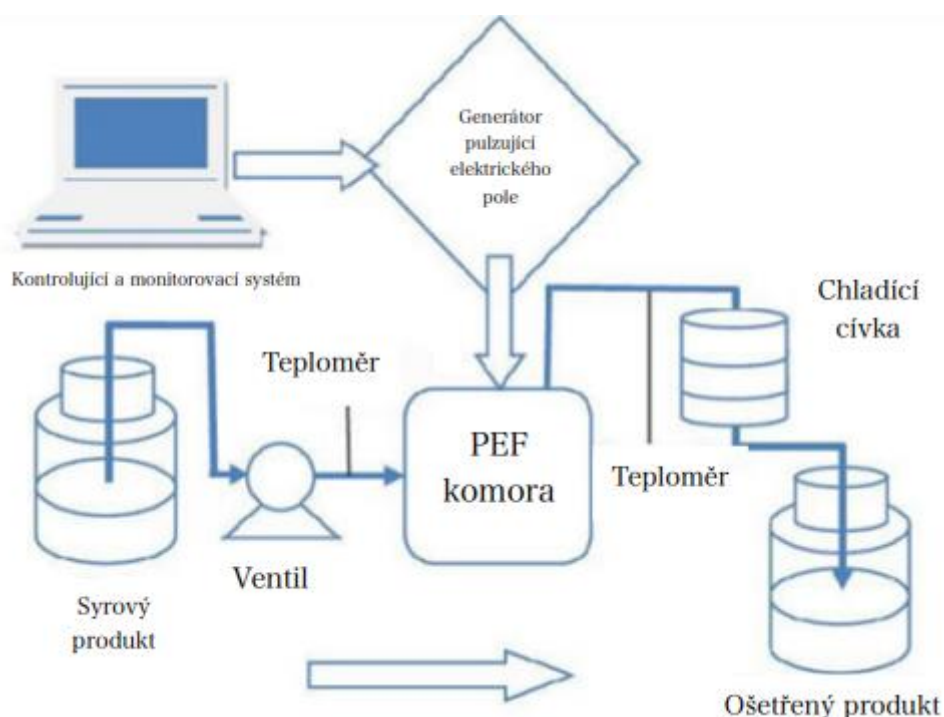
Mechanismus, kterým PEF snižuje množství mikroorganismů, je založený na elektrické polarizaci buněk bakterií a mikroorganismů. Po aplikaci pulzujícího elektrického pole dochází k porušení nebo kompletnímu zničení jejich membrán po aplikaci pulzujícího elektrického pole. Efekt PEF je přirovnáván k efektu dosaženého pasterizací. Hlavním rozdílem je, že u pasterizace dosahujeme vyšších teplot a pozoruje se větší dopad na chuť, barvu a nutriční hodnotu potravin.

Technologii PEF je možno zprovoznit formou kontinuální i diskontinuální. Ošetřovaný předmět vložíme mezi 2 elektrody oddělené nevodivým materiálem. Elektrody zapojíme pod vysoké napětí, které v potravině způsobí nevratný rozklad membrán mikroorganismů. Po ošetření je potravina sterilně zabalena a uložena v chladném prostředí. [11]

## System a jeho parametry

Pro proces PEF potřebujeme zdroj vysokého napětí, kondenzátor, omezovač proudu, spínač, přes který budeme ovládat přenos elektrické energie z kondenzátoru na ošetřovaný objekt, a vhodný prostor (komoru). Pro sledování obvodu používáme osciloskop nebo pokročilejší řídicí programy. Z generátoru vysokého napětí získáme elektrickou energii, kterou uchováváme v kondenzátoru. Tuto energii pak vypustíme do PEF komory, a tím generujeme pulzní elektrické pole v ošetřované potravíně. [11] Schéma systému je zobrazeno na obrázku 3.

Součástí aparatury mohou být další pomocné součásti. Jedno z těchto zařízení je modulátor. Modulátor zaručuje vznik pulzů s konstantním napětím a dovolí nám nastavovat frekvenci a další potřebné parametry pro individuální případy. PEF komora se většinou konstruuje ve formě izolované válcové trubky, která je zapojena jako elektroda a protéká v ní ošetřovaný produkt. Uvnitř trubky se nachází vnitřní elektroda. Ta má většinou také válcovitý tvar a je umístěna v ose vnější trubky z důvodu homogenity elektrického pole. Hlavní charakteristikou PEF komory je její schopnost co nejméně ovlivňovat rovnoměrný proud kapaliny a zaručit vznik co nejrovnoměrnějšího elektrického pole. Tyto dvě vlastnosti si ale odporují, a proto se snažíme najít kompromis a pro konkrétní potraviny PEF komoru optimalizovat. Dva hlavní elementy každé PEF komory jsou použité elektrody a jejich izolátor mezi nimi. Mezery mezi elektrodami se pohybují v jednotkách cm. [13]



Obr. 3 - Schéma PEF systému [14]

## Příklad z praxe

Technologii pulzního elektrického pole byla rozšířena z laboratorních rozměrů do výroby. PEF se v praxi používá čím dál více, protože je možné dodržet požadavky na bezpečnost ve velkém měřítku. PEF nahrazuje tradiční úpravy potravin využívající zvýšení teploty. PEF má menší dopad na potravinu a využívá méně energie. V roce 2015 bylo postaveno více než 100 procesních systémů, které využívají PEF technologii. [12]

Na českém trhu se již objevila firma VITAVE zabývající se problematikou PEF technologie. Nabízí 2 PEF systémy – OMNIPEF a ASSEVO. [15]



Obr. 4 - PEF systémy OMNIPEF (vlevo) a ASSEVO (vpravo) [15]

Tyto systémy mají rozsah operačních parametrů uvedený v tabulce 2.

Tabulka 2 - Operační parametry PEF systémů [15]

	<b>OMNIPEF</b>	<b>ASSEVO</b>
<b>Napětí</b>	Až 20kV	Až 20 kV
<b>Intenzita elektrického pole</b>	66 kV/cm	66 kV/cm
<b>Proud</b>	Až 1000 A	Až 5000 A
<b>Maximální výkon</b>	36 kW	100 kW
<b>Frekvence</b>	50 kHz	50 kHz
<b>Délka pulzu</b>	500 ns – 100 μs	500 ns – 100 μs

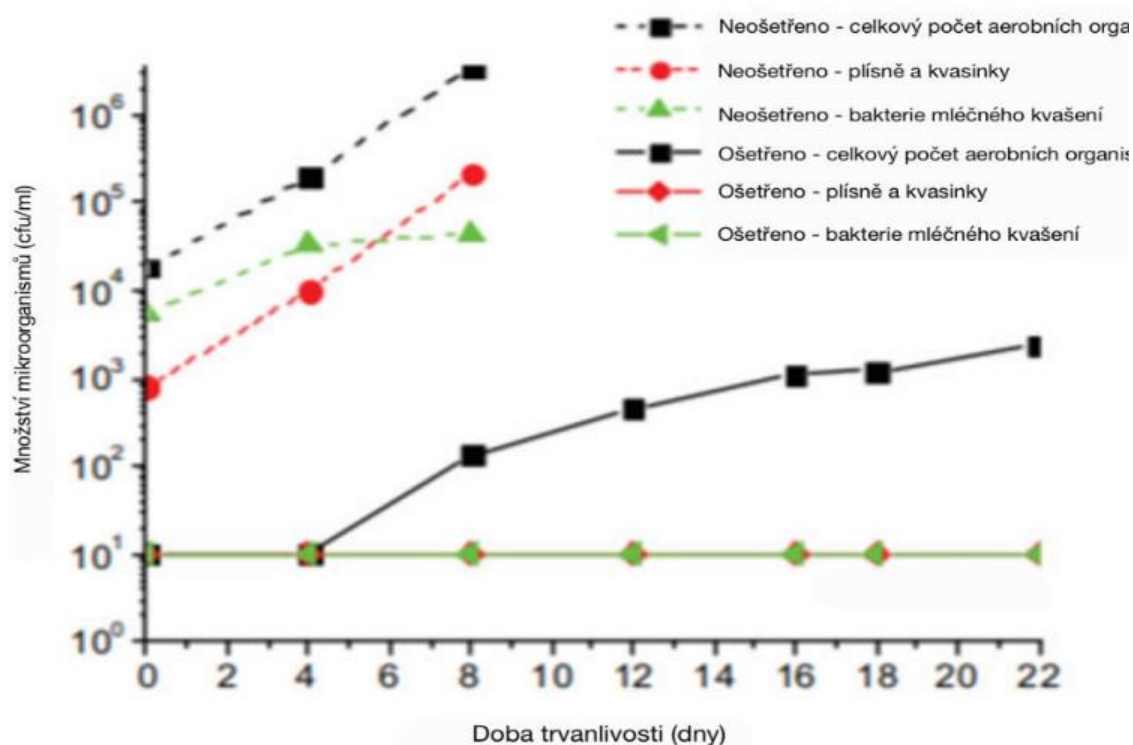
Klasická aplikace těchto PEF systémů je zakomponování do potravinářských linek. Tím je dosažena optimalizace procesu. Systémy PEF je možné využít i na experimentální výzkum. [15]

## Závěr

PEF se soustředí na omezení mikroorganických procesů. Stále ale neřeší problém odstranění virů a spór, které nepodléhají elektrické polarizaci membrán. Tato metoda se projevila jako efektivní pro prodloužení doby trvanlivosti potravin.

Ve většině aplikací se ošetřuje tekutina, která proudí PEF komorou (speciálním potrubím). PEF aplikace jsou schopné ošetřit například i kousky potravin v tekutině (brambor v polévce). Musí se ale ověřit dostatečný průtočný průřez potrubí, který zaručí, že se nebudou vyskytovat problémy s ucpáváním. [16]

Co se týče použití této technologie ve větším měřítku je potřeba zvýšit výkon z jednotek kW na stovky kW. Při použití elektrod z oceli se setkáváme s problémem elektroodové koroze. Problém koroze se může objevit již po pár hodinách v provozu a může dojít k znehodnocení potravin. Proto je vhodné používat například elektrody z titanu nebo platiny, nebo využívat co nejkratší pulzy, při kterých nestihne vzniknout korozní vrstva na elektrodě. Díky PEF můžeme prodloužit minimální dobu spotřeby ze 7 až na 21 dní. Tuto technologii se podařilo uplatnit v rozsahu až 10 000 l/h, a tím snížit provozní náklady na ošetření na 0,01-0,02 EUR/ litr tekutého média. [17] Na obrázku 5 je uvedeno pozorování ošetřené a neošetřené potravinou metodou PEF.



Obr. 5 - Graf závislosti množství mikroorganismů a dní trvanlivosti potravin ošetřené PEF metodou [17]

Tabulka 3 - Výhody a nevýhody PEF

<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
Rychlé a efektivní	Vysoké investiční náklady
Probíhá za nižších teplot	Pouze zastaví růst vegetativních baterií
Zachovávání vyšší nutriční hodnoty než klasické technologie	Nedeaktivuje enzymy
Provoz technologie je ekonomicky nenáročný	Nutné uchování v nízkých teplotách po ošetření
Vhodné pro džus, mléko, polévku – obecně ověřená pro tekuté potraviny	Nevhodné pro potraviny se vzduchovými bublinami a nízkou elektrickou vodivostí

### **1.4.2. Ošetření potravin studenou plazmou**

#### **Dělení a vlastnosti plazmy**

Plazma je ionizovaný plyn složený z iontů, uvolněných elektronů, radikálů, atomů a molekul v přirozeném nebo excitovaném stavu. Plazma je dělena podle teplotního kritéria na vysokoteplotní a nízkoteplotní. Ve vysokoteplotním plazmatu existují všechny částice v termodynamické rovnováze (teplota elektronů a teplota těžších částic cca 10 000 K). Nízkoteplotní plazma je dále dělena na kvazistatickou a studenou plazmu neboli nestatickou plazmu. Ve studené plazmě se nenachází částice v rovnováze (teplota elektronů cca. 10 000 – 100 000 K, těžší částice cca. 300–1000 K). [18]

Studená plazma kombinuje schopnost sterilizovat povrch potraviny a zároveň ho díky svojí teplotě nijak neovlivnit z nutričního nebo vzhledového hlediska. Tím pádem je vhodná pro materiály citlivé na změny teplot. Ze začátku výzkumu byla hlavní překážkou tvorba plazmy při atmosférickém tlaku. [19]

#### **Princip ošetření studenou plazmou**

Přesný mechanismus, který vede ke sterilizaci potraviny, není známý a je předmětem výzkumu. Při vystavení potraviny proudu studené plazmy jsou buňky mikroorganismů ozařovány UV zářením. Účinky UV záření na potraviny nejsou plně objasněné. Spekuluje se, zda UV záření nese důležitou roli ve sterilizaci potraviny, či ne. Při experimentech na nejběžnějších bakteriích byl dopad UV záření nepatrný. Většina vědců se domnívá, že UV záření studené plazmy nemá vhodnou vlnovou délku nebo je absorbováno prostředím mezi potravinou a zdrojem. Na obalu buňky ale může kvůli hromadění náboje dojít k permeabilizaci, následně pak ke vzniku pórů a trhlin. Tento jev se obecně označuje jako mechanická eroze.

Reaktivní částice plazmy, jako je například kyslík a ozon, mají za příčinu oxidaci molekulových struktur a makromolekul. Toto poškození může vést až k buněčné smrti. Nejdůležitější složky plazmy, které vedou k ničení mikroorganismů, jsou hydroxylové radikály a kyslík. Ošetření studenou plazmou způsobí peroxidaci tuků, což vede k negativním změnám odolnosti buněčné membrány. [19] Parametry ošetření technologií studené plazmy pro různé druhy potravin jsou shrnuty v tabulce 4.

## Dopad na potraviny

Jedním z nejdůležitějších kritérií pro nové metody je, jak ovlivní potravinu a její nutriční hodnotu. Studená plazma je velmi účinná v prodloužení doby trvanlivosti. Při ošetření studenou plazmou nedosahujeme vysokých teplot, tím pádem má minimální negativní dopad na většinu potravin.

Jedna ze sledovaných vlastností je barva potraviny. Její změna po úpravě může negativně ovlivnit marketingový úspěch potraviny. Barva potraviny je ovlivňována přítomností enzymů a jejich reakcemi. V některých případech opakované nebo dlouhodobější úpravy studenou plazmou, konkrétně u zeleniny a ovoce, se objevil negativní dopad na barvu a celkový vzhled potraviny. Tomuto negativnímu dopadu se předchází snížením reakčního času.

Další z důležitých vlastností potraviny je textura. Ve většině případů se zjistilo zachování stejné textury po ošetření. Mezi některé výjimky, u kterých se prokázal negativní dopad, patří borůvky. [20]

Ošetřování studenou plazmou má dopad i na pH a kyselost potraviny. Dochází k reakci vysoce reaktivních plynů plazmy ve vlhkém prostředí. V pevných látkách plazma reaguje s povrchovou vodou a tvoří kyselé sloučeniny pouze na povrchu, zatímco u tekutých látek pozorujeme větší dopad v celém objemu. [20]

**Tabulka 4** - Dopad na potraviny ošetřené studenou plazmou a parametry ošetření [19]

Ošetřovaný produkt	Podmínky ošetření	Dopad na potravinu
Vepřové maso	Plyn: Směs dusíku a kyslíku Frekvence: 15 kHz Výkon: 2 W Napětí: 2 kV	Malé změny barvy a chuti Textura zachovalá
Hovězí maso	Plyn: Směs dusíku a kyslíku Frekvence: 15 kHz Výkon: 2 W Napětí: 2 kV	Malé změny barvy a chuti Textura zachovalá
Kuřecí maso s kůží	Plyn: Směs hélia a kyslíku nebo vzduch Frekvence: 30 kHz Napětí: 16 kV	Nepozorujeme žádné změny
Vaječný bílek	Plyn: Směs dusíku a kyslíku Frekvence: 50 kHz Napětí: 2 kV Vzdálenost zdroje: 4 cm	Zvýšení hustoty Žádný dopad na senzorní vlastnosti
Vaječný žloutek	Plyn: Směs dusíku a kyslíku Frekvence: 50 kHz Napětí: 2 kV Vzdálenost zdroje: 4 cm	Zvýšení hustoty Výrazný dopad na chuť
Jablko	Plyn: Směs argonu a kyslíku Výkon: 8 W Napětí: 10 kV	Nepozorujeme žádné změny

Ošetřovaný produkt	Podmínky ošetření	Dopad na potravinu
	Vzdálenost zdroje: 17 mm	
Borůvky	Plyn: Vzduch Výkon: 549 W Frekvence: 47 kHz Napětí: 70 kV Vzdálenost zdroje: 7,5 cm	Výrazná změna textury a barvy

Studená plazma je využívána i na ošetření potravinových obalů a ošetření povrchu potravin. Předpokládá se využití studené plazmy i v oblasti inteligentních a aktivních obalů.

Dopad na účinnost ošetření ovlivňují parametry použité pro vytvoření plazmy a vlastnosti ošetřovaných mikroorganismů a potravin. Nejčastěji se tedy ošetřuje pouze povrch potravin, ale objemové ošetření bylo také prokázáno u některých tekutých látek. Navíc studená plazma prochází některými obaly a má tedy ošetřující efekt i na zabalené potraviny.

### **Systém a jeho parametry**

Hlavním komponentem každého systému je zdroj studené plazmy.

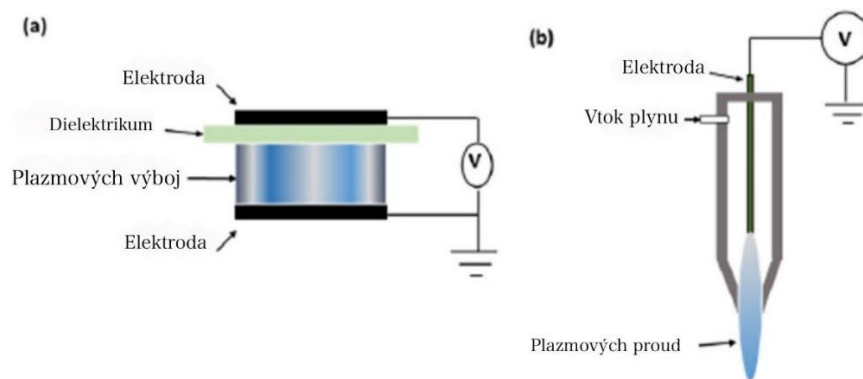
#### **Zdroje plazmy**

Pro vznik plazmy je potřeba jakýkoliv zdroj energie, který je schopný ionizovat plyn (např. elektrická, tepelná energie nebo energie záření). Nejčastěji používanou variantou zdroje pro ionizaci plynu je elektromagnetické pole. [18]

Jedeno z konkrétních uspořádání elektrod pro vytvoření studené plazmy je zobrazeno na obrázku 6a. Jedná se o dielektrický bariérový výbojový zdroj (systém). Skládá se ze 2 elektrod, z nichž alespoň jedna má na povrchu dielektrikum. Vrstva dielektrika se chová jako stabilizátor a napomáhá vzniku volných částic. Další možné uspořádání je zobrazeno na obrázku 6b a jedná se o proudový zdroj plazmy. Skládá se opět ze 2 elektrod – vnitřní a vnější. Vnitřní elektroda je spojená s vysokofrekvenčním zdrojem, a tím přispívá k vzniku ionizovaného plynu. Na konci elektrody vzniká proud plazmy. Tyto zdroje jsou jedny z nejvíce využívaných v praxi. [18]

Složení vznikající plazmy je dáno použitým plynem a jeho průtokem. Regulace průtoku plynu by měla být plynulá. Při dynamické změně průtoku plynu bylo vyzkoušeno snížení počtu bakterií. Na snížení počtu dalších mikroorganismů mělo zvýšení průtoku minimální vliv. Při použití různých plynů se mohou výsledky lišit.

Nejčastěji používanými plyny jsou argon, dusík, hélium, kyslík, oxid uhličitý a jejich kombinace. Jeho účinnost ovlivňuje také vlhkost, kterou používaný plyn obsahuje. Plyny s žádnou, nebo minimální vlhkostí, jsou neúčinné na deaktivaci nejčastějších bakterií jako je třeba *E. coli*. Zvýšením vlhkosti plynu dojde ke zlepšení jeho vlastností pro tuto aplikaci. [19]



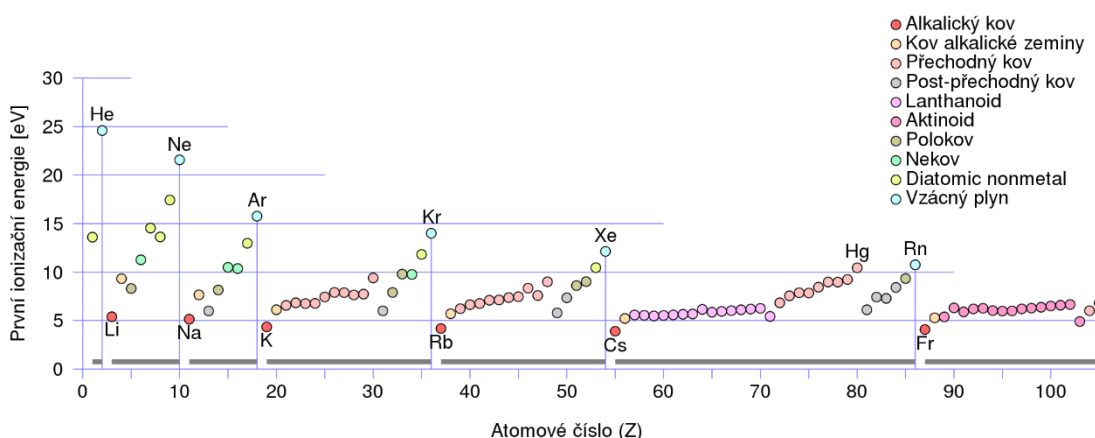
Obr. 6 - Zdroje plazmy a) dielektrický bariérový výbojový zdroj b) proudový zdroj [18]

Doba ošetření se liší v závislosti na velikosti povrchu potraviny. Většinou se pohybuje v intervalu několika sekund až pár minut. Počet zničených mikroorganismů roste s delším časem expozice.

### Napětí, výkon a frekvence zdroje

Dalšími parametry ovlivňující účinky plazmy na potraviny jsou použité napětí, výkon a frekvence zdroje. Zvýšením napětí je dosaženo účinnější deaktivace mikroorganismů jak u rostlinných, tak i živočišných buněk. Při zvýšení výkonu či frekvence dojde také ke zvýšení deaktivace mikroorganismů. Na druhou stranu však existují omezení jako je třeba vysoká cena energií nebo potenciální negativní dopad na potraviny díky zvýšení okolní teploty v průmyslovém použití. Musel by se vyřešit problém chlazení zdrojů a zajištění přijatelného prostředí pro potraviny. [19]

Minimální potřebné napětí pro vznik studené plazmy je závislé na velikosti ionizační energie použitého plynu. Ionizační energie je práce potřebná k odtrhnutí nejslaběji poutaného elektronu z atomu. Ionizační energie se většinou vyjadřuje v eV, viz obr. 7. [21]

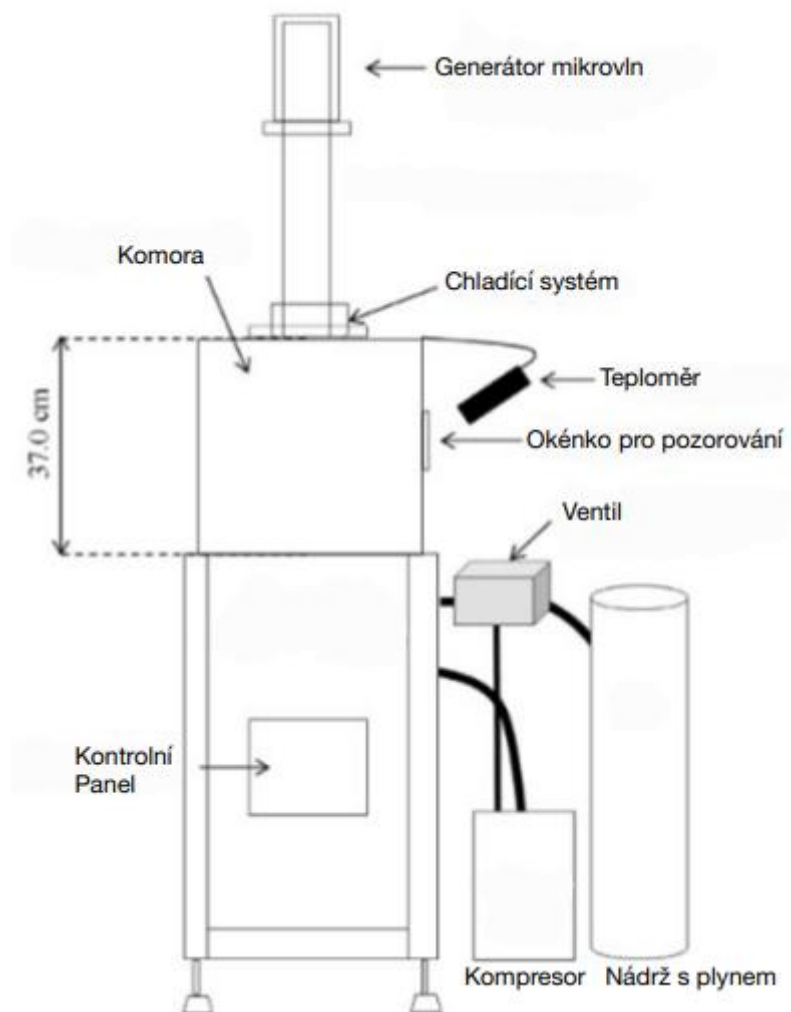


Obr. 7- Graf závislosti ionizační energie na atomovém čísle [21]



### Konkrétní příklad systému

Systém pro ošetření studenou plazmou, zobrazení na obr.8, se skládá z mikrovlnného generátoru, chladicího systému, komory na studenou plazmu, ventilu na kontrolu průtoku, kompresoru a ovladače parametrů. Mikrovlnný generátor vytváří výboje o frekvenci 2,45 GHz a výkonové úrovni 50-1000 W. Komora je většinou vyrobená z nerezové oceli. Typické rozměry se pohybují okolo 500 mm. Systém je ochlazován proudící vodou (proud cca 0,8 m<sup>3</sup>/min). Proud vznikající plazmy ovládáme ventilem, který řídí průtok plynu, který je poté ionizován za vzniku plazmy. Celý systém se koriguje (např. aktuální tlak a výkon) a sleduje přes řídicí systém. [22]



Obr. 8 - SWU-2 CPT systém [22]

### Aplikace a konkrétní využití studené plazmy

Studená plazma je často testovaná na pevných potravinách. U mnoha potravin vykazuje minimální změny sensorických vlastností. Ošetřování studenou plazmou se také osvědčilo u úpravě tekutin, jako je například jablkový či pomerančový džus. Dále se studená plazma široce využívá na sterilizaci obalů. Studená plazma je jednou z možných náhrad chemické sterilizace a sterilizace nástrojů. [19]

Některé experimenty ukazují, že při aplikaci studené plazmy došlo k výrazné změně barvy a chuti např. u mrkve nebo vaječných žloutků. Jedním z dalších využití

by mohla být voda ošetřená studenou plazmou, která by se pak dále používala na očištění povrchu potravin. Tato metoda se osvědčila u jahod a hub a jeví se jako jedna z možných alternativ pro chemické ošetřování povrchu potravin. [19]

Studená plazma má své využití i mimo potravinářství. Plazma se rozšířeně používá na úpravu povrchu různých materiálů. Dále může být využita na úpravu absorpce vody, nebo na změnu sekundární struktury lepku v mouce, a tím modifikovat vlastnosti vzniklého produktu. [19]

### **Závěr**

Ošetření studenou plazmou můžeme dělit na přímé a nepřímé. V případě přímého ošetření je potravina uložena v místě, kde bude vznikat plazma, tím pádem má přímý kontakt s volnými částicemi plazmy. V případě nepřímého ošetření je vznikající plazma v určité vzdálenosti od potraviny. Proud plazmy je na povrch potraviny dopraven proudem dalšího plynu. U nepřímé metody je důležitý další provozní parametr, který ovlivňuje výsledek ošetření, a to je vzdálenost potraviny od zdroje. Při přímém ozáření plazmou dosahujeme delšího prodloužení trvanlivosti. V některých případech může být nepřímé ozařování účinnější pro konkrétní bakterii či mikroorganismy.

Studená plazma se jeví jako jeden z dalších nadějných řešení pro prodloužení trvanlivosti potravin. Hlavně se ošetření plazmou ověřilo u ryb a mořských plodů. Jeden z problémů je v oxidaci bílkovin a tuků. Návrh na řešení je zkombinovat ošetření studenou plazmou a antioxidanty. Ošetření studenou plazmou kombinuje téměř perfektní sterilizaci povrchu s nízkou teplotou provozu. Toto ošetření trvá průměrně pouze minutu a dosahuje výrazného snížení mikroorganické činnosti (5 log). Průměrně dosahujeme prodloužení trvanlivosti o 200 %. [19]

**Tabulka 5 - Výhody a nevýhody ošetření studenou plazmou**

<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
Dosažení mikroorganické deaktivace za nízkých teplot	Pro použití je důležitá velikost a pravidelnost ošetřované potraviny
Vhodné pro syrové a čerstvé potraviny	Může zrychlit nežádoucí oxidaci tuků a proteinů
Nemění nutriční hodnotu a hlavní vlastnosti potraviny	Možná změna barvy potraviny
Omezená spotřeba vody	Nedostatek informací o možných toxických látkách vzniklých při ošetření
Ošetření není časově náročné	Potřebná zvýšená bezpečnost pro používání zdrojů plazmy

### **1.4.3. Chytré a aktivní obaly**

Hlavním cílem aktivního obalu je maximálně prodloužit dobu spotřeby, co nejdéle uchovat výsledek předchozí úpravy, poskytovat spotřebiteli informaci o čerstvosti a ochránit potravinu před mechanickým poškozením. Součástí aktivního obalu jsou například teplotní indikátory, senzory konkrétních plynů a indikátory zralosti. Aktivní obaly jsou schopny reagovat s okolím. Aktivní složky obalů jsou například organismy živící se kyslíkem nebo ethylenem, čímž napomáhají prodloužení trvanlivosti. [23]

## Komponenty a druhy inteligentních obalů

Pro výrobu inteligentních obalů se využívají 3 technologie: nosiče dat, indikátory a senzory.

### **Nosiče dat**

Nosiče dat nejsou využívány pro sledování kvality a stavu potravin, ale na zajištění dohledatelnosti, částečné automatizace a ochrany před krádeží. Nosiče dat jsou schopny přenášet data o zásobování a distribuci potravin. Hlavními zástupci této technologie jsou BAR nebo QR kódy, viz obrázek 9 a 10. V některých případech jsou nosiče informací propojeny s indikátorem čerstvosti, a v případě zvýšené koncentrace bakterií a mikroorganismů dojde k začernění některých částí kódů, a tím pádem je kód dále nečitelný. [23]



Obr. 9 - BAR kód [23]



Obr. 10 - QR kód [23]

### **Indikátory**

Indikátory určují přítomnost nebo nedostatek konkrétní látky. Dokážou i určit v jakém rozsahu proběhly některé reakce v potravine. Tyto změny pozorujeme změnou barvy nebo odstínu na indikátoru, který je umístěný na vnitřku nebo vnějšku obalu.

Mezi konkrétní zástupce patří například TTI indikátory (Time Temperature Indicator). Teplota je jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující rychlost kažení potravin. Při nevhodné teplotě dochází k nadměrnému růstu mikroorganismů, což vede ke zkažení. Tento druh indikátorů je obecně velmi jednoduchý a cenově dostupný. Mezi nejčastěji používané typy patří indikátory kritické teploty, částečné nebo celkové historie produktu.

Princip TTI indikátorů je založený na sledování změn teploty v závislosti na čase a vztah těchto změn ke změnám mechanickým, chemickým, mikroorganických a enzymových. TTI indikátory jsou považované za snadno použitelné, příklad je uveden na obrázku 11. [23]



Obr. 11 - Výklad TTI indikátorů – Fresh-Check od firmy Lifeline Technologies [23]

## Senzory

Senzory jsou zařízení, která umožňují detekovat a určit problematické oblasti se zvýšenou koncentrací mikroorganismů a tuto informaci dále posílají ve formě elektrického, chemického nebo optického signálu. Standardní senzor se skládá ze 2 hlavních komponentů, a to z receptoru a akceptoru. Pro určení míry čerstvosti se převážně využívají senzory plynové. Jedná se konkrétně o senzory CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>S.

Další třídou senzorů využívaných v potravinářství jsou biosenzory. Hlavním rozdílem mezi klasickými chemickými senzory a biosenzory je složení receptoru. Biosenzory mají receptor z enzymů, hormonů a nukleových kyselin. [23]

## Závěr

Inteligentní obaly stále nejsou velmi rozšířené, hlavně se s nimi setkáme v USA nebo v některých oblastech Asie. V budoucnu se musí určit pro jaké druhy potravin je využití inteligentních obalů výhodné. Očekávané využití by bylo u obalů masa a ryb. Aktivní a inteligentní obaly mají potenciál se uplatnit i ve farmacii. [23]

Tabulka 6 - Výhody a nevýhody inteligentních obalů

<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
Jednoduchá aplikace	Složitější obaly mají stále velmi vysokou cenu
Omezuje plýtvání jídlem	Negativní dopad na marketing méně čerstvých potravin
Omezuje riziko otravy potravinou	Potřeba konkrétních obalů pro konkrétní potraviny – nejsou víceúčelové
Dohledatelnost informací o produktu	Nedořešená možnost recyklace
Levná pořizovací cena (kódy BAR, QR)	Možnost chyby nebo nevhodného umístění senzoru

### 1.4.4. Moderní metody zmrazování

Mrazení je velmi využívaná a ověřená metoda uchovávání potravin. Mrazení ale může způsobovat fyzické i chemické změny potraviny. Proto se dále zkoumá, jak tyto změny omezit nebo ideálně odstranit. Jedním z hlavních faktorů pro určení, zda je metoda mrazení pro potravinu výhodná, je teplotní vodivost. Při vzniku jemné struktury ledových krystalků vznikají rozsáhlé přestupné plochy, a tím pádem klesá teplotní vodivost. Materiál se chová jako izolant, což je z pohledu zmrazování výhodné. Pro potraviny jako maso a ryby je tato metoda vhodná. Na druhou stranu pro potraviny jako zelenina s vysokým obsahem vody je velmi nevýhodná a může kompletně změnit texturu.

Pro omezení vzniku velkých zmrzlých krystalků se vyvíjí např. metoda rychlého zmrazování. Při zkrácení doby mrazení a zvýšení intenzity dochází ke vzniku menších krystalků, které neničí strukturu potraviny. [24]

## Druhy metod

### Zmrazování srážením (IF)

Tato metoda se využívá pro zvýšení povrchového přenosu tepla. Srážení realizujeme pomocí proudu tekutiny, který je namířen na ošetřovanou potravinu. Proud zmrazovací tekutiny je poměrně silný, pohybuje se okolo 50 m.s<sup>-1</sup>. Pomocí

tohoto proudu narušíme povrchovou vrstvu plynu, která za normálních podmínek omezuje přestup tepla. Metoda je vhodná pro potraviny s velkým poměrem povrchové plochy vůči hmotnosti. Díky své poměrně jednoduché realizaci, efektivním výsledkům a zkrácení potřebného času na zmrazení se metoda dočkala komerčního úspěchu. [24]

#### ***Zmrazování s pomocí změny tlaku (PAF)***

Pomocí působení vysokého konstantního tlaku, ve většině případů 200–400 MPa, je ovlivněna vznikající struktura při zmrazování. Při snížení teploty vody dojde ke zvětšení jejího objemu. Právě tento jev má za důsledek narušení přirozené struktury potraviny a následné možné snížení nutriční hodnoty. Při využití této metody potravina neprochází fázovou změnou, až po snížení tlaku dojde k rychlému vzniku krystalické struktury. Díky předchozímu působení vysokého tlaku vzniká krystalická látka s jemnější a rovnoměrnější strukturou. Tato struktura se vyznačuje lepšími mechanickými vlastnostmi a malým předpětím. Metoda PAF by mohla být velmi přínosná pro zmrazování velkých potravin se špatnou teplotní vodivostí. Jedna z velkých nevýhod PAF je vysoká pořizovací cena. [24]

#### ***Zmrazování s pomocí ultrazvuku***

Ultrazvuk je v potravinářství dlouhodobě využíván. Jedno z novějších využití ultrazvuku je právě u procesu zmrazování. Pro toto konkrétní využití používáme formu ultrazvuku s nízkou frekvencí (18-20 kHz až 100kHz) a vysokou intenzitou (1 W/cm<sup>2</sup>). Kvůli působení ultrazvuku vznikají kavitační bubliny v potravine, které napomáhají rychlému vzniku jemných ledových krystalek. Existují i domněnky o pozitivním vlivu ultrazvuku na teplotní vodivost potraviny. Ultrazvuk dále snižuje aktivitu některých enzymů, čímž dosahujeme delší trvanlivosti. [24]

#### ***Zmrazování s pomocí mikrovln***

Vystavením vodíkového dipólu radiaci mikrovln dojde k rozrušení vznikající ledové struktury. Jedná se o novou technologii, která je stále pouze ve vývoji a laboratorním měřítku. [24]

#### ***Dehydratované zmrazování***

Jedná se o poměrně jednoduchou metodu zmrazování. Ošetřovaná potravina je před samotným zmrazováním dehydratovaná. Dehydratování napomůže vzniku malého množství ledových krystalek ze zbytkové vlhkosti bez dramatického zvětšení objemu a narušení buněčné struktury. [24]

### **1.4.5. Lyofilizace**

Lyofilizace neboli sušení mrazem spočívá v odstraňování vody z potraviny sublimací ledových krystalků. Obecně lze touto metodou dosáhnout lepších výsledků než v případě klasického sušení. Lyofilizace je často využívána jak ve farmaceutickém, tak i potravinářském průmyslu. [25]

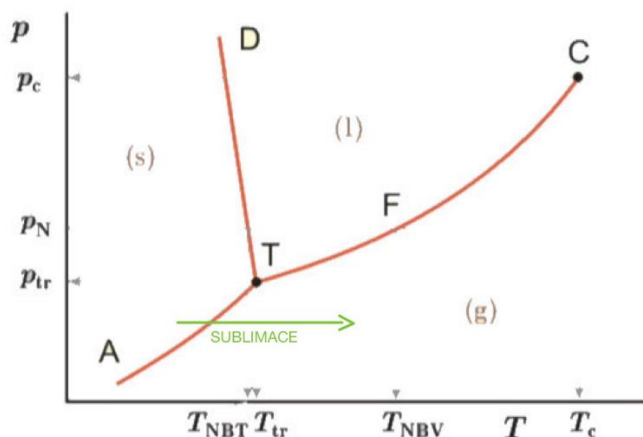
#### **Princip**

Tento proces je možno rozdělit do čtyř kroků: **předúprava, zmrazení, primární a sekundární sušení.**

Předúprava může být například změna koncentrace jednotlivých složek. Tato změna napomáhá stabilnějšímu průběhu úpravy. Další předúprava je zvětšení plochy potraviny (sekání, drcení).

Druhou fází je zmrazování potravin. Postupným snižováním teploty ochlazujeme vodu v potravine, než dojde k formování ledových krystalků.

Primární sušení je samotná sublimace vzniklých ledových krystalků. Sublimace je přímá fázová přeměna z pevné do plynné fáze bez vzniku kapalné mezifáze. Tohoto jevu je možné dosáhnout při podtlaku a nízké teplotě. Tato oblast se nachází pod trojným bodem vody ve fázovém diagramu, viz obr. 12. [26]



Obr. 12- Fázový diagram I.-Pevná fáze II.-Kapalná fáze III.-Plynná fáze T-trojný bod vody [28]

Sekundární sušení je proces následné desorbce. Desorbce je děj, při kterém se látka zachycená ve fázovém rozhraní tuhé látky postupně uvolňuje. V tomto konkrétním případě jde o uvolňování zbytkové nezmrzlé vody z produktu. [26]

### System a jeho parametry

Lyofilizační komora je odizolovaná konstrukce s vnitřním vakuem, viz obr. 13. V komoře jsou vestavěny police, na které jsou pokládány ošetřované potraviny. Police přivádí a odvádí teplo kontaktem s potravinou do a z chladicího systému. Police lyofilizační komory může být rozsáhlá až 4 m<sup>2</sup>.

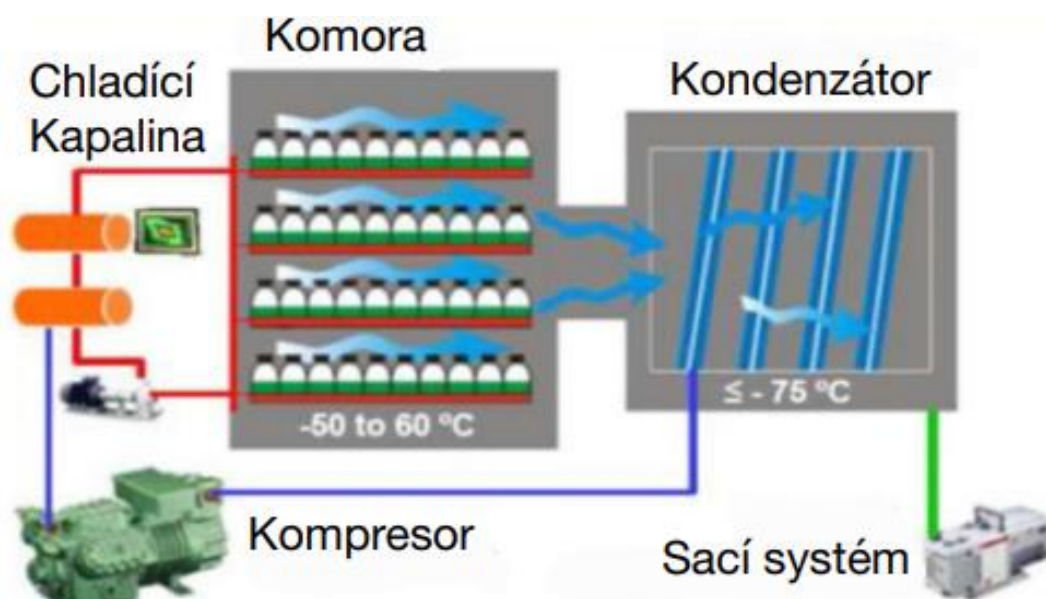
Kondenzátor je určen pro zachycování vody během sušení potravin. Kondenzátor je složen trubek nebo plechů, které jsou ochlazené. Kondenzátory dělíme na vnitřní a vnější podle toho, zda se teplosměnná plocha nachází uvnitř komory nebo na vnějšku komory. Nejčastěji je využíván vnější kondenzátor, který je umístěn za lyofilizační komorou. Při využití vnitřního kondenzátoru by se trubky nebo plechy nacházely pod policemi.

Pro správný průběh lyofilizace je zapotřebí, aby po odebrání tepla zmrazením, bylo toto teplo postupně využíváno během primárního a sekundárního sušení. Ve většině případů lze tohoto efektu dosáhnout pomocí proudící kapaliny, která obtéká police s ošetřovanou potravinou. Kapalina musí mít konkrétní teplotu, která je dosahovaná pomocí elektrického topného tělesa. Pro obtékání se většinou volí silikonový olej.

Pro zmrazování potravin je potřeba chladicí systém. Ten je sestaven z několikastupňového kompresoru nebo tekutého dusíku. Pro přenos vody

z potraviny do kondenzátoru je využíváno několik pump, které pomocí změny tlaku tento přenos zajistí.

Aparatura je vybavena kontrolním systémem a několika senzory. Konkrétně jde o teploměry a senzory tlaku, které monitorují správný průběh. [25]



Obr. 13- Systém pro lyofilizace [27]

### Aplikace

Lyofilizace je využívána na úpravu farmaceutických produktů citlivých na změnu teploty jako jsou třeba antibiotika a vakcíny. V potravinářství je využívána pro snížení obsahu vody, což vede ke snížení hmotnosti produktu a zhoršení životních podmínek mikroorganismů. Mezi nejpobulárnější výrobky patří zmrzlina nebo ovoce sušené chladem. Tato metoda se používá i na úpravu potravin pro astronauty viz obrázky 14 a 15. Tato metoda se používá i v chemickém průmyslu na stabilizaci produktů a zvýšení jeho rozpustnosti ve vodě. Velmi zřídka je používána i na ošetření vzácných dokumentů. [25]



Obr. 14- Zmrzlina pro astronauty [29]



Obr. 15- Ovoce sušené mrazem [30]

## Závěr

Lyofilizace patří mezi široce využívané metody už desítky let. Za pomoci této metody dosahujeme vysokého prodloužení doby trvanlivosti. Metoda lyofilizace umožňuje zpracování jinak velmi náročně zpracovatelných potravin. Díky zmenšení hmotnosti a objemu dojde ke snížení nákladů na balení a převoz. I přesto je lyofilizace jedna z dražších možností úprav potravin.

Tabulka 7 - Výhody a nevýhody lyofilizace

<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
Výrazně snížíme hmotnost	Jedna z nejdražších metod úpravy potravin
Odstraníme až 99,5% vody	Potřeba sterilního prostředí pro úpravu
Ošetřená potravina nepotřebuje následně speciální podmínky	Mění texturu a barvu
Šetrné, vhodné pro ovoce, bylinky a kávu	Poměrně dlouhý proces
Dosahujeme dlouhodobého efektu (až 2 roky)	Diskontinuální proces



## 2. Praktická část

V rámci praktické části budou navrženy 2 zařízení na ošetření kolagenních pásků studenou plazmou. Toto zařízení bude součástí výrobní linky. Návrh bude obsahovat koncept ošetřujícího zařízení, zakomponování do linky, návrh transformátoru, kontrolu ohřívání drátu v transformátoru, výpočet kapacity a ekonomické náročnosti linky.

### 2.1. Ošetřovaná látka a její forma

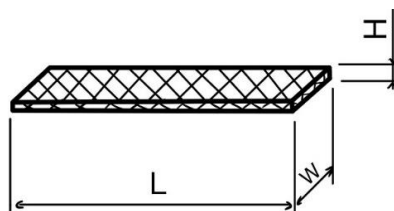
#### Kolagen

Kolagen je bílkovina vláknitého charakteru, která plní spojovací funkci v těle. Kolagenová vlákna vykazují dobrou odolnost proti tahovému napětí. Je velmi důležitý pro správnou funkci kloubů a kostí. V roztoku svodou mění svoji konzistenci na konzistenci připomínající želatinu. Kolagen má mnoho typů, které se mohou klasifikovat podle funkce, velikosti vláken a uspořádání.

Kolagen je především využíván v potravinářském, kosmetickém a lékařském průmyslu. V potravinářském průmyslu se využívá na doplňky stravy, aditiva pro zlepšení sensorických a reologických vlastností, na jedlé obaly (např. párky) a speciální nápoje. V kosmetickém průmyslu se s kolagenem setkáme především v pečující kosmetice. V medicíně je kolagen využíván ve formě injekcí, které se přímo vpravují do postižené oblasti (většinou klouby). [4]

#### Rozměry vzorku

Vzorek kolagenu určený k ošetření studenou plazmou má rozměry 100 x 20 x 2 mm, viz obr.16.



Obr. 16 - Skica vzorku

#### Parametry procesu ošetření

Vycházet budu z experimentálně ověřených dat používaných pro ošetření kuřecího masa, rozměrů vzorku a dostupných prostředků. [19]

Tabulka 8 – Stanovené parametry procesu

Parametr	Hodnota
Výkon elektrického obvodu	500 W
Odebírané napětí ze sítě	230 V
Požadované napětí pro vznik plazmy	6000–7000 V
Provozní teplota	Max 60 °C
Doba expozice	30 s

Jsou navrženy dva koncepty, **diskontinuální s použitím výbojového zdroje plazmy a kontinuální s použitím proudového zdroje studené plazmy.**

Pro oba návrhy je potřeba dosáhnout vysokého napětí pro překonání ionizační energie plynu a následného vzniku plazmy. Napětí ve většině případů dosahuje jednotek až desítek kV. Pro dosažení tohoto napětí využiji transformátoru.

## 2.2. Návrh a výpočty parametrů transformátoru

### Potřebný poměr závitů, výpočet proudu, cena za energii

Pro převod napětí transformátoru platí rovnice (1). Tohoto převodu dosáhneme vhodným poměrem závitů na primárním a sekundárním vinutí. Potřebné napětí je přímo úměrné ionizační energii použitého plynu. Tato hodnota je ovlivnitelná tlakem a teplotou. Tento experiment je zaměřen čistě na vznik plazmy za atmosférického tlaku a snažíme se nepřesahovat teplotu vznikající plazmy 30-60°C.

$$z = \frac{U_1}{U_2} = \frac{7000}{230} = 30,4 \quad (1)$$

V tomto poměru se ale změní i proud na sekundárním vinutí. Na vznikající proudy se musí dávat zvýšená opatrnost na bezpečnost, a popřípadě zajistit izolaci vedení.

Pro využití transformátoru s tímto poměrem navrhuji použít poměr závitů 100/3000 závitů a předpokládaný výkon sítě 500 W, dle doporučených hodnot z literatury. Pak budou vznikající proudy odpovídat výpočtu:

Pro výkon platí vztah,

$$P = U_1 \cdot I_1 \quad (2)$$

Potom je možné spočítat proudy:

$$\rightarrow I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{500}{230} = 2,17 \text{ A}$$

$$\rightarrow I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{500}{7000} = 0,07 \text{ A}$$

Z výkonu sítě můžeme určit práci odebranou za osmi hodinovou směnu

$$A = P \cdot t = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ kWh} \quad (3)$$

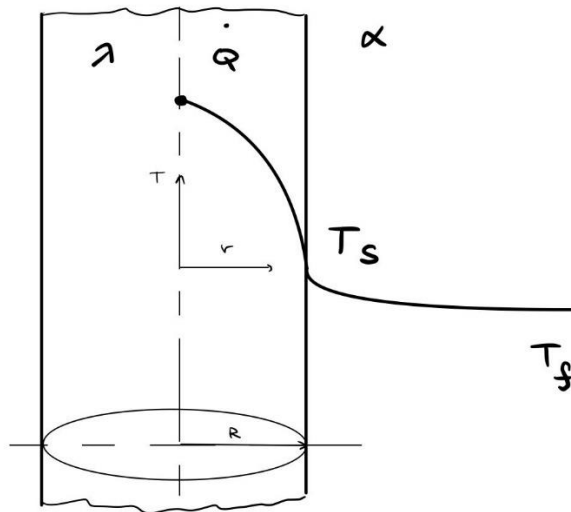
Pro průměrnou cenu 7,15 Kč za 1 kWh [31] vypočteme cenu za energii pro jednu denní směnu.

$$CENA = A \cdot C_{kWh} = 4 \cdot 7,15 = 28,6 \text{ Kč} \quad (4)$$

Předpokládám, že energetická náročnost by měla být stejná jak pro proudový, tak pro výbojový zdroj.

## Výpočet ohřívání transformátoru

Kontrola maximální teploty transformátoru pro vypočtený elektrický proud.



Obr. 17 - Model vedení tepla v drátu (válec s vnitřním zdrojem)

Vycházím z hodnoty součinitele přestupu tepla volnou konvekcí do okolí

$$\alpha = 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Dále pak vycházím z hodnot tepelné vodivosti  $\lambda$  a měrného elektrického odporu  $\rho$ , které jsou dány použitým materiálem.

$$\lambda_{Cu} = 390 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\rho_{Cu} = 0,0178 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$$

Dále je nám známa hodnota proudu v drátu a rozměr drátu (volen), ze kterých můžeme dopočítat objemový zdroj tepla.

$$I_1 = 2,17 \text{ A}$$

$$D = 1 \text{ mm}$$

$$\dot{Q} = \frac{P}{V} = \frac{\rho_{Cu} \cdot I^2}{S^2} = 135\,881,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \quad (5)$$

Pro tento případ dopočítáme Biotovo číslo:

$$Bi = \frac{2 \cdot \alpha \cdot R}{\lambda} = 1,3 \cdot 10^{-5} \quad (6)$$

Pro tento model platí rovnice (za předpokladu zanedbání tloušťky izolace, kde transformátorový vodič je často elektricky izolován pouze vrstvou laku):

$$T(r) - T_f = \frac{\dot{Q}}{4 \cdot \lambda} \cdot R^2 \cdot \left[ 1 + \frac{1}{Bi} - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (7)$$

Po dosazení  $r=R$  a upravení vztahu mi vyšla teplota na stěně vodiče pro teplotu okolí  $T_f = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$T_s = 21,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

Vzhledem k vysoké teplotní vodivosti materiálu a malému rozměru vodiče předpokládám, že teplota v ose vodiče bude stejná jako na jeho povrchu. Při této teplotě nehrozí roztavení vodiče.

### 2.3. Zdroj plazmy

Elektrody použité v samotném zdroji plazmy mají kovový charakter. Jedna z nejlevnějších variant je nerezová ocel. Mezi některé dražší varianty, které lépe odolávají jevu elektrodové oxidace, patří například stříbro, zlato nebo platina.

Pro určení průměrné ceny procesu je důležité vyřešit spotřebu ionizačního plynu. Tuto problematiku jsem řešila pro 2 případy, a to pro využití argonu a vzduchu.

#### Argon (Ar)

Argon je vzácný plyn, který tvoří cca 1% zemské atmosféry. Je bezbarvý, bez chuti a bez zápachu. Argon je pro využití do zdroje studené plazmy vhodný díky své nízké ionizační energii. Tím pádem nemusíme na elektrody přivádět vysoké napětí a vyhneme se problematice vysokých proudů. Dále je také argon díky této vlastnosti využíván v osvětlovací technice. Argon je většinou izolovaný pomocí destilace zkapalněného vzduchu. [21]

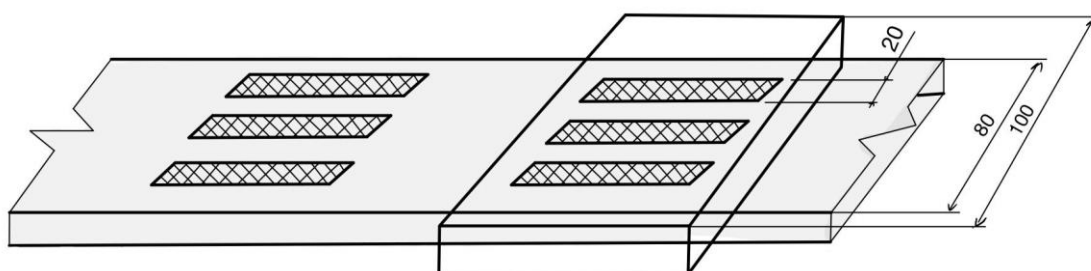
#### Vzduch

Vzduch je na rozdíl od argonu směs plynů. Obsahuje asi 78 % dusíku, 21 % kyslíku, 1 % argonu a další vzácné plyny. Ionizaci vzduchu můžeme pozorovat například jako blesk. Ionizační energie je ovlivněná vlhkostí vzduchu. [21]

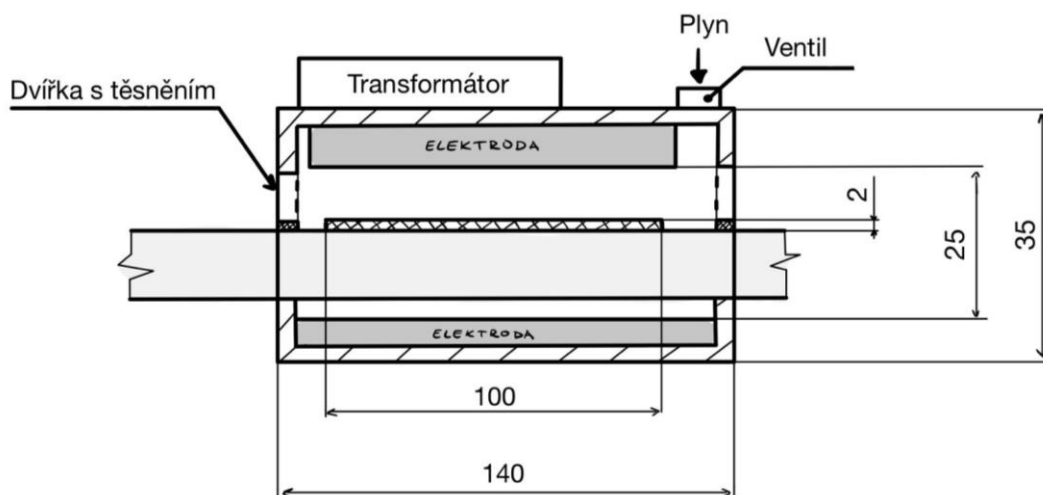
### 2.4. Koncepční návrhy systému ošetření potravin studenou plazmou

#### 2.4.1. Návrh diskontinuální

U návrhu diskontinuálního jsem vycházela z rozměrů vzorku. Na základě těchto rozměrů jsem dimenzovala i rozměry komory na 3 vzorky.



Obr. 18 - Návrh rozměrů komory pro diskontinuální návrh – zvenku



Obr. 19 - Návrh rozměrů komory pro diskontinuální návrh – řez

Hlavními komponentami komory jsou elektrody kovového charakteru. Elektrodová vzdálenost se pohybuje většinou mezi 20-30 mm. Čím větší je mezera mezi elektrody, tím větší napětí potřebujeme pro vznik výboje. Dále je pak komora vybavena ventilem pro přívod plynu a zmiňovaným transformátorem. Komora bude instalována na dopravník a bude vybavena automatickými dvířky s těsněním.

### Výpočty spotřeby plynu

Při použití **výbojového zdroje** by komora fungovala tak, že by dopravník dopravil vzorky do komory, která by se poté zavřela, byla naplněna plynem, který by byl přiveden přes ventil. Spotřeba plynu bude vycházet z celkového objemu komory a hustoty plynu. U výpočtu spotřeby plynu předpokládám výměnu objemu celé komory (nejméně příznivý případ). Pro každé 3 vzorky – 1 set bude odpovídat množství plynu potřebné pro vyplnění celého objemu komory. Výsledné náklady budou odpovídat maximálním nákladům. Ve skutečnosti se při zdokonalení návrhu dostaneme na nižší spotřebu plynu optimalizací chodu a utěsnění a velikosti komory.

Pro můj konkrétní návrh by objem komory odpovídal

$$L_K = 140 \text{ mm}$$

$$W_K = 100 \text{ mm}$$

$$H_K = 35 \text{ mm}$$

$$V_{KOMORY} = W_K \cdot H_K \cdot L_K = 140 \cdot 100 \cdot 35 = 490\,000 \text{ mm}^3 = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (8)$$

Plyn bude odebírán z tlakové nádoby, tím pádem musíme počítat se změnou objemu a hustoty plynu po úniku z nádoby do komory. Pro tento výpočet budeme potřebovat charakteristické vlastnosti plynu pro tlak v nádobě a poté pro atmosférický tlak.

Hustota argonu pro atmosférický tlak:

$$\rho_{Ar \text{ ATMO}} = 1,784 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Hustota vzduchu pro atmosférický tlak:

$$\rho_{Air\ ATMO} = 1,29\ kg \cdot m^{-3}$$

Hustota argonu v lahvi (pro 20 MPa):

$$\rho_{Ar\ 20MPa} = 327,8\ kg \cdot m^{-3}$$

Hustota vzduchu v zásobníku (pro 20 MPa):

$$\rho_{Air\ 20MPa} = 237,6\ kg \cdot m^{-3}$$

Hmotnost plynu na 1 ošetření, což by odpovídalo 3 vzorkům, vyplývá z objemu komory a hustoty plynu při atmosférickém tlaku.

Při využití výbojového zdroje bude hmotnost použitého plynu na 1 ošetření rovna

$$m_{ArKOMORA} = \rho_{Ar\ ATMO} \cdot V_{KOMORY} = 1\ 784 \cdot 0,49 \cdot 10^{-3} = 0,874\ g\ Argonu \quad (9)$$

$$m_{AirKOMORA} = \rho_{Air\ ATMO} \cdot V_{KOMORY} = 1\ 290 \cdot 0,49 \cdot 10^{-3} = 0,632\ g\ Vzduchu \quad (10)$$

Tlaková nádrž o objemu 10 l a tlaku 20 MPa obsahuje:

$$m_{ArLAHEV} = \rho_{Ar\ 20MPa} \cdot V_{NÁDOBY} = 327,8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3,278\ kg\ Argonu \quad (11)$$

$$m_{AirLAHEV} = \rho_{Air\ 20MPa} \cdot V_{NÁDOBY} = 237,6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 2,376\ kg\ Vzduchu \quad (12)$$

Takže jedna lahev vydrží na

$$Počet\ cyklů = \frac{m_{ArLAHEV}}{m_{ArKOMORA}} \cong 3750\ cyklů \rightarrow cca.\ 11\ 250\ vzorků \quad (13)$$

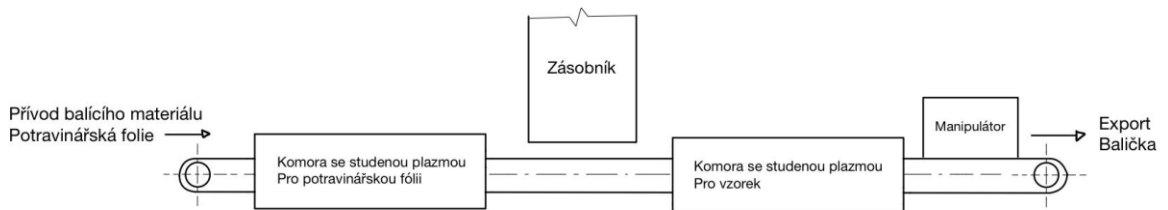
$$Počet\ cyklů = \frac{m_{AirLAHEV}}{m_{AirKOMORA}} \cong 3760\ cyklů \rightarrow cca.\ 11\ 280\ vzorků \quad (14)$$

Cena za jednu tlakovou lahev plynu se pohybuje v rozmezí 5000 – 10 000 Kč za láhev.

Z toho vyplývá cena za vzorek :

$$C = \frac{CENA\ LÁHVE}{POČET\ VZORKŮ} = 0,45 - 0,89\ Kč/vzorek \quad (15)$$

## Kapacita linky



Obr. 20 - Koncepční návrh linky – diskontinuální návrh

Tato linka je typu diskontinuálního. Budou se střídát etapy ošetření, které budou trvat 30 sekund, a etapy posouvání dopravníku a zavírání komory, které vychází z rychlosti dopravníku a rozměrů komory. Pro tento návrh si volím rychlosti dopravníku a ze známé délky komory, která odpovídá 3 vzorkům a potřebným roztečím, dopočítám čas potřebný pro posunutí dopravníku. Čas potřebný pro dosažení rychlosti dopravníku  $0,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  a poté pro zastavení dopravníku zanedbávám. Vyhrazený čas pro zavírání a otevírání komory odpovídá 2 sekundám.

$$v = 0,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 0,1389 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$W_k = 140 \text{ mm} = 0,14 \text{ m}$$

$$t = \frac{W_k}{v} = \frac{0,14}{0,1389} \cong 1 \text{ s} \quad (16)$$

Posun vzorků do komory bude trvat cca 1 sekundu (kolagen je lepkavý, tzn. nemůže dojít k jeho pohybu vůči pásu, resp. spodnímu obalu), poté se musí zavřít dvířka komory. Na tuto akci vyhražuji 2 sekundy. Samotné ošetření plazmou trvá 30 sekund. Další 2 sekundy nechávám vyhrazené na přívod plynu do komory. Tudiž za čas 35 sekund dokáže linka ošetřit jeden set vzorků. To odpovídá 3 vzorkům. Za osmihodinovou směnu tedy dokáže ošetřit

$$KAPACITA = \frac{CELKOVÝ \ ČAS}{ČAS \ PRO \ 1 \ SET} = \frac{8 \cdot 3600}{35} = 882 \text{ SETŮ} \rightarrow 2468 \text{ VZORKŮ} \quad (17)$$

Z této hodnoty i vyplývají náklady za plyn

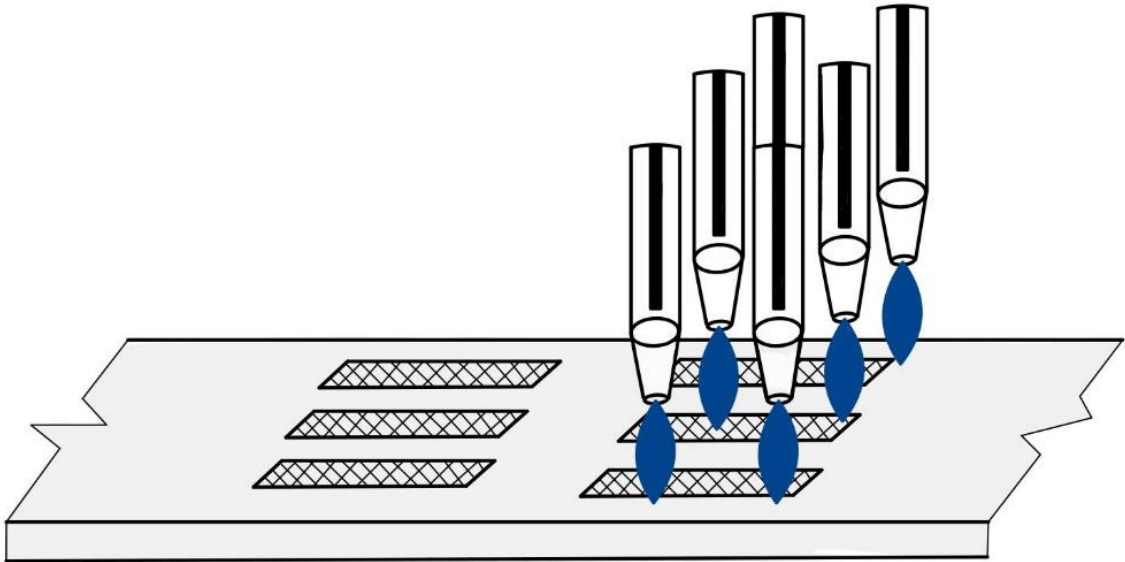
$$C_g = C \cdot KAPACITA = 1110 - 2200 \text{ Kč za plyn za směnu} \quad (18)$$

A spotřeba plynu za osmihodinovou směnu

$$SPOTŘEBA \ PLYNU = 2,2 \text{ l na směnu}$$

### 2.4.2. Návrh kontinuální

Druhý koncepční návrh je typu kontinuálního. Využívá proudového zdroje studené plazmy. Opět jsou na dopravníku 3 vzorky v 1 řádku. Rozměry vzorku a délka expozice zůstávají stejné.



Obr. 21 - Konceptní návrh proudového zdroje plazmy

Při využití **proudového zdroje** studené plazmy přivádíme plyn přímo do trysky pomocí potrubí z láhve. Pro ustálený provozní stav technologie je zapotřebí konstantního průtoku plynu do trysek, což je v případě použití lahví problematické. Pro zajištění požadovaného průtoku s minimálním kolísáním je nutné řídit tlak na výstupu z lahve škrtkícím ventilem v čase podle toho, jak dochází ke spotřebě plynu v láhvi, a tedy snížení hnacího tlaku do systému. V tomto případě jsem problematiku řešila jako výtok plynu z nádoby a řešila tento problém iterační metodou. Zanedbala jsem změnu teploty a dále počítala s postupným snižováním hnacího tlaku v lahvi a postupnou změnou hustoty plynu. Pro odchylku  $\pm 10\%$  požadovaného průtoku jsem musela škrtkící tlak upravit. V tomto návrhu jsem se zaměřila čistě na výpočty pro využití argonu.

Největší náklady pro provoz zdroje studené plazmy je právě dodávaný plyn v tlakových lahvích a energie odebíraná ze sítě do transformátoru (náklady stejné pro oba návrhy). Komora by neměla potřebovat aktivní obsluhu. Ostatní provozní náklady zanedbávám, neboť odpovídají provozním nákladům běžného vybavení linky. Při využití této varianty budeme za danou dobu produkovat více ošetřených vzorků než při využití diskontinuální varianty s výbojovou komorou.

Linka se bude skládat ze **setu 30 zdrojů** studené plazmy pod kterými se budou pohybovat vzorky umístěné na dopravníku. Studená plazma bude nepřetržitě vznikat a vzorky ozařovat. Hlavními výchozími parametry bude délka expozice a délkový rozměr vzorku. Z rychlosti dopravníku, který musí být nastaven tak, aby byla zajištěna požadovaná doba expozice studené plazmy, jsem vypočítala kolik vzorků jsem schopná za tuto dobu ošetřit a cenu spotřebovaného plynu na vzorek.

Požadovaná doba expozice je

$$t = 30 \text{ s}$$

Délka vzorku:

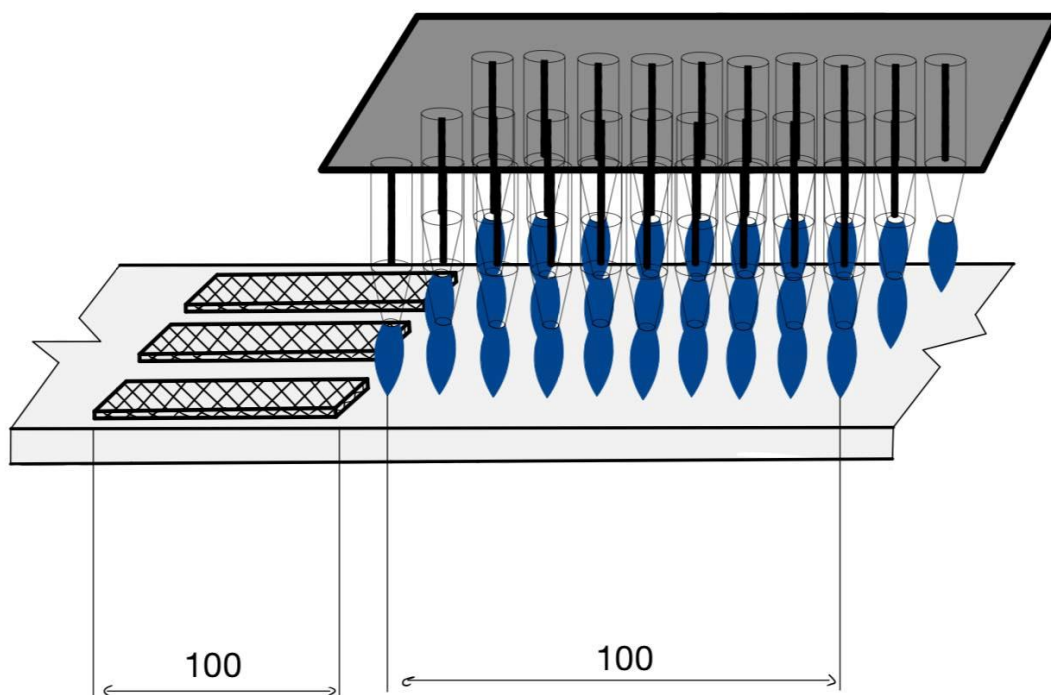
$$L = 100 \text{ mm}$$



Rychlost dopravníku bude:

$$L = v \cdot t \rightarrow v = \frac{L}{t} = \frac{0,1}{30} = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (19)$$

Konstrukce je navržena tak, že délka vzorku je rovna délce komory vyplněné proudovými zdroji. Tím pádem máme pro tuto navrženou rychlost dopravníku zajištěno, že každá část vzorku bude mít stejnou délku expozice - 30 sekund.



Obr. 22 - Návrh rozměrů – kontinuální návrh

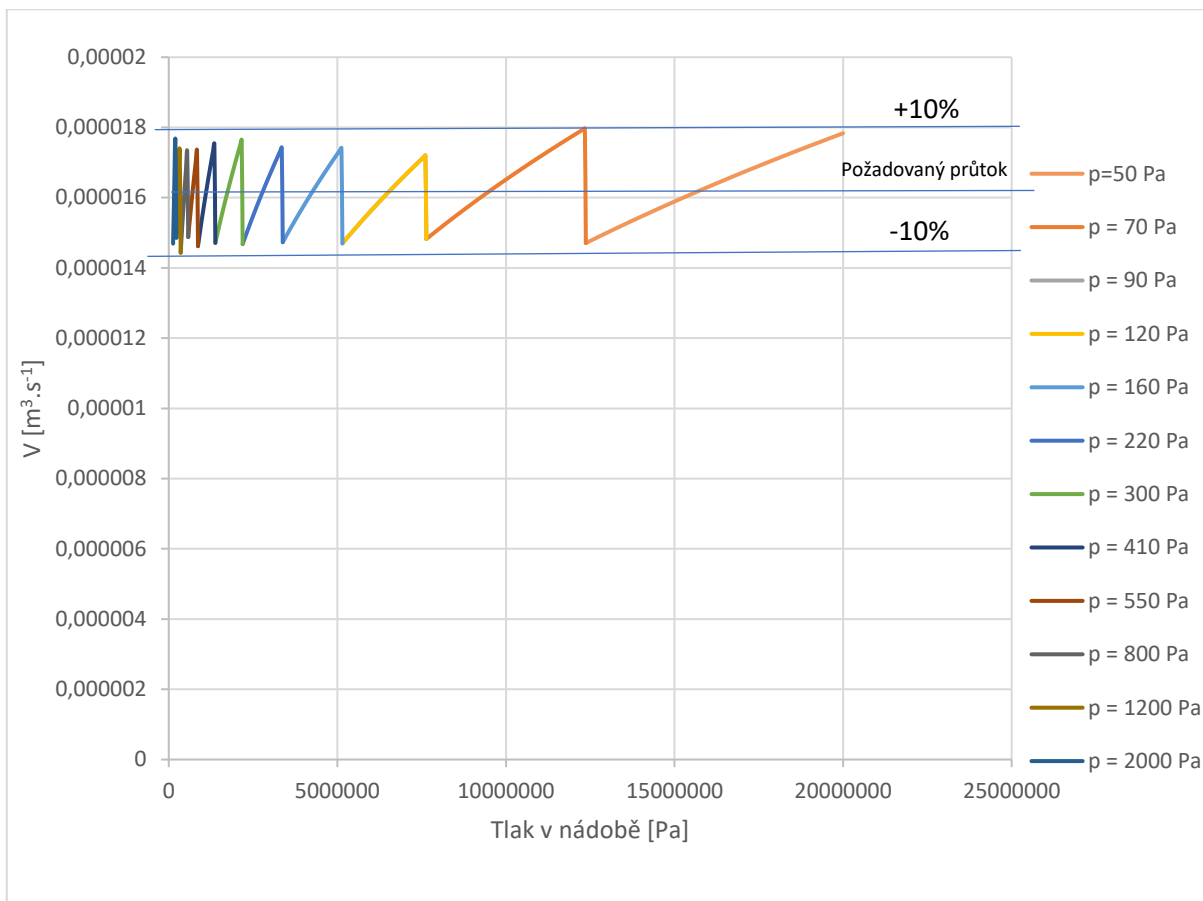
Aby vzorky dostaly stejnou dávku studené plazmy, vzala jsem objem plynu použitého pro výplň předchozí komory a vydělila ho časem expozice.

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{0,49 \cdot 10^{-3}}{30} = 1,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad (20)$$

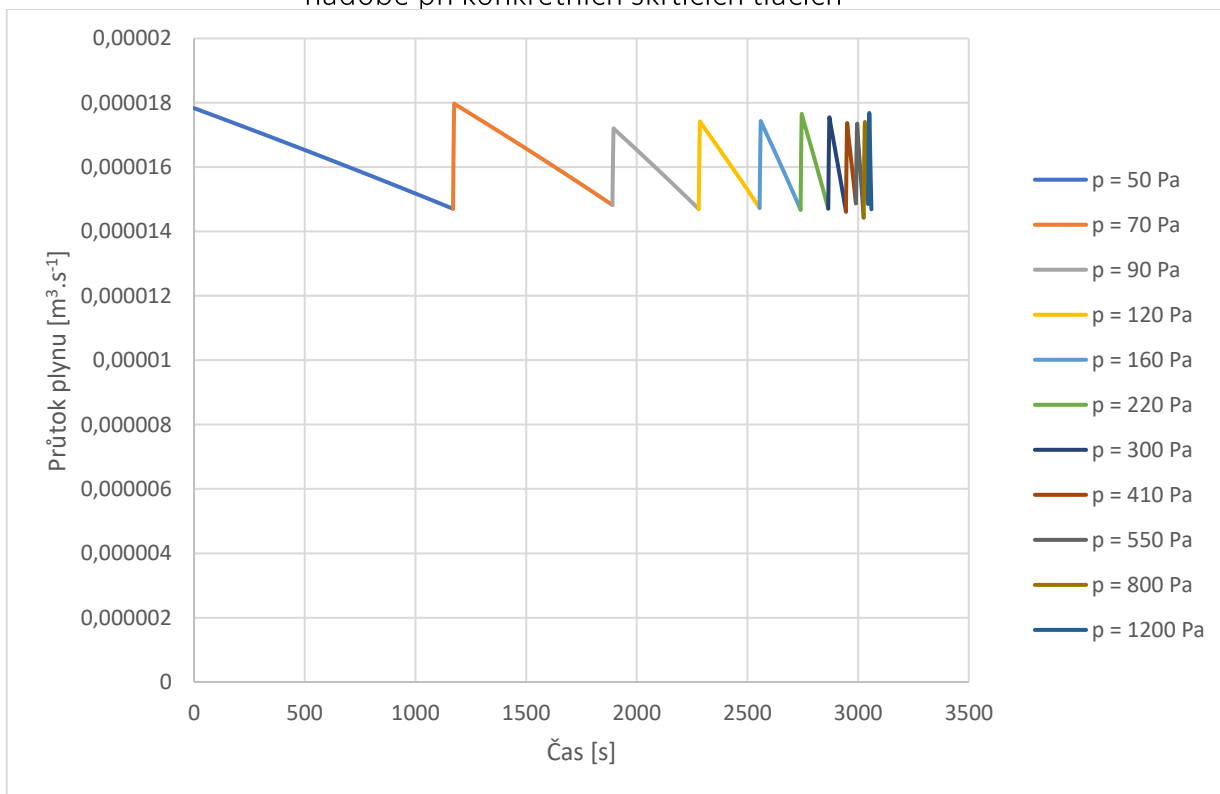
Požadovaný průtok je rozdělen do 30 trysek. Hodnota tohoto průtoku je srovnatelná s doporučenými hodnotami z citované literatury (1-4 l.min<sup>-1</sup>). [19]

Z hodnoty průtoku  $1,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  vypočítám spotřebu plynu pro osmihodinovou směnu.

$$V_{\text{PLYNU}} = \dot{V} \cdot t = 1,63 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 3600 = 0,47 \text{ m}^3 \rightarrow 470 \text{ l} \quad (21)$$

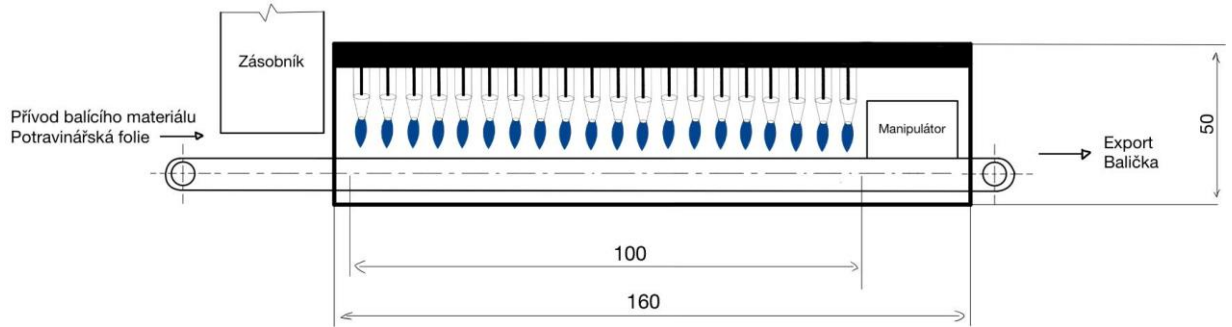


Obr. 23 - Průběh závislosti objemového průtoku na klesajícím tlaku v nádobě při konkrétních škrtících tlacích



Obr. 24- Průběh závislosti objemového průtoku na čase při konkrétních škrtících tlacích

## Kapacita linky



Obr. 25 - Koncepční návrh linky – kontinuální návrh

Tato linka je kontinuální. Když známe rychlost dopravníku, rozměry vzorků a mezer mezi nimi můžeme určit čas potřebný na ošetření jednoho setu:

$$v = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$s = s_{\text{VZORKU}} + v = 0,1 + 0,005 = 0,105 \text{ m} \quad (22)$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,105}{3,34 \cdot 10^{-3}} = 31,5 \text{ s} \quad (23)$$

Každých 31,5 sekund bude mít linka na výstupu jeden set ošetřených vzorků. To odpovídá 3 vzorkům. Za osmihodinovou směnu tedy dokáže linka ošetřit:

$$KAPACITA = \frac{CELKOVÝ \ ČAS}{ČAS \ PRO \ 1 \ SET} = \frac{8 \cdot 3600}{31,5} = 914 \text{ ŘÁDKŮ} \rightarrow 2742 \text{ VZORKŮ} \quad (24)$$

Pro spotřebovaný argon platí:

$$m_{\text{PLYNU}} = V_{\text{PLYNU}} \cdot \rho_{\text{Ar ATMO}} = 0,47 \cdot 1,784 = 0,84 \text{ kg} \quad (25)$$

$$m_{\text{ArLAHEV}} = \rho_{\text{Ar 20MPa}} \cdot V_{\text{NÁDOBY}} = 327,8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3,278 \text{ kg} \quad (26)$$

Z těchto výpočtů jde vidět, že za osmihodinovou směnu spotřebujeme necelých 30% obsahu jedné tlakové lahve.

Cena za jednu tlakovou lahev plynu se pohybuje v rozmezí 5000 – 10 000 Kč za desetilitrovou láhev. Z těchto informací vyplývá cena za vzorek:

$$C = \frac{CENA \ PLYNU}{POČET \ VZORKŮ} = \frac{\frac{m_{\text{PLYNU}}}{m_{\text{ArLAHEV}}} \cdot CENA \ LAHVE}{POČET \ VZORKŮ} = 0,47 - 0,93 \text{ Kč/vzorek} \quad (27)$$

## Zbytky plynu v nádobách

Po dosažení atmosférického tlaku v nádobě, při zanedbání hydraulického odporu vedení plynu, již nejsme schopni z nádoby vyčerpát další plyn. V nádobě ale zůstává zbytek plynu, který vypočítáme následovně:

Hustota argonu pro atmosférický tlak:

$$\rho_{Ar\ ATMO} = 1,784\ kg \cdot m^{-3}$$

Hustota vzduchu pro atmosférický tlak:

$$\rho_{Air\ ATMO} = 1,29\ kg \cdot m^{-3}$$

Objem tlakové lahve:

$$V_{LAHEV} = 10 \cdot 10^{-3} m^3$$

Hmotnostní zbytek argonu v tlakové lahvi:

$$m_{ArZBYTEK} = \rho_{Ar\ ATMO} \cdot V_{LAHEV} = 0,018\ kg = 18\ g\ Argonu \quad (28)$$

Hmotnostní zbytek vzduchu ve tlakové lahvi:

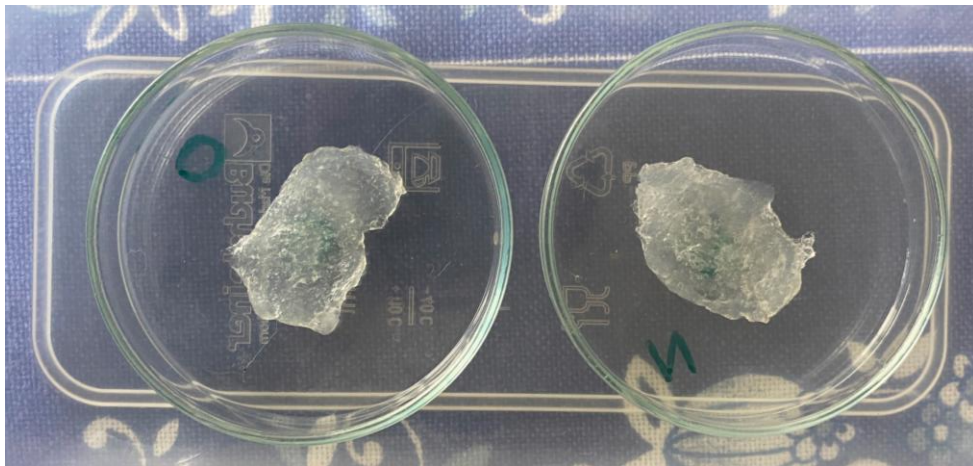
$$m_{AirZBYTEK} = \rho_{Air\ ATMO} \cdot V_{LAHEV} = 0,0129\ kg = 12,9\ g\ Vzduchu \quad (29)$$

## 1.5. Experiment

Pro ověření výše uvedených teoretických poznatků byl proveden experiment zaměřený na ošetření potravin studenou plazmou. Pro tento experiment byla vyrobena a sestavena unikátní aparatura pro zažehnutí a udržení plamene studené plazmy. Po odzkoušení elektrické části a příslušenství aparatury byly provedeny experimenty se studenou plazmou. Pro studium vlivu ošetření byly připraveny dva vzorky kolagenní hmoty. Jeden z nich byl ošetřen studenou plazmou a oba byly umístěny do stejného prostředí. Následně v řádu několika dnů byly vzorky sledovány až do objevení prvních známek plísňe na ošetřeném vzorku. Experiment má pouze orientační charakter a jeho cílem je zejména ověřit metodiku a techniku ošetření vzorku. Experiment jistě nenahrazuje systematické biochemické a biologické experimenty, které by kvantifikovaly na základě statistických dat přínos technologie ošetření potravin studenou plazmou.

### 1.5.1. Vzorky

Vzorky byly zhotoveny z vodného roztoku kolagenní hmoty z hovězích kůží, která má obsah 8 % pevného podílu a 92% vody. Vzorky byly vytvarovány do podoby pásků v Petriho miskách. Petriho misky byly omyty, vysušeny a následně řádně ošetřeny dezinfekcí na alkoholové bázi. Tím byly odstraněny veškeré mikroorganismy na povrchu misek. Jeden vzorek byl ponechán bez ozáření (označený N) pro referenci rychlosti kažení a druhý vzorek byl ozářen studenou plazmou (označený O). Tyto vzorky byly poté uzavřeny do společné komory, aby byla zajištěna jednotná atmosféra, uchovávány na místě s konstantní teplotou a sledovány po dobu 7 dní.

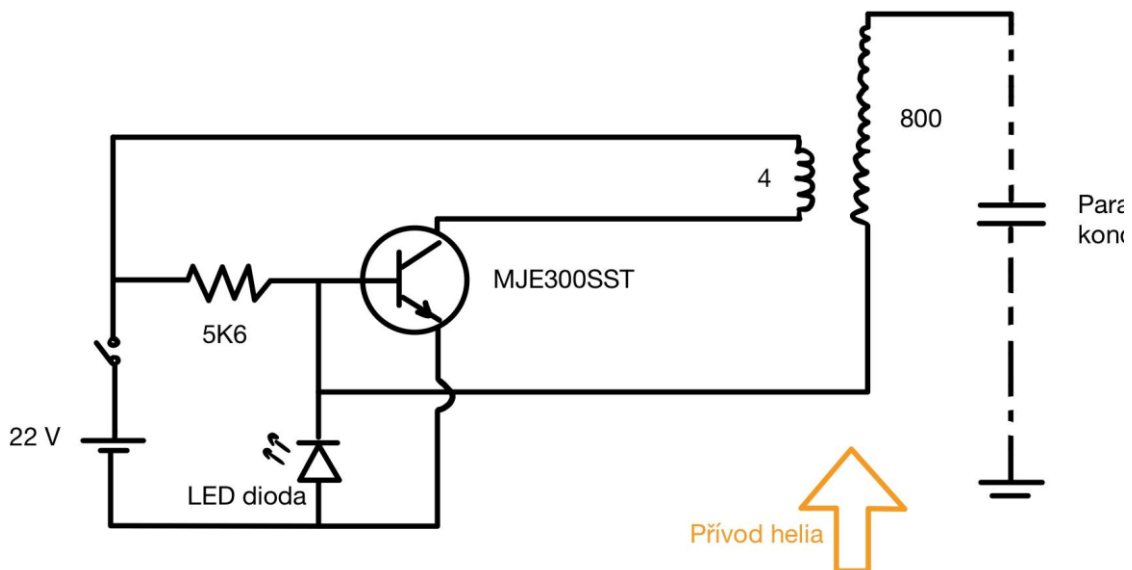


Obr. 26- Kolagenové vzorky

### 1.5.2. Popis zařízení

Experiment byl zaměřen na zprovoznění proudového zdroje studené plazmy. Experiment je podložen poznatky z teoretické rešerše a z následných návrhových výpočtů. Jeho hlavním cílem je pouze ověřit, zda ošetření studenou plazmou zpomalí proces kažení.

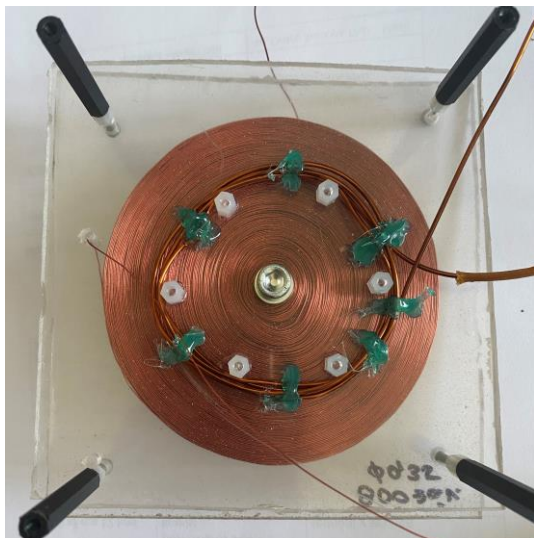
Z elektronické stránky experimentu byly hlavními komponenty transformátor a tranzistor MJE300SST. Tyto součástky byly zapojeny do tzv. Slayer exciter obvodu, viz obr. 26. technickou stránku sestavení proudového zdroje studené plazmy zajišťoval doc. Ing. Martin Novák, Ph.D., FS ČVUT v Praze. Sestavení této aparatury může být nebezpečné. Proto zapojování tohoto obvodu nedoporučuji a jedinec, který se rozhodne tento experiment provozovat na základě tohoto popisu, tak činí na vlastní nebezpečí.



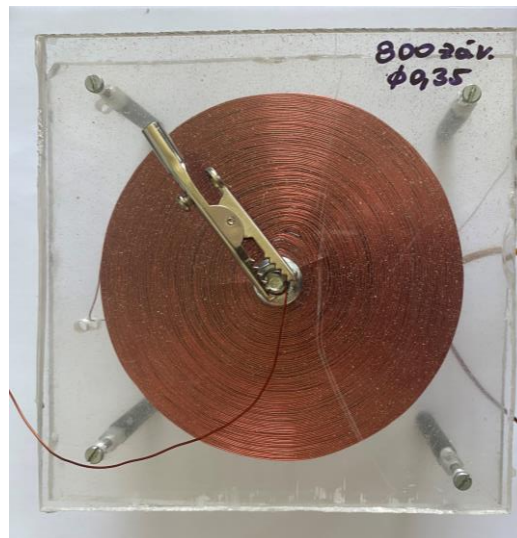
Obr. 27 - Slayer exciter obvod

Při experimentu jsme dosahovali hodnot napětí na zdroji (DC Regulated Power Supply MP-9615 od značky Manson) 22 V a proudu cca. 3 A. Největší problém zapojení byl nakonec tranzistor, na kterém docházelo k velkým ztrátám kvůli vysoké frekvenci obvodu, a tím pádem se velmi rychle ohříval. Frekvence obvodu byla stanovena na 250 kHz.

Transformátor byl vyroben z drátu o průměru 0,25 mm a 1,4 mm. Vynutí bylo sestaveno z 4 a 800 závitů. Na vinutí byl využit měděný drát se slabou izolací čistého laku.

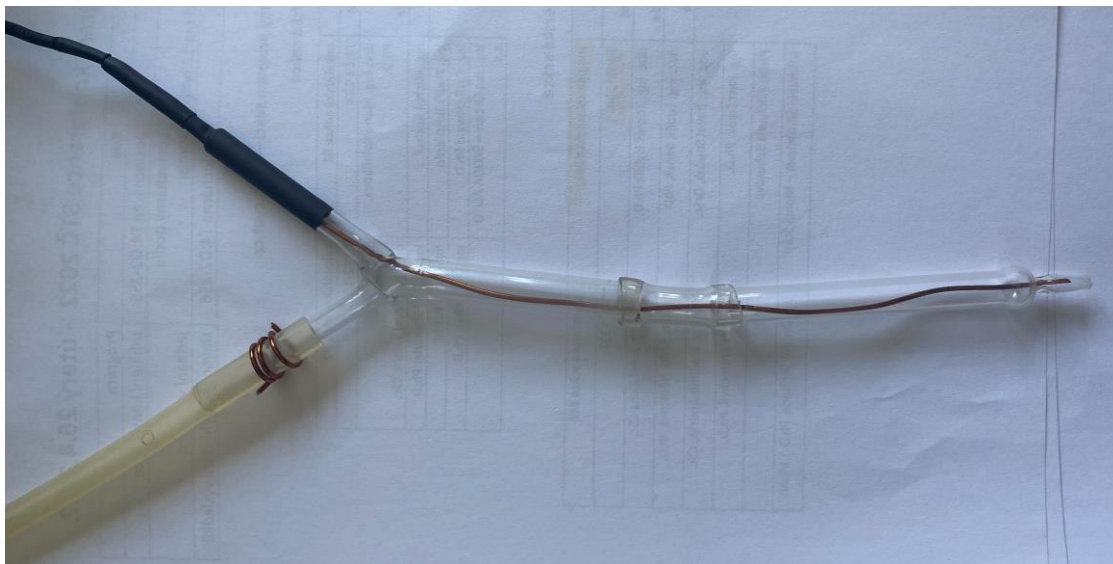


Obr. 28- Transformátor – primární vinutí



Obr. 29- Transformátor – sekundární vinutí

Elektroda byla vedena do skleněné kapiláry, do které byl přiváděn ionizační plyn. Dále byla elektroda vyvedena z kapiláry ven. Operátor, který aparát obsluhoval, sloužil jako uzemnění elektrody (viz schéma zapojení – parazitní kondenzátor). Kapilára byla napojena na skleněný dvoucestný distributor silikonovou hadičkou. Silikonová spojka byla využita i na manipulaci aparátu za pomoci kleští.



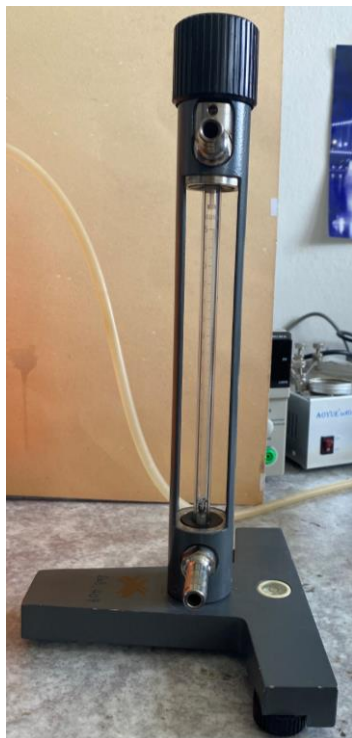
Obr. 30- Kapilára se zavedenou elektrodou

Jako ionizační plyn bylo zvoleno helium. Bylo zvoleno kvůli dostupnosti tlakových lahví o menším objemu. Helium bylo určeno pro nafukování balónek a balení neobsahovalo přesný popis. Proto není jasné, zda je helium čisté, nebo jde o směs helia a vzduchu. Na výstupu láhve je jednoduchý uzavírací ventil.

Na tento ventil byla připevněna pryžová trubička, která byla dále připevněna na jednu z dvou vstupů kapiláry.

Díky rotametru jsme orientačně určili průtok plynu. Naměřená hodnota se pohybuje mezi 7-10 l.min<sup>-1</sup>. Tato hodnota by platila při využití vzduchu. Pro průtok helia jsem použila rovnici pro přepočet:

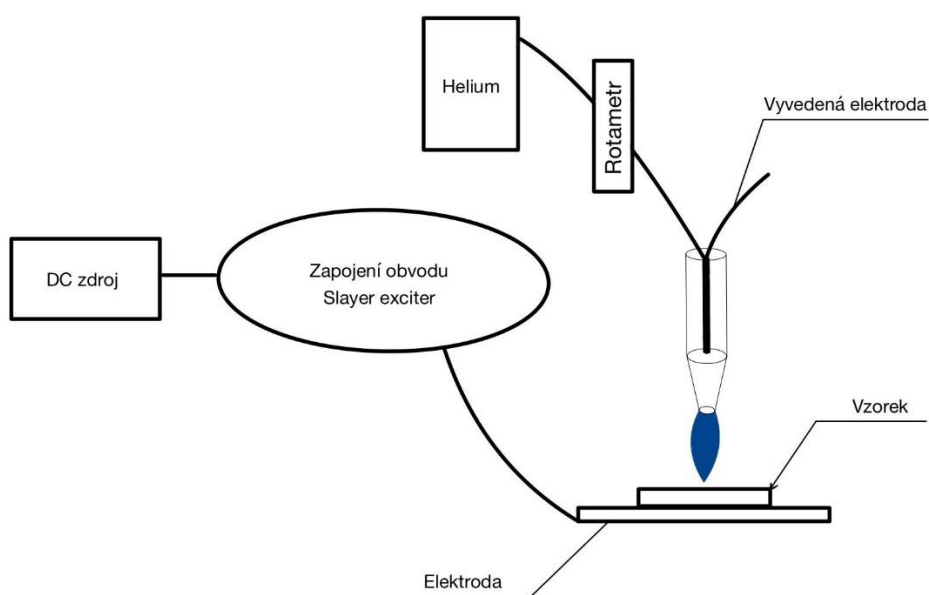
$$\dot{V}_{He} = \dot{V}_{AIR} \cdot \sqrt{\frac{\rho_2 \cdot (\rho_P - \rho_1)}{\rho_1 \cdot (\rho_P - \rho_2)}} = \dot{V}_{AIR} \cdot \sqrt{\frac{1,29 \cdot (7850 - 0,179)}{0,179 \cdot (7850 - 1,29)}} \doteq 20 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (30)$$



Obr. 31- Laboratorní přístroje Praha – univerzální průtokoměr (Rotametr) -R1



Obr. 32- Výstup z tlakové lahve helia



Obr. 33 – Schématické zobrazení celé aparatury

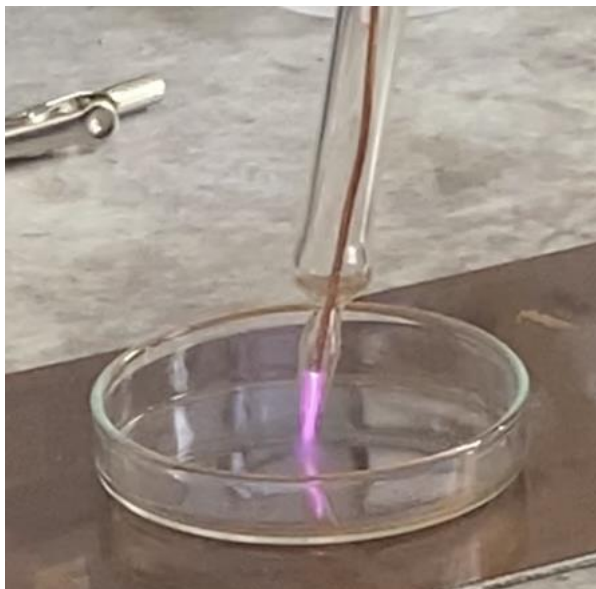
## Shrnutí parametrů experimentu

Tabulka 8 - Souhrn parametrů pro experiment

	<b>Vlastnost/druh</b>	<b>Hodnota/charakteristická vlastnost</b>
<b>Transformátor</b>	Napětí zdroje	22 V
	Proud zdroje	3 A
	Počet vinutí $N_1$	4 závitů
	Počet vinutí $N_2$	800 závitů
	Dosažený převod	200
	Frekvence obvodu	250 kHz
<b>Materiál elektrod a vinutí</b>	Měděný drát s jemnou izolací z průsvitného laku	Průměry drátů – 1,4 mm a 0,25 mm
<b>Plyn</b>	Helium určené pro balónky	
	Průtok	20 l.min <sup>-1</sup>
<b>Ošetřovaný vzorek</b>	Kolagenní hmota	8 % kolagenu, 92 % vody

### 1.5.3. Ošetření

Jako první jsme provedli zkušební vytvoření plamene plazmy pro ověření dostatečného průtoku plynu pro vznik plazmy. Dále jsem zhotovila tenké vzorky kolagenu do 2 Petriho misek a jeden z nich jsem ozářila po dobu **60 sekund**. Způsob ozařování spočíval v tom, že plamen studené plazmy byl postupně aplikován na veškerý dostupný povrch vzorku.



Obr. 34- Zkouška vzniku studené plazmy



Obr. 35- Ošetření vzorku

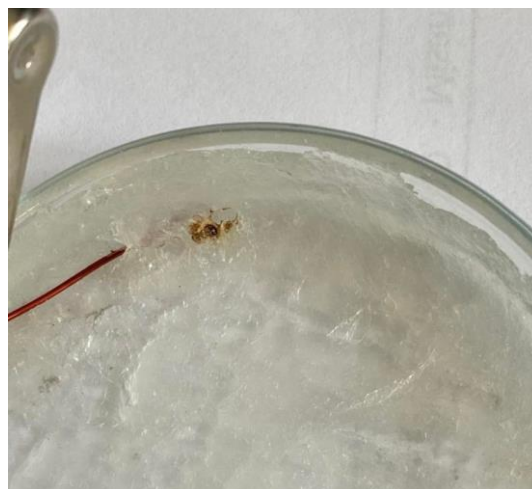
Jako součást experimentu jsme využili i horkou plazmu pro demonstraci ničivých účinků. Horká plazma se pohybuje v příliš vysokých teplotách pro



ošetřování potravin. Pro vznik horké plazmy jsme na zdroji odměřili hodnoty napětí 22 V a proudu 1,2 A–3 A, bez průtoku helia.



Obr. 36 – Porušený povrch listu po ošetření klasickou plazmou



Obr. 27 - Porušený povrch kolagenu po ošetření klasickou plazmou

Při tomto experimentu jsme vypožorovali, že díky vysokému obsahu vody v kolagenové hmotě došlo ke spálení povrchu až po 30 s. Na druhou stranu při využití listu byl účinek plazmy viditelný okamžitě.

#### 1.5.4. Výsledky

Vzorky jsem po dobu 7 dní pozorovala a sledovala, kdy se objeví první známky plísně.

**DEN 1 PO OŠETŘENÍ** – Žádné viditelné změny na obou vzorcích.

**DEN 2 PO OŠETŘENÍ** – Žádné viditelné změny na obou vzorcích.

**DEN 3 PO OŠETŘENÍ** – Žádné viditelné změny na obou vzorcích.

**DEN 4 PO OŠETŘENÍ** – Na neošetřeném vzorku se na kraji vyskytla malá kolonie černé plísně.



Obr. 38 - Neošetřený vzorek – Den 4

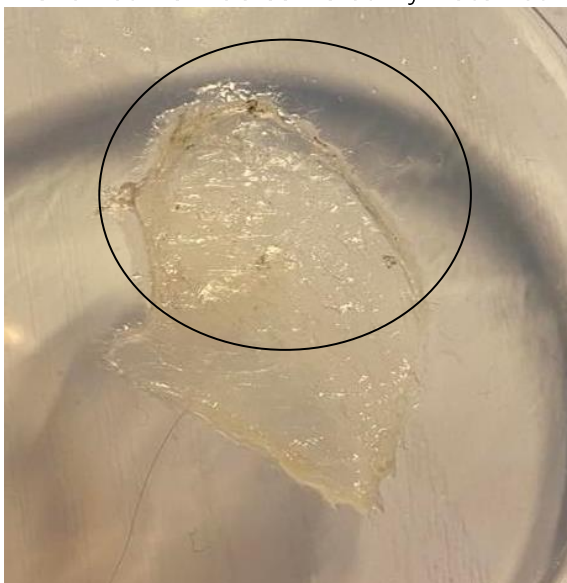
**DEN 5 PO OŠETŘENÍ** – Černá plíseň na neošetřeném vzorku se lehce rozrostla a povrch vzorku má náznaky pórovité struktury. Ošetřený vzorek stále nevykazuje žádné známky kažení.



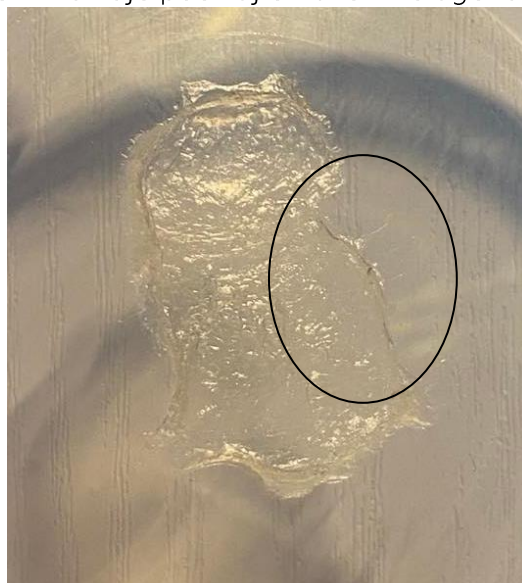
Obr. 39- Neošetřený vzorek – Den 5

**DEN 6 PO OŠETŘENÍ** – Vzorky začínají vysychat, tím pádem je růst plísní zpomalen. Textura vzorku pórovatí. Ošetřený vzorek na sobě stále nemá plíseň, ale také pórovatí.

**DEN 7 PO OŠETŘENÍ** – Na okrajích ošetřeného vzorku jsem vypožorovala lehkou změnu zbarvení do černé barvy. Toto zbarvení indikuje počínající kažení kolagenu.



Obr. 40 - Neošetřený vzorek – Den 7



Obr. 41 - Ošetřený vzorek – Den 7

### **Výsledek pozorování**

Na základě pozorování jsme potvrdili, že ošetření studenou plazmou zpomalilo proces kažení kolagenové hmoty. Prodleva mezi začátkem kažení neošetřeného a ošetřeného vzorku byla v mém případě 3 dny.

Vzorky postupně vysychaly, což výrazně zhoršuje podmínky pro vznik plísní. V případě opakování experimentu bych musela zajistit dostatečnou vlhkost v atmosféře, ve které budou vzorky pozorovány. Dále by bylo vhodné v rámci experimentu zvýšit počet vzorků a pozorovat změny pro různé doby expozice.

## Závěr

Lidská populace neustále roste a potřeba ji nasytit bude jedním z hlavních vědeckých cílů společnosti v blízké budoucnosti. Vývoj nových technologií pro úpravu a uchovávání potravin je jedním z možných řešení tohoto problému. Pandemie Covid-19, jako vedlejší produkt poukázala na nedostatky v transportu a poddimenzované kapacitě skladů potravin a biologického materiálu. Tím se zvýšila poptávka společnosti po moderních technologiích uchovávání potravin. Na druhou stranu potravinářský průmysl operuje pod přísnými normami a je v něm velmi náročné prosadit nové metody výroby a zpracování. Masové využití těchto metod také ovlivňuje marketingový úspěch a vstupní kapitál.

Při úpravě potravin s cílem prodloužení její trvanlivosti jde obecně o omezení růstu nebo kompletního odstranění mikroorganismů, bakterií a plísní při zachování nutriční hodnoty. Dalšími aspekty důležitými pro spotřebitele jsou například konzistence a barva potravin. V následující tabulce jsem zrekapitulovala popsané moderní metody a jejich vhodné a nevhodné využití, které vyplynuly z provedené literární rešerše.

Tabulka 9 - Přehled metod a jejich využití

<b>Metoda</b>	<b>Vhodné využití</b>	<b>Nevhodné využití</b>
<b>PEF</b>	Především tekuté potraviny s vysokou elektrickou vodivostí Polévky, džusy	Obecně potraviny se špatnou teplotní vodivostí
<b>Studená plazma</b>	Ryby, Mořské plody, Maso, Mléčné produkty, Ovoce i zelenina	Obecně potraviny s nízkým poměrem ozářené plochy vůči hmotnosti
<b>Moderní metody zmrazování</b>	Maso Ryby	Potraviny s vysokým obsahem vody Většina zeleniny a ovoce
<b>Lyofilizace</b>	Ovoce, Zelenina, Káva, Bylinky	Maso, Mořské plody, Ryby

Z těchto nových metod mě nejvíce zaujala technologie studené plazmy, které jsem se věnovala v praktické části práce. Pro uvedenou technologii jsem sestavila dva koncepční návrhy výbojového (diskontinuální) a proudového zdroje (kontinuální) studené plazmy, které jsem začlenila do výrobní linky pro konkrétní výrobek.

Dva největší náklady pro provoz zdroje studené plazmy jsou energie potřebné pro chod transformátoru a plyn přiváděný do komory. Cenovou náročnost těchto výdajů jsem vztahovala na osmihodinovou směnu.

Tabulka 10 – Přehled finanční náročnosti návrhů

	<b>Diskontinuální koncept</b>	<b>Kontinuální koncept</b>
<b>Cena energie za 8 hodin</b>	28,6 Kč	28,6 Kč
<b>Cena plynu za 8 hodin</b>	1110-2200 Kč	1280-2600 Kč
<b>Počet ošetřených vzorků</b>	2 468 Ks	2 742 Ks
<b>Celková průměrná cena za vzorek</b>	0,68 Kč	0,71 Kč

Z porovnání nákladů na zdroj studené plazmy vidíme, že hlavním nákladem výroby je cena nosného plynu. Návrh využívající proudový zdroj je v mém případě finančně náročnější, ale za to má vyšší kapacitu a variabilitu.

Nad rámec cílů práce byl proveden experiment se zdrojem studené plazmy. Experimentu předcházela návrh a realizace provizorního proudového zdroje studené plazmy. V experimentu byly využity komponenty popsané v návrhu linky s proudovým zdrojem. Po úspěšném zprovoznění zdroje studené plazmy jsem připravila 2 vzorky z kolagenní hmoty a jeden z nich ozářila studenou plazmou. Vzorky jsem pozorovala po dobu 7 dnů. Z pozorování mohu potvrdit pozitivní dopad na rychlost kažení vzorku. Neošetřený vzorek vykazoval příznaky kažení již 4. den, zatímco ošetřený vzorek až 7. den.

## Zdroje

1. Vyhláška č. 417/2016 Sb.: Vyhláška o některých způsobech označování potravin. *Zákony pro lidi* [online]. 19.12.2016 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-417/zneni-20170101#p9-1-1>
2. VODRÁŽKA, Zdeněk. Biochemie. Praha: Academia, 2007. ISBN 978-80-200-0600-4
3. Voldřich M., Principy zpracování a úchovy potravin, Metody konzervace potravin, Prozatimní učební text, Praha, 1999
4. FONTANA, Josef. Funkce buněk a lidského těla – multimediální skripta pro výuku lékařské biochemie, fyziologie a histologie člověka. Laboratorná diagnostika. 15. Vedecko-pedagogická konferencia učiteľov biochemických odborov lekárskech fakúlt v SR A ČR: 21. - 23. mája 2015: prednášky, abstrakty, in extenso články: časopis pre pracovníkov diagnostických laboratórií. Bratislava: Slovenská spoločnosť klinickej biochémie, 2015, 20(1), 39-40. ISSN 1335-2644.
5. HOFFMAN, Pavel a Iva FILKOVÁ. *Výrobní linky potravinářské*. Vyd. 2. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02003-7.
6. AMIT, Sadat Kamal, Md. Mezbah UDDIN, Rizwanur RAHMAN, S. M. Rezwanul ISLAM a Mohidus Samad KHAN. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security* [online]. 2017, 6(1) [cit. 2021-11-21]. ISSN 2048-7010. Dostupné z: doi:10.1186/s40066-017-0130-8
7. Bezpečnost potravin: Sterilizace [online]. Těšnov 65/17, Praha 1: Informační centrum bezpečnosti potravin, Ministerstvo zemědělství [cit. 2022-05-29]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/92259.aspx>
8. DOBIÁŠ, Jaroslav, Lenka VOTAVOVÁ a Lukáš VÁPENKA. Balení potravin. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019. ISBN 978-80-7592-052-2.
9. Ozařování potravin. Bezpečnost potravin [online]. Praha 1: Informační centrum bezpečnosti potravin, Ministerstvo zemědělství [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76686.aspx>
10. Vyhláška č. 133/2004 Sb.: Vyhláška o podmínkách ozařování potravin a surovin, o nejvyšší přípustné dávce záření a o způsobu označení ozáření na obalu. *Zákony pro lidi* [online]. 12. 3. 2004. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-133>
11. ABBAS SYED, Qamar. Pulsed Electric Field Technology in Food Preservation: A Review. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering* [online]. 2017, 6(6) [cit. 2021-11-21]. ISSN 23734310. Dostupné z: doi:10.15406/jnhfe.2017.06.00219
12. KEMPKES, Michael A. Industrial Pulsed Electric Field Systems. MIKLAVCIC, Damijan, ed. *Handbook of Electroporation* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017, 2017-03-22, s. 1-21 [cit. 2021-11-21]. ISBN 978-3-319-26779-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-26779-1\_\_211-1

13. FOX, M.B., D.C. ESVELD a R.M. BOOM. Conceptual design of a mass parallelized PEF microreactor. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2007, **18**(9), 484-491 [cit. 2021-11-27]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi: 10.1016/j.tifs.2007.04.007
14. LASEKAN, Ola, Siew NG, Shakirah AZEEZ, Rafiat SHITTU, Li TEOH a Somayeh GHOLIVAND. Effect of Pulsed Electric Field Processing on Flavor and Color of Liquid Foods †. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2017, **41**(3) [cit. 2021-11-21]. ISSN 01458892. Dostupné z: doi:10.1111/jfpp.12940
15. VITAVE: *PEF systems* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.vitave.com/products/pef-systems/>
16. JÄGER, Henry a Dietrich KNORR. Pulsed Electric Fields Treatment in Food Technology: Challenges and Opportunities. MIKLAVČIČ, Damijan, ed. *Handbook of Electroporation* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017, 2017-08-26, s. 2657-2680 [cit. 2021-11-21]. ISBN 978-3-319-32885-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-32886-7\_224
17. TOEPFL, Stefan. Pulsed Electric Field food treatment – scale up from lab to industrial scale. *Procedia Food Science* [online]. 2011, **1**, 776-779 [cit. 2021-12-05]. ISSN 2211601X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.117
18. PANKAJ, Shashi, Zifan WAN a Kevin KEENER. Effects of Cold Plasma on Food Quality: A Review. *Foods* [online]. 2018, **7**(1) [cit. 2021-11-23]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods7010004
19. LÓPEZ, Mercedes, Tamara CALVO, Miguel PRIETO, Rodolfo MÚGICA-VIDAL, Ignacio MURO-FRAGUAS, Fernando ALBA-ELÍAS a Avelino ALVAREZ-ORDÓÑEZ. A Review on Non-thermal Atmospheric Plasma for Food Preservation: Mode of Action, Determinants of Effectiveness, and Applications. *Frontiers in Microbiology* [online]. 2019, **10** [cit. 2022-03-10]. ISSN 1664-302X. Dostupné z: doi:10.3389/fmicb.2019.00622
20. THIRUMDAS, Rohit, Chaitanya SARANGAPANI a Uday S. ANNAPURE. Cold Plasma: A novel Non-Thermal Technology for Food Processing. *Food Biophysics* [online]. 2015, **10**(1), 1-11 [cit. 2021-12-01]. ISSN 1557-1858. Dostupné z: doi:10.1007/s11483-014-9382-z
21. Klikorka J., Hájek B., Votinský J., *Obecná a anorganická chemie*, 2. vydání, Praha 1989
22. KIM, Jung Eun, Dong-Un LEE a Sea C. MIN. Microbial decontamination of red pepper powder by cold plasma. *Food Microbiology* [online]. 2014, **38**, 128-136 [cit. 2021-12-04]. ISSN 07400020. Dostupné z: doi:10.1016/j.fm.2013.08.019
23. MÜLLER, Patricia a Markus SCHMID. Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview. *Foods* [online]. 2019, **8**(1) [cit. 2022-02-01]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods8010016
24. JAMES, Christian, Graham PURNELL a Stephen J. JAMES. A Review of Novel and Innovative Food Freezing Technologies. *Food and Bioprocess Technology* [online]. 2015, **8**(8), 1616-1634 [cit. 2022-02-08]. ISSN 1935-5130. Dostupné z: doi:10.1007/s11947-015-1542-8

25. KUMAR, G.; PRASHANTH, Nooka; KUMARI, B. Fundamentals and applications of lyophilization. J Adv Pharm Res, 2011, 2.4: 157-169.
26. GAIDHANI, Kunal A., et al. Lyophilization/freeze drying—a review. World journal of pharmaceutical research, 2015, 4.8: 516-543.
27. NIREESHA, G. R., et al. Lyophilization/freeze drying-an review. International journal of novel trends in pharmaceutical sciences, 2013, 3.4: 87-98.
28. NOVÁK, Josef. Fyzikální chemie: bakalářský a magisterský kurz. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-675-3.
29. The History of Astronaut Ice Cream. Serious Eats [online]. 14.8.2020 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.serious eats.com/the-history-of-astronaut-ice-cream>
30. Should I Eat Freeze-Dried Fruits and Vegetables?. Dr. Weil [online]. 5. 10. 2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.drweil.com/diet-nutrition/should-i-eat-freeze-dried-fruits-and-vegetables/>
31. ČEZ: Ceník [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/firmy/cs/elektrina/elektrina-na-1-rok/cenik.html>