

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ANALÝZA VLIVU PROCESU OCHLAZOVÁNÍ NA KVALITU PROTEINOVÉHO GELU

ANALYSIS OF INFLUENCE OF COOLING PROCESS ON QUALITY OF PROTEINIC GEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZBYNĚK SEMOTAM

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK JEGLA, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Semotam Zbyněk

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Konstrukční a procesní inženýrství (3909T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza vlivu procesu ochlazování na kvalitu proteického gelu

v anglickém jazyce:

Analysis of influence of cooling process on quality of proteic gel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Uvést kompletní přehled ochlazovacích technik.
2. Určit fyzikální vlastnosti pro proteický gel v závislosti na teplotě.
3. Sestavit kompletní testovací okruh pro experiment.
4. Organizovat a realizovat kompletní experimenty.
5. Na základě rozboru výsledků experimentů provést analýzu parametrů a podmínek procesu ochlazování na kvalitu proteického gelu.

Cíle diplomové práce:

Objasnění zákonitostí přenosu tepla a hmoty v proteickém gelu při jeho ochlazování za použitých podmínek.

Seznam odborné literatury:

1. J.J. Bimbenet, A. Duquenoy, G. Trystram: Génie des procédés alimentaires Des bases aux applications. Dunod Paris 2002.
2. P.Iselt, U.Arndt, J.L.Cauchepin : Manuel de l'humidification de l'air. 1997 PYC édition livres.
3. Bertrand Broyart : Modélisation des transferts de matière et d'énergie pendant le chauffage/ séchage des solides alimentaire. Court d'ENSIA (Mars 2006).
4. Latif M. Jiji : Heat transfer essentials, second Edition. Begell House, New York 2002.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.

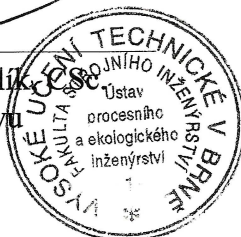
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

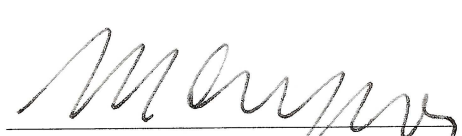
V Brně, dne 13.11.2008

L.S.



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu





doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o možnostech řízení procesu ochlazování pro redukování ztráty materiálu z proteinového gelu a hledá možnosti řízení textury konečného stavu proteinového gelu vlivem ochlazovacího procesu.

Tato práce bude podkladem pro vypracování projektu a následnou realizaci ochlazovacího tunelu do výrobní linky proteinového gelu.

Klíčová slova

proteinový gel, ochlazovací tunel, ztráta materiálu, tepelná výměna

ABSTRACT

This diploma thesis deals to possibilities lead chilling process with material loss of product and divine to possibilities lead texture final product with chilling process.

This work will be base of project for realization chilling tunnel to flow line of proteinic gel.

Keywords

proteinic gel, chilling tunnel, material loss, heat transfer

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEMOTAM, Z. *Analýza vlivu ochlazování na kvalitu proteinového gelu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 80 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *ANALÝZA VLIVU PROCESU OCHLAZOVÁNÍ NA KVALITU PROTEINOVÉHO GELU* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Zdeňka Jegly Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny prameny, ze kterých jsem čerpal.

.....
Zbyněk Semotam
27. 5. 2009

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří především pánům Christophe Godé a Guillaume Vernat, kteří mě po celou dobu mé stáže odborně vedli, pomáhali mi a byli trpěliví vůči mým dotazům. Rád bych také poděkoval panu Chakib Bouallou, který byl mým patronem na hostující ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE PARIS.

Dále bych rád poděkoval panu prof. Ing. Petru Stehlíkovi, CSc. za nemalou podporu při domlouvání a realizaci mého studijního pobytu v Paříži. V neposlední řadě mé poděkování patří panu doc. Ing. Zdeňku Jeglovi Ph.D. za pomoc při překladu a konečných úpravách české verze této diplomové práce.

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ	9
1 ÚVOD.....	11
1.1 PŘEDSTAVENÍ SKUPINY SOPARIND BONGRAIN.....	11
1.2 SOREDAB	11
1.3 PRŮMYSLOVÁ PROBLEMATIKA	12
1.4 PROVÁDĚNÁ PRÁCE	12
2 OCHLAZOVÁNÍ: TECHNOLOGICKÝ PŘEHLED	13
2.1 OCHLAZOVAČÍ EFEKT V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU	13
2.1.1 <i>Zpracování pozitivním chladem</i>	13
2.1.2 <i>Zpracování negativním chladem</i>	13
2.1.3 <i>Nevýhody ochlazování</i>	14
2.2 PRODUKCE A PŘESTUP CHLADU	15
2.2.1 <i>Tvoření chladu</i>	15
2.2.2 <i>Distribuce chladu</i>	23
3 OCHLAZOVÁNÍ: VĚDECKÝ PŘEHLED.....	27
3.1 PROCES PŘESTUPU TEPLA.....	27
3.1.1 <i>Konvekce</i>	27
3.1.2 <i>Kondukce</i>	27
3.2 PROCES PŘENOSU HMOTY	29
3.3 DOPAD OCHLAZOVÁNÍ NA POTRAVINY.....	30
3.3.1 <i>Fyzikální vlastnosti produktu</i>	30
3.3.2 <i>Dopad okolních klimatických podmínek na produkt</i>	32
4 SIMULOVANÉ POKUSY DOPADU ŘÍZENÍ OCHLAZOVAČÍHO TUNELU.....	33
4.1 NÁSTROJE A METODY.....	33
4.1.1 <i>Příprava gelu</i>	33
4.1.2 <i>Vaření</i>	33
4.1.3 <i>Ochlazování</i>	34
4.1.4 <i>Měření teplot</i>	34
4.1.5 <i>Měření charakteristiky textury gelu</i>	34
4.2 PŘÍPRAVA TESTOVACÍHO PRODUKTU	35
4.2.1 <i>Příprava proteinového gelu</i>	35
4.2.2 <i>Vaření desek</i>	36
4.2.3 <i>Kontrolované ochlazování</i>	36
4.2.4 <i>Zařízení pro měření hodnot</i>	37
4.3 PROTOKOL ZKOUŠEK	38
4.3.1 <i>Příprava vzorku</i>	38
4.3.2 <i>Vaření</i>	38
4.3.3 <i>Ochlazování</i>	38
4.3.4 <i>Plán experimentu</i>	38
4.3.5 <i>Uskladnění</i>	39
4.3.6 <i>Reologická charakteristika směsi</i>	39
4.3.7 <i>Penetrometrie</i>	40
4.3.8 <i>Určení množství sušiny</i>	40

5	VÝSLEDKY EXPERIMENTU	41
5.1	KINETIKA TEPLOT	41
5.2	STATISTICKÉ VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKŮ	42
5.2.1	<i>Ztráta materiálu (vody)</i>	42
5.2.2	<i>Tuhost</i>	43
5.2.3	<i>Pevnost</i>	44
5.2.4	<i>Elasticita</i>	45
5.2.5	<i>Teplota vzorku po ochlazení</i>	46
5.2.6	<i>Množství vody obsažené ve vzorku</i>	48
6	ZÁVĚR A PERSPEKTIVA.....	50
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
8	PŘÍLOHY	55
8.1	HUSTOTA	55
8.2	SPECIFICKÉ TEPLO	56
8.3	TEPELNÁ VODIVOST	57
8.4	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PROTEINOVÉHO GELU	58
8.5	KOMPLETNÍ PLÁN EXPERIMENTU	60
8.6	OPTIMALIZOVANÝ PLÁN EXPERIMENTU	62
8.7	DETAIL OPTIMALIZOVANÉHO PLÁNU EXPERIMENTU	63
8.8	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ.....	64
8.9	ANALÝZA VÝSLEDKŮ.....	66
8.10	PRŮMĚRNÁ HODNOTA VIZKOZITY SMĚSI.....	69
8.11	VÝSLEDKY PO OCHLAZOVACÍM PROCESU	70
8.12	PROGRAM PRO VÝPOČET PŘENOSU TEPLA	72
8.13	PŘÍKLADY VÝVOJE TEPLOT PŘI EXPERIMENTU	73
8.14	SEZNAM VÝROBCŮ A DODAVATELŮ OCHLAZOVACÍCH TUNELŮ	75

SEZNAM SYMBOLŮ

Symbol	Identifikátor	Název	Jednotka
A		Plocha výměny tepla	m ²
a _w		Aktivita vody	-
C		Koncentrace	kg/m ³
C _p		Specifické teplo	J/(kg·K)
C _{p,food}		Specifické teplo potravin	J/(kg·K)
C _{p,w}	c _{po}	Specifické teplo vody	J/(kg·K)
cp _{ms}		Specifické teplo sušiny	J/(kg·K)
cp _s		Specifické teplo proteinového gelu	J/(kg·K)
c _{va}		Koncentrace vodních par	kg/m ³
D _l		Tepelná difuzivita vody	m ² /s
D _c		Tepelná difuzivita	m ² /s
D _s		Tepelná difuzivita proteinového gelu	m ² /s
D _p		Tepelná difuzivita podpory (deska inox)	m ² /s
E		Elasticita	mm
e		Šířka produktu	m
H _{vap}		Specifické teplo vodní páry	J/(kg·K)
h		Koeficient přestupu tepla	W/(m ² ·K)
h _{cont}		Koeficient přenosu tepla v produktu	W/(m ² ·K)
h _{conv}		Koeficient přestupu tepla konvekcí	W/(m ² ·K)
K		Koeficient přenosu hmoty	kg/s
l		Tepelná vodivost produktu	W/(m·K)
M		Počet počítaných vrstev	-
M _o		Molární množství vody	kg/mol
m [·]		Tok materiálu	kg/s
P _s		Tlak parciálních vodních par	Pa
P _{va}		Parciální tlak	Pa
P _w		Tlak nasycených vodních par	Pa
Q		Tok tepla	W
R		Univerzální plynová konstanta	J/(mol·K)
Res.		Pevnost	N
T _a		Teplota vzduchu	°C
T _p		Teplota podpory (deska inoxu)	°C
T _s		Teplota proteinového gelu	°C
T _{sol}		Teplota vstříkované kapaliny	°C
t		Počet časových jednotek	-
W		Nasycenost vzduchu	kg/kg
X		Množství vody v kg vody/kg sušiny	kg/kg
X		Vzdálenost bodu od povrchu vzorku	m
dt		Jednotka času mezi dvěma body	s
dx		Vzdálenost mezi dvěma body	m

α	alpha	Parametr izotermní absorpce	$(\text{kg/kg})^{1,6}$
γ		Rychlost otáčení	s^{-1}
λ		Tepelná vodivost	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
λ_s		Teplená vodivost proteinového gelu	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
λ_w		Tepelná vodivost vody	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
σ		Viskozita	$\text{Pa}\cdot\text{s}$
ρ		Hustota	kg/m^3
ρ	ro	Hustota sušiny	kg/m^3
ρ_s		Hustota proteinového gelu	kg/m^3
τ		Smykové namáhání	Pa
Φ_m		Hustota toku materiálu	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

1 ÚVOD

Diplomová práce byla zadána firmou SOREDAB S.A. patřící do potravinářské skupiny Soparind Bongrain. Projekt byl stanoven na dobu jeden a půl roku s cílem instalace ochlazovacího tunelu do výrobní linky proteinového gelu patřící skupině Soparind Bongrain. Projekt byl koncipován jako pětiměsíční pracovní stáž pod vedením odborných inženýrů a manažerů specializujících se v potravinářském průmyslu. Během této doby se bude zpracovávat první část celého projektu a to analýza ochlazování proteinového gelu pro stanovení koncepce ochlazovacího tunelu.

1.1 Představení skupiny Soparind Bongrain

Soparind Bongrain je potravinářská holdingová společnost, která je jednou z částí nadnárodní společnosti Bongrain S.A. Hlavní specializací této nadnárodní skupiny je produkce mléčných výrobků. Mezi další specializované odvětví patří společnosti zpracovávající masné výrobky, mořské plody a sladké produkty (Soparind Developpement) [46].

Historie této skupiny je datována již do roku 1956 v Illoud ve Francii. Společnost založil pan Jean-Noel Bongrain, který uvedl na trh sýr s názvem Caprice des Dieux. Politika a inovace skupiny Bongrain S.A. dovedla tuto skupinu na sedmé místo mezi nejproduktivnějšími francouzskými potravinářskými firmami. Ve Francii pak zaujímají druhé místo v mlékárenském odvětví. Tato společnost se dále pyšní svým celosvětovým prvenstvím jako specialista na výrobu sýrů. V dnešní době společnost zaměstnává více jak 18 000 pracovníků, ve 26 zemích světa ve více jak 90 společnostech zabývající se potravinářským průmyslem. Čistý zisk pro rok 2006 činil 3 338 milionů euro. Z této částky pak 65% zisků činí největší a zároveň hlavní produkt a to je sýr [46].

1.2 Soredab

Společnost SOREDAB (la Société de Recherche et Développement Alimentaire Bongrain) vznikla v roce 1976 a patří do skupiny Bongrain S. A. Toto centrum výzkumu vzniklo pro potřebu nalézt odpovědi na technické, technologické, ale i vědecké otázky a potřeby skupiny. Celková aktivita laboratoří se dělí na dvě části: kontrola a vývoj různých produktů firem skupiny BONGRAIN S. A. a vědecko-technický vývoj. Lidé pracující na jednotlivých částech projektů jsou specialisté v mikrobiologii, molekulární biologii, biochemii, fyzikální chemii, hygieně, bezpečnosti v potravinářství, výživě a zdraví, procesním inženýrství, aplikované matematice.

1.3 Průmyslová problematika

Ochlazování je technologický proces, který je velmi často používán pro výrobu nebo zpracování nejrůznějších potravinářských produktů. Tato etapa, která nastává převážně po tepelném zpracování, pomáhá zlepšit hygienická kritéria a takéž kvalitu potravin. V této práci se budeme zabírat potravinářským výrobkem zvaným proteinový gel. Průmyslovou výrobu tohoto produktu lze rozdělit na dvě části:

- 1) Průběh zpracování, který obsahuje následující etapy jako extruze, skarifikace, míchání, dávkování.
- 2) Konečné zpracování, které je zaměřeno na dokončovací procesy produktu a následné uskladnění.

Průmyslová problematika, řešená v diplomové práci, se vztahuje k prvnímu bodu a to průběhu zpracování produktu. Během výroby proteinového gelu mnohokrát dochází k tepelným výměnám mezi připravovanou potravinou a okolním prostředím. V našem případě se bude jednat o konkrétní část procesu výroby a to ochlazování po procesu vaření proteinového gelu. Ve stávajících podmínkách výroby, proces ochlazování produktu (po vaření) není nikterak regulován a je ochlazován pouze vlivem okolního prostředí v hale. Toto volné ochlazování horkého produktu má za následek ztráty materiálu (vody), které jsou velmi důležité z ekonomického hlediska. Také může mít za následek porušení struktury vlivem termického šoku, termickou kinetikou nebo špatnými klimatickými podmínkami při procesu volného ochlazování. Výsledkem pak bývá velká různorodost stavu konečného produktu, což je nežádoucí.

Práce je zaměřena na následující body:

1: Odpovědi na procesní požadavky:

Jaké jsou možnosti řízení procesu ochlazování pro redukování ztráty materiálu z produktu? Jaké jsou možnosti řízení procesu ochlazování na texturu konečného produktu?

2: Realizace studie uskutečněného ochlazování pro následné sestavení zadávajících technických podmínek pro realizaci procesního zařízení (ochlazovacího tunelu).

Produkt (potravina) používaný k této studii bude připraven podle stejných ingrediencí (voda, proteiny, cukr, tuky a minerály) jako produkt konečný. Bude tedy svou stavbou srovnatelný se surimi.

1.4 Prováděná práce

V rámci diplomové práce je pracovní činnost zaměřena na:

- Aktualizace informací ochlazovacích procesů po technické i vědecké stránce.
- Sestavení vývoje fyzikálních vlastností demonstrovaného produktu.
- Účast na sestavení a přípravě zařízení pro proces testování.
- Organizace a realizace zkoušek.
- Analýza výsledků a zpracování odpovědí pro průmyslovou problematiku.

2 OCHLAZOVÁNÍ: TECHNOLOGICKÝ PŘEHLED

2.1 Ochlazovací efekt v potravinářském průmyslu

Termické zpracování jako ochlazování je technický proces konzervace známý již dlouhou dobu. Chlad přispívá k ochraně kvality potravin a to tím, že limituje rozmnožování mikroorganismů (bakterií, kvasinky, plesnivění):

- Snížením teploty se redukuje kinetická četnost biochemických reakcí.
- Aktivita vody (prezentovaná jako zlomek vody mající možnost snadné migrace prostředím) je omezena krystalizací nebo částečným vypařováním.
- Biologické reakce jako enzymatická reakce jsou zpomaleny.
- Aktivita mikroorganismů (bakterií) odpovědných za degradaci potravin je taktéž zpomalena.

V následující tab. 2.1.1 je rozděleno používání chladu pro zachování potravin na dvě části. Chlad pozitivní a chlad negativní.

	Aplikace	Produkt	Rozmezí teplot	Použití
Chlad pozitivní	Ochlazování	Čerstvé potraviny (podléhají cí zkáze)	0 °C až 4 °C	Průmyslové použití
			0 °C až 8 °C	Domácí skladování
Chlad negativní	Zmražení (pomalé)	Potraviny určené pro zmražení	-18 °C až -26 °C	Skladování domácí a průmyslové
	Zmražení (rychlé)		⁽¹⁾ -18 °C až -35 °C ⁽²⁾ -35 °C až -196 °C	Podmínky procesu ⁽¹⁾ mechanické stlačování ⁽²⁾ kryogenace

Tab. 2.1.1- Rekapitulace všeobecné terminologie a její použití [12]

2.1.1 Zpracování pozitivním chladem

Ochlazování pozitivním chladem doprovází efekt zpomalení enzymatických a chemických reakcí a tudíž jeho důsledek je zpomalení rozmnožování a zpomalení celkového metabolismu mikroorganismů obsažených v potravine. Jedná se o krátkodobé zpomalení degradace potraviny v podobě několik málo dnů.

2.1.2 Zpracování negativním chladem

Podle rychlosti ochlazování potravin můžeme rozeznat:

- Pomalé mražení - používá se pro zachování biologických produktů, u kterých dochází k omezení vlivu mikroorganismů na degradaci produktu. Nejčastější

využití můžeme nalézt v běžné domácnosti. Mražení taktéž podporuje zakonzervování živých buněk. Tato technika se zakládá na snížení teploty produktu a jeho udržování pod teplotou tání vody, aby se zabránilo veškerým biologickým (které závisí na množství vody ve formě tekutiny), chemickým i enzymatickým aktivitám. Čím je teplota nižší, tím déle bude potravin chráněna. Z vyhlášky, která byla stanovena pro Evropskou unii vyplývá, že teplota pro zmrazování je taková teplota, která přesahuje $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pomalé zmrazování je nejčastěji používáno pro zmrazování velkých kusů (maso) a při domácím zmrazování, kdy teplota nepřesahuje teplotu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. V tomto případě ochlazování potravin je provádělo pomalu a to vede k formaci krystalů ledu. Právě velikost vytvořených krystalů ledu je velmi důležitá vůči buňkám daného produktu. Ostré špičky krystalů mohou protrhávat, či jinak mechanicky poškozovat stěnu buněk. Takto poškozená buňka může vydržet až do opětovného rozmražení, kdy se projeví tzv. vypocení [7, 9 až 11, 13 až 15].

- Rychlé zmrazování nebo ochlazování je technika, která je založena na velmi rychlém ochlazení potravin. Tato potravin je vystavena mnohem nižším teplotám než při pomalém ochlazování. Teploty se pohybují okolo $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a níže (závisí na procesu ochlazování). Proces ochlazování trvá tak dlouho, dokud střed mražené potravin nedosáhne teploty $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Touto technikou voda, která je obsažena v buňkách potravin, krystalizuje velmi rychle a tím tak omezuje možnost protržení stěny buňky. Vypocení u této metody tedy není tak velké jako v případě pomalého zmražení. Produkt dále lépe zachovává svoji texturu, svou vůni a může tak vydržet uchovaný čerstvý podstatně déle. Tato technika zmrazování je používána převážně v potravinářském průmyslu a to pro malé a čerstvé kusy potravin [7, 9 až 11, 13 až 15].

Pro jakýkoli technologický postup při ochlazování negativním chladem, chlazené či mražené produkty jsou dále uchovávány při teplotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ či nižší.

2.1.3 Nevýhody ochlazování

Potravin obsahují velké množství vody (až 90% své hmotnosti). Obsah vody je tedy přímo závislý na celkovém objemu produktu a na jeho přeměně mezi tekutou a pevnou fází. Tvoření krystalů ledu v produktu je základním problémem jeho znehodnocování. Krystaly protrhávají stěny buněk, čímž dochází ke zhoršení textury produktu, ale také ke zhoršení jeho chuti (uvolňování aroma, produkce mikroorganismů, podstaty toxicity, modifikace vázané na enzymatickou a neenzymatickou reakci). Velikost ledových krystalů je úzce spojena s kinetikou snižování teploty a její amplitudě (velikosti). Čím je kinetika ochlazování rychlejší a teplota nižší, tím jsou krystaly menší, což vede k menšímu poškozování buněk potravin [7, 9 až 11, 13 až 15].

2.2 *Produkce a přestup chladu*

2.2.1 **Tvoření chladu**

V průmyslu existují čtyři používané systémy pro tvorbu chladu:

- Volné ochlazování (pro pozitivní ochlazování)
- Systém absorpce (pro pozitivní ochlazování)
- Systém mechanické komprese (jak pro pozitivní, tak negativní ochlazování)
- Kryogenický systém (negativní ochlazování)

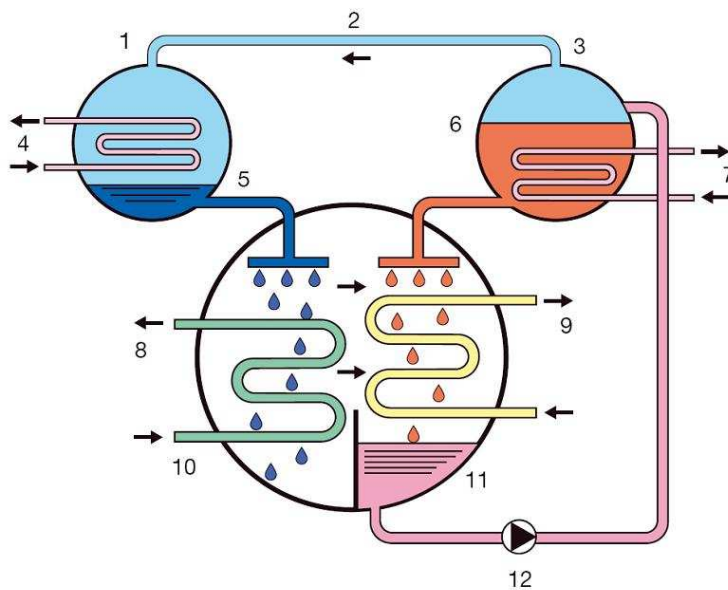
Poznámka: První dva systémy jsou používány výhradně pro pozitivní ochlazování. Účinnost je mnohem menší než třeba u ochlazování mechanickou kompresí. V mnohých oblastech se uvažuje nad tím, že uvolněné teplo z těchto systémů bude použito pro výrobu elektrické energie, popřípadě jeho využití jako zdroje tepla (kogenerace, trigenerace).

Volné ochlazování

Tento systém je založen na jednoduchém systému výměny tepla ve výměníku tepla, kde dochází k tepelné výměně mezi okolním vzduchem a studenou tekutinou (voda nebo jiná procesní tekutina pohlcující teplo). *Volné ochlazování* je velmi energeticky úsporná varianta vůči ostatním ochlazovacím systémům. Může být používán jako samostatný zdroj ochlazování nebo při předchlazování před vlastním procesem ochlazování. Tento způsob ochlazování je hodně využíván v zimních obdobích (venkovní vzduch) [5].

Systém absorpce

Tento systém k produkci chladu využívá termickou energii. Nejrozšířenější systém absorpce je řešení za pomoci roztoku bromidu lithia [5, 53]. Roztok je ohříván tepelným zdrojem. Tímto ohřevem se vytváří vodní pára a zároveň koncentrovaný roztok bromidu lithia v kotli. Vodní pára pak kondenzuje za pomoci výměny tepla venkovním prostředím, dále je pod tlakem vháněna do odpařovacího stroje, kde se odpaří za produkce chladu. Nakonec je pohlcena koncentrovaným roztokem bromidu lithia, který se vrací do kotle, kde se celý cyklus opakuje.



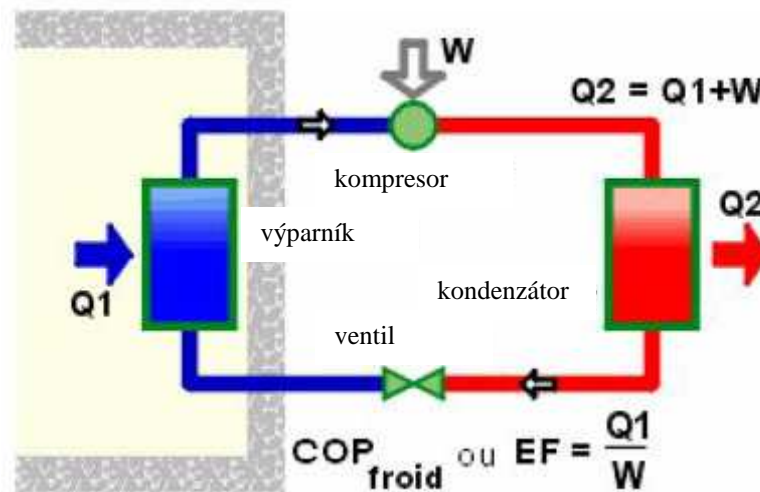
Legenda:

1. Kondenzátor
2. Páry chladiva
3. Generátor
4. Chladicí voda
5. Kapalně chladivo
6. Koncentrovaný roztok
7. Zdroj tepla
8. Chlazená voda
9. Chladicí voda
10. Výparník
11. Absorbér
12. Čerpadlo absorbentu

Obr. 2.2.1- Schéma systému absorpce [53]

Systém mechanické komprese

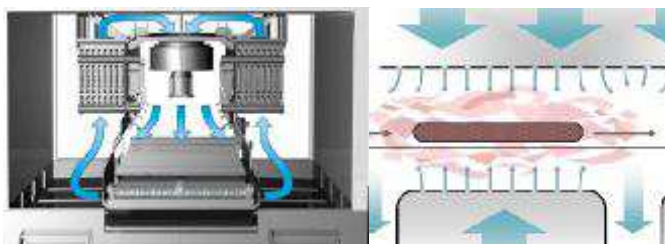
Systém mechanické komprese je nejrozšířenějším způsobem výroby chladu v průmyslu. Zaujímá až 90% veškerých zařízení určených pro tuto výrobu. Tento systém spotřebovává mechanickou energii dodávanou spotřebou elektrické energie v kompresoru, ale také v jiných zařízeních (pumpy, ventilátor chladíče). Systém je možno aplikovat na různé stupně a účinnosti ochlazování s používáním adekvátních ochlazovacích variant (systém vícepatrový, kaskádovitý) [1, 5, 20].



Obr. 2.2.2- Schéma systému mechanické komprese [1]

Příklad: systém Adventec

Princip: vzduch je ochlazován výměnou tepla s amoniakem za pomoci mechanické komprese. Tento ochlazený vzduch je následně vháněn do miliónu malých patentovaných trysek rychlostí 45 m/s směrem k ochlazovacímu produktu. Studený vzduch, s takto vysokou rychlostí, zajišťuje velmi účinné ochlazování potravin. Adventec garantuje homogenní ochlazování s velkou účinností: velká rychlost proudícího vzduchu, rychlá výměna tepla a velmi krátký čas ochlazování. Produkt je tímto vzduchem ochlazován z každé strany (viz. obr. 2.2.3) [47].



Obr. 2.2.3 – Princip funkce systému Adventec (Frigoscendia Equipment) [47]

Kryogenický systém

Kryogenický způsob ochlazování potravin se používá pro velmi rychlé zmrazení produktu tak, aby produkt v zásadě zůstal v nezměněné podobě jako před zmrazením. Klasický způsob mražení totiž vyvolává dehydrataci povrchu produktu a formuje velké krystaly ledu, které mohou poškozovat danou potravinu.

Poznámka: u jediné kryogenie dochází k přímému kontaktu studeného nosiče chladu s potravinou (použití N_2 nebo CO_2).

Kryogenie za pomoci N_2 (teplota až $-140^\circ C$)

Kryogenie za pomoci CO_2 (teplota až $-65^\circ C$)

Potravina je ponořena do kryogenického roztoku, energie obsažená v molekulách potravin se přemění na tzv. kryogen. Potravina se ochladí a zmrazení probíhá velmi rychle, jelikož všechny molekulární pohyby a transformace jsou pozastaveny. Jestliže potravinu opět zahřejeme (rozmrazíme), kryogen se uvolní a molekuly obsažené v potravine se opět uvedou do pohybu. Produkt je ve stejném stavu, jako byl před zmrazením [16 až 29].

Dehydratace a přestup tepla

V následující tab. 2.2.1 je možno vidět množství dehydratace pro různé typy ochlazování [47].

Metoda ochlazování	Dehydratace (%)
Domácí lednička	4-5
Chladicí box	3-4
Ochlazovací tunel	0,7-1,2
Kryogenie	0,5
System Advantec	0,4

Tab. 2.2.1 – Porovnání různých typů ochlazování vzhledem k vysušování [47]

Technologický postup ochlazování se volí na základě: rychlosti ochlazování (velikost koeficientu přestupu tepla viz tab. 2.2.2), ztrát materiálu (dehydratace), adaptace na ochlazovací produkty, ekonomiky (cena zařízení, cena provozu) a samozřejmě podle hygienických a ekologických předpisů.

Metoda ochlazování	Koeficient přestupu tepla ($W/(m^2 \cdot K)$)
Skladovací box	5-10
Přímý tunel	10-30
Spirální tunel	20-40
Ochlazování kapalinou	50-60
Kryogenie	200-250
Advantec	200-300

Tab. 2.2.2 – Rozmezí hodnot pro koeficient přestupu tepla ve funkci na odlišné druhy ochlazovacích zařízení, která jsou aplikovaná na hovězím maso [47].

Tekutiny využívané pro tvorbu chladu

Existují různé kategorie tekutin určených k výrobě chladu. Některé z nich jsou omezeny popřípadě úplně zakázány s ohledem na životní prostředí [5, 6, 8].

- Tekutiny přispívající ke skleníkovému efektu:
 - o CFC (chlorofluoro-uhlovodík) je zakázán, jelikož zapříčiňuje rozšiřování ozonové díry
 - o HCFC (hydrochlorofluoro-vodík) zakázán ze stejného důvodu
 - o HFC (hydrofluoro-uhlovodík) má za následek skleníkový efekt

- Tekutiny bez příspěvku ke skleníkovému efektu:
 - o NH_3 (amoniak) asi nejčastěji využívaný v potravinářském průmyslu
 - o Uhlovodík, nejčastěji využívaný v domácích ledničkách
 - o CO_2 , velmi vzácně
 - o H_2O , taktéž vzácně, použití pouze pro pozitivní ochlazování

Výběr tekutin pro výrobu chladu je stanoveno pěti kritérii [5, 6, 8]:

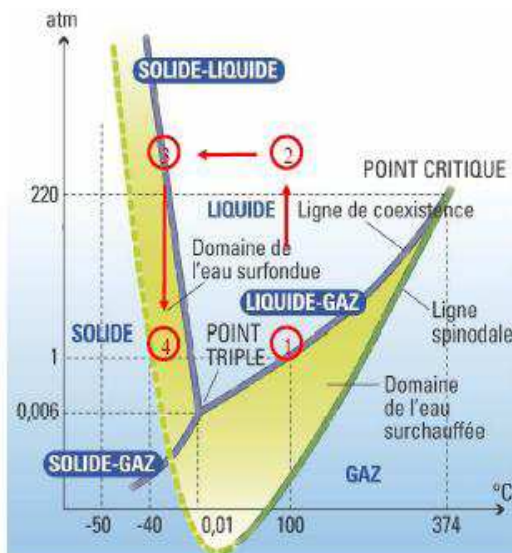
- Kritérium termodynamické: tekutina musí být schopna poskytnout dostatečný výkon a teplotu pro naše zpracování.
- Kritérium bezpečnosti: nutno brát ohled na možnou kontaminaci produktu tekutinou, popřípadě výbušnost kapaliny.
- Ekologické kritérium: toto kritérium je dáno vyhláškou daného státu.
- Technické kritérium: reakce tekutiny s materiálem, termická výkonnost, snadné ucházení kapaliny.
- Ekonomické kritérium: cena kapaliny, ale také nutné části pro instalaci této tekutiny.

Nové technologie

Následující tři technologie jsou zde dány pouze pro představu, jakým směrem se vyvíjí toto odvětví průmyslu. Technologie není zatím možno využít pro průmyslové aplikace hlavně kvůli velké ceně a rozměrům.

Mražení za pomoci vysokého tlaku

Tato metoda je používána pro negativní ochlazování pod tlakem, kdy v potravine není vyprovokovaná fáze mezi tekutinou a pevnou látkou. Reakce takřka adiabatická je realizována surfuzí* v seskupení materiálu doprovázeného homogenní nukleací a rychlostí. Prospěch zpracování tímto systémem je kapacita inaktivace patogenních mikroorganismů, to vše při minimálním termickém zpracování, které zabrání prakticky jakémukoliv změně potravinářské charakteristiky čerstvého produktu (ztráta vitamínů). Zmrazení metodou při vysokého tlaku nevedeme produkt ve škodlivou modifikaci, protože velikost ledových krystalů je redukována stejně tak, jako jejich počet. Stejný proces (a jeho pozitiva) funguje i při rozmrazování metodou vysokého tlaku [30, 31].



Legenda

- Solid – pevná látka
- Liquide – tekutina
- Gaz – plyn
- Point triple – trojný bod
- Point critique – kritický bod
- Domaine de l'eau surfondue – oblast zmrzlé tekutiny
- Domaine de l'eau surchauffée – oblast ohřáté tekutiny
- Ligne de coexistence – linka koexistence
- Ligne spinodale – křivka

Obr. 2.2.4 – Ilustrace ochlazovacího cyklu za pomoci vysokého tlaku vzduchu [30].

* Surfuze: ve fázovém diagramu (obr. 2.2.4) je surfuze prezentována jako zelená zóna. Zelená křivka vpravo indikuje limitní stav, kde tekutina se nevyhnutelně přetváří v led (pevné těleso) nebo v páru (plyn). Fialová křivka pak představuje limitní stav pro jednotlivé seskupení (pevná látka, kapalina, plyn) v přirozeném prostředí.

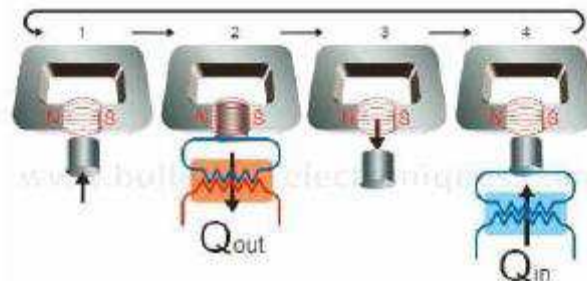
Cyklus zmrazení je reprezentován červenými šipkami a číslicemi. Etapa (1)-(2) potravina, obsahující vodu v tekuté fázi, je podrobena vysokému tlaku vzduchu. Etapa (2)-(3) potravina je prudce ochlazena, voda se neustále nachází v tekutém skupenství. Etapa (3)-(4) potravina je dále podrobena snížením tlaku, kdy se tekutiny zakonzervují v led o stejných parametrech, jelikož se nachází ve stavu surfuze (zelená zóna).

Poznámka: měřítka tlaku a teplot uváděna na obr. 2.2.4 nejsou adekvátní s jednotlivými etapami (1), (2), (3) a (4).

Magnetické ochlazování

Tento typ ochlazování využívá specifických materiálů jako aktivních kompozitů (vodu a alkohol) jako prostředek k přenosu tepla. Tato technika ochlazování byla vynalezena více vývojářskými firmami (hlavně v USA: Ames Laboratory (Iowa), Astronautics Corporaton of America (Wisconsin), Evropa: Laboratoře de Rico v Dánsku, Universitě Cambridge v Anglii, elektrické laboratoře v Grenoblu Francie...). Metoda se zdá velmi nadějná jakožto ekologický produkt ochlazování, energeticky účinný a rovněž levný. První aplikace byly použity na ochlazování elektronických komponentů (procesory), [32 až 41].

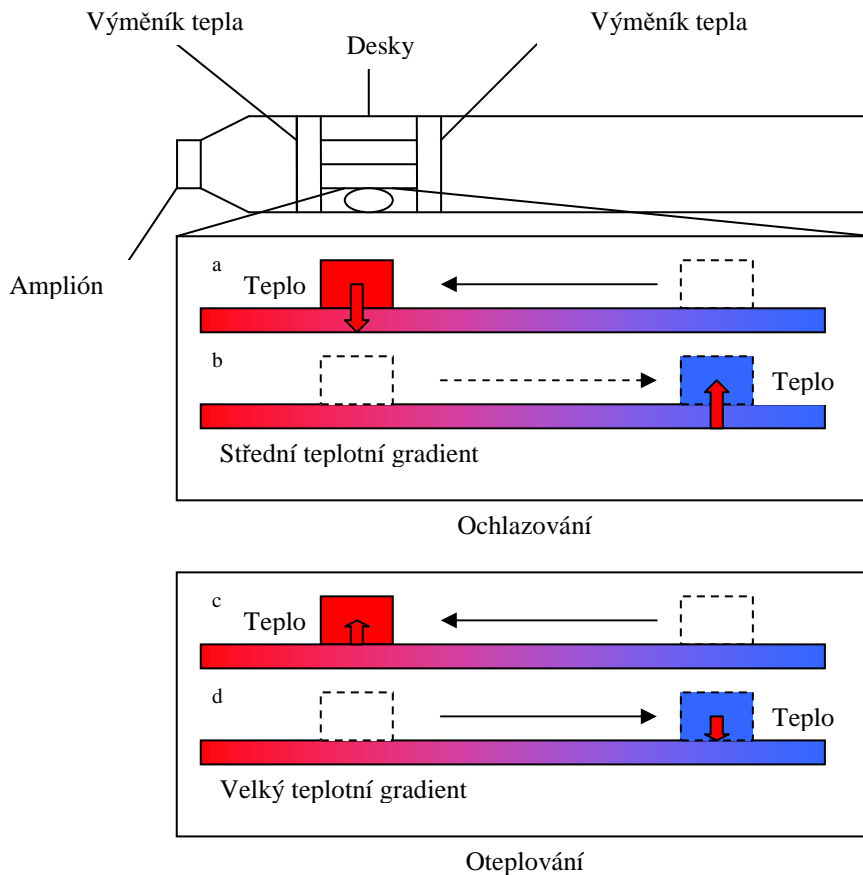
Tato metoda využívá opačných magnetických pólů k navýšení teploty použitých materiálů. Tepelná energie je vedena netěkavou kapalinou, jako je například voda, a poté termodynamicky převedena na chladnou teplotu. Vědcům se již nyní, pomocí nové technologie, podařilo ochladit chrom z 20 °C na 11 °C.



Obr. 2.2.5 – Ilustrace principu magnetického ochlazování [33]

Termo-akustické ochlazování

Metoda je založena na interakci mezi akustickou vlnou a termickým proudem. K tomuto efektu dochází tehdy, když dojde k interakci akustické vlny se stěnou, kde se produkuje přenos tepla formou miniaturní termické vrstvy. V akustické ledničce je tento úkaz využitý za pomoci kupení paralelních desek, které jsou rozmístěné v akustickém rezonátoru, který tvoří akustické vlny větší jak 160 dB. Termo-akustický efekt, který se produkuje na nakupených deskách, vzniká rozdíl teplot mezi okraji poslední desky. Můžeme tak dosáhnout rozmezí několika desítek stupňů. Je možné dosáhnout záporných teplot, které mohou být až -70 °C, jestliže teplota teplého zdroje je rovna teplotě okolí [42, 43, 44]. První pokus toho typu byl proveden v laboratořích již v 80. letech minulého století. Architektura tohoto zařízení byla postavena na čtyřech základních prvcích: dlouhá komora, ve které dochází k množení zvukových vln, nakupené desky umístěné mezi dva výměníky tepla uložené v porézním materiálu, který zajišťuje výměnu tepla mezi plynem a okolním prostředím, plyn (převážně hélium, které se stlačuje a uvolňuje v přechodu mezi zvukem a zdrojem akustické energie). Na následujícím obr. 2.2.6 jsou znázorněny trubice naplněné plynem, výměníky tepla s deskami a zdroj zvuku. Termo-akustický efekt se projevuje mezi deskami s každým cyklem. Stacionární akustické vlny tvořené reproduktorem, nutí plyn k probíhání skrze výměník tepla.



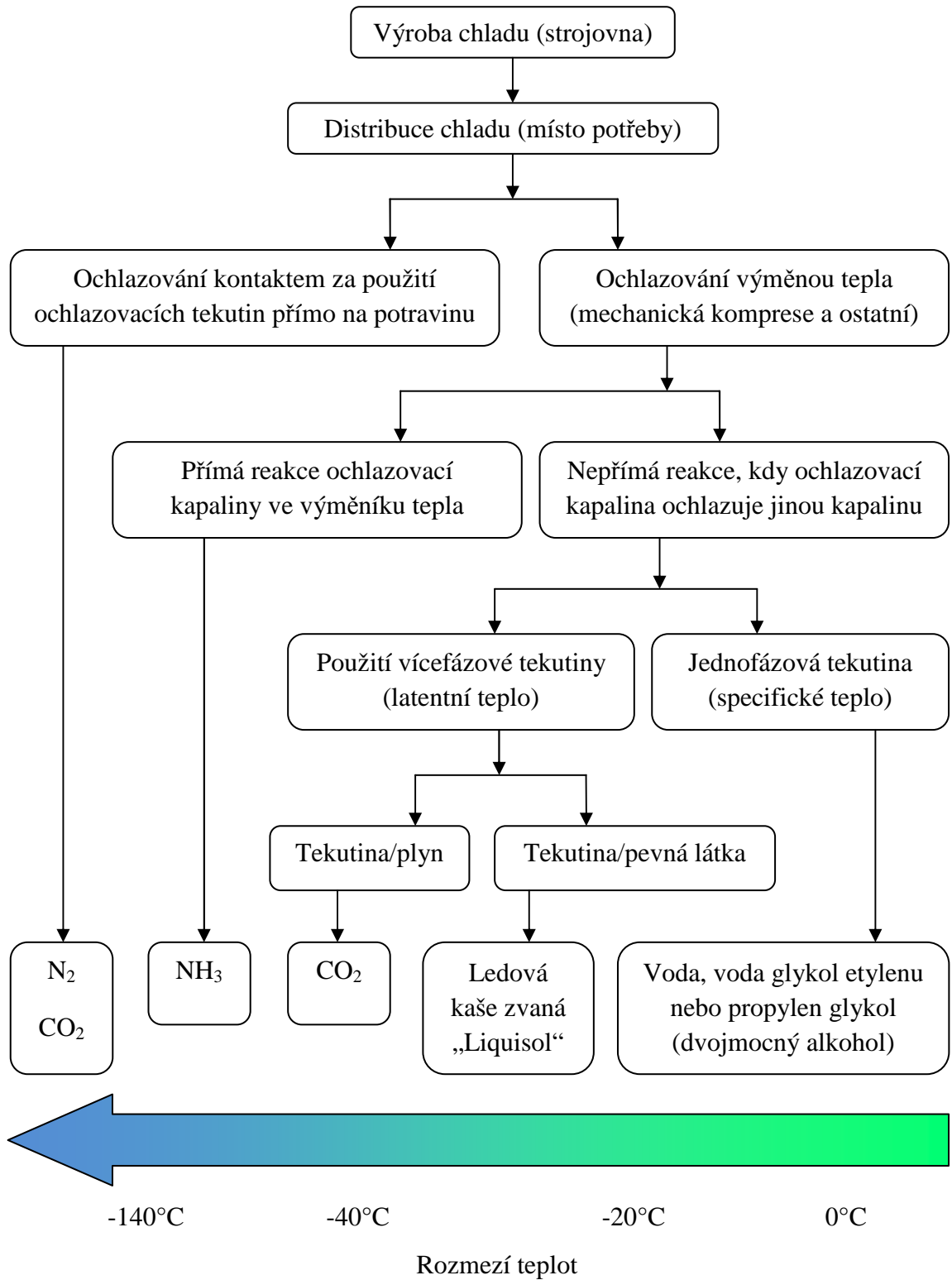
Obr. 2.2.6 – Schéma principu akustického ochlazování [42]

První rámeček (a - b), případ ochlazování. Jestliže teplotní gradient je malý, během první poloviny cyklu zvuková vlna přemístí ochlazený materiál, který je současně stlačován a zahříván. Předá se tak teplo desce. Během druhé části cyklu zvuková vlna přemístí ochlazený materiál napravo, tlak se zmenší, povolí se a zchladí. Absorbuje se tak teplo do desky. Závěr: teplo bylo přemístěno z pravé strany na levou, vznikl tak zdroj chladu.

Druhý rámeček (c - d), zesilovač zvuku. Ukázka opačného fenoménu: teplo je tentokrát přeneseno na desku, která prezentuje vysoký gradient teploty. Vlna vyvolává v materiálu stejnou přeměnu, ale tentokrát teplejší deska na levé straně uvolňuje teplo materiálu, takže jedna část slouží ke zvětšování vln a druhá část je odraží na desku vpravo v průběhu dalšího půl cyklu.

2.2.2 Distribuce chladu

Rozdělení chladu lze znázornit do následujícího schématu.



Obr. 2.2.7 – Názorné schéma používání chladu

Ochlazování kontaktem

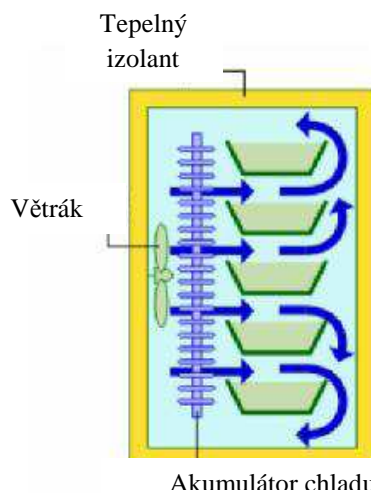
Ochlazovací kapalina přímo ochlazuje produkt za stavu vypařování se (kryogenie). Tento systém ochlazování je energeticky nejúčinnější, přesto je méně používaný. Důvodem jsou složité rozvody kanálů pro ochlazovací kapalinu, která je vedena pod tlakem [1 až 7].

Ochlazování výměnou tepla

Přenos tepla je prováděn za pomoci výměníků tepla, převážně označované jako „studené baterie“. Ochlazovací tekutina proudí v uzavřeném cyklu. Vzduch obklopující potravinový produkt, který šíří teplo produktu přechází přes „studenou baterii“, kde je ochlazován a následně vhaněn zpět k potravine [1, 3 až 7].

Ochlazování lze rozdělit na:

- Přímé (reakce ochlazovacího roztoku se děje přímo ve výměníku, který se nalézá ve stejném místě jako uložené produkty).
- Nepřímé (dochází k přenosu chladu mezi ochlazovací kapalinou a kapalinou vytvářející chlad).



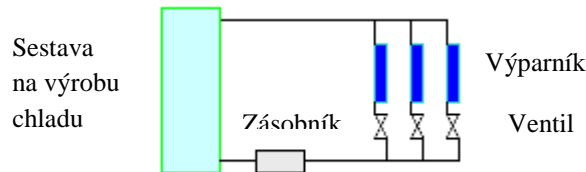
Obr. 2.2.8 – Klasické schéma ochlazování výměnou tepla

Přímé ochlazování

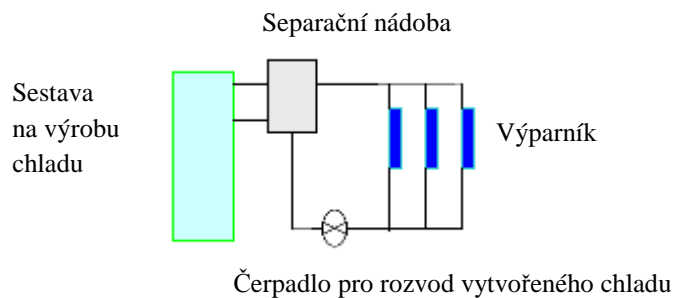
Výhody	Nevýhody
Jedná se o nejlepší řešení z hlediska termodynamiky	Kapalina vytvářející chlad je často pod velkým podtlakem a její viskozita je malá. Její cirkulace tak musí být zajištěna vhodným utěsněním, aby nedocházelo k jakýmkoli únikům. Utěsnění je velmi důležité a vztahuje se taktéž ke vzdálenosti, na kterou je nutno chlad přivést. Vzniklé uniky tak jsou často důvodem znečištění a zamoření jak ovzduší, tak i ochlazovacího produktu. Jedná se hlavně o zařízení využívající kapalin jako HCFC a HFC. Taktéž je možné toxického zamoření, týká se používání amoniaku. Tyto zařízení jsou proto zakázány pro využití na veřejných prostranstvích.

Ochlazování metodou přímou:

a) Bez separační nádoby



b) Se separační nádobou

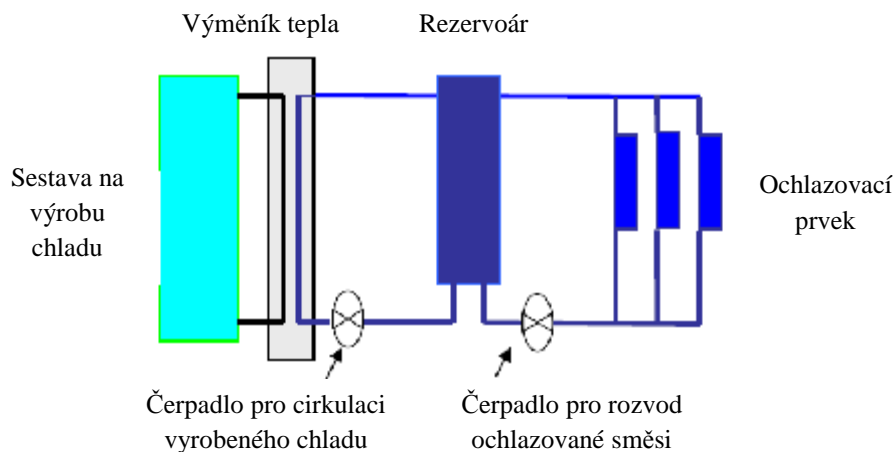


Obr. 2.2.9 – Schémata kapalného přímého ochlazování

Ochlazovací kapalina ochlazuje jinou kapalinu, která zajistí distribuci chladu v místě určení.

Výhody	Nevýhody
<p>Jednoduché okruhy distribuce chladu. Snadné využití a rozpětí systému. Finální kapalina, která ochlazuje produkt je bez jakéhokoliv nebezpečí zamoření veřejného prostranství v případě úniku. Možnost akumulace energie, která ale vyžaduje určitý objem skladovacího systému.</p> <p>Krátký okruh vytváření chladu.</p> <p>Malé množství ochlazovací kapaliny*.</p> <p>Celková těsnost zařízení je kompletně zajištěna výrobou v továrně (bezpečnější).</p>	<p>Z pohledu energetického je tento systém méně výkonný než metoda přímého ochlazování. Vzhledem k možným ztrátám vlivem výměny tepla ve výměníku či používání čerpadla v okruhu pro rozvod ochlazené kapaliny.</p> <p>S ohledem na specifické teplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tepelné množství hraje důležitou roli. - Důležitá velikost trubek rozvodů. - Cena energie pro pohon čerpadla.

* Izolace a množství ochlazovací kapaliny je významná z hlediska nebezpečí jejího úniku (únik HN_3 například) pro omezení úniku, nebo má-li prostředek silný dopad na skleníkový efekt.



Obr. 2.2.10 – Schéma výměny tepla mezi ochlazovanou a distribuční kapalinou

Ochlazování za pomoci výměny tepla (přímé či nepřímé) je nevyhnutelné z důvodu skladování chladu. Nejčastěji se setkáváme se dvěma typy kapalin, které slouží k rozvodu chladu z výměníku nebo rezervoáru chladu: jsou to kapaliny jednofázové a dvoufázové.

Jednofázové kapaliny: jsou nejčastěji sloučeninou vody s nějakým antigelem (sůl, alkohol, polyalkohol) v tekutém stavu. Přenos chladu je zajištěn latentním teplem. Tyto kapaliny jsou nejčastěji využívány [8, 9, 45].

Dvoufázové kapaliny: tyto nové roztoky jsou směsí plynu a tekutiny (CO_2), nebo směsí tekutiny a pevných částic (ledová kaše či sorbet, složený z kousků ledových krystalků a vodního roztoku soli nebo organickou sloučeninou závislé na teplotě se kterou chceme pracovat). Přenos chladu je zajištěn latentním teplem (změna fází). Tento nosič chladu zajišťuje mnohem větší objem chladu než jednofázová kapalina. Ledové krystalky ve formě kašovité hmoty začínají být velmi často používány v těžkém průmyslu a v potravinářském průmyslu (mlékárenství), pro ochlazování za pozitivních teplot. Další výhodou je, že tato tekutina může být rovnou využita jako zásobník pro uchování chladu. Stačí ji uložit v nějaké nádobě [8, 9, 45].

3 OCHLAZOVÁNÍ: VĚDECKÝ PŘEHLED

3.1 Proces přestupu tepla

V následujícím popisu je aplikován model šíření tepla pro nekonečně rovinnou desku.

Kinetika ochlazování našeho zkoumaného předmětu závisí na dvou mechanismech přenosu tepla.

3.1.1 Konvekce

Jedná se o přenos tepla mezi potravinou a okolním prostředím (vzduch). Tento přestup tepla závisí na rozdílu teplot mezi povrchem potraviny a ochlazovacím vzduchem. Tepelný tok můžeme znázornit následující rovnicí (1):

$$\dot{Q} = A \cdot h \cdot (T_s - T_a) \quad (1)$$

kde A je plocha výměny tepla, h je součinitel přestupu tepla, T_a vyjadřuje teplotu okolního vzduchu a T_s teplotu povrchu produktu.

3.1.2 Kondukce

Jedná se o proces výměny uvnitř produktu (vnitřní energie). Jestliže obě strany desky vykazují odlišnou teplotu, teplo se bude šířit směrem ke studenější zóně. Můžeme tedy říci, že produkt je složen z nekonečně malých vrstev i a teplo se mezi vrstvami šíří od vrstvy i k vrstvě $i+1$ dokud nedojde k vyrovnání teplot daného produktu. Tento přenos je možno vyjádřit rovnicí (2):

$$\dot{Q} = A \cdot \frac{\lambda_s}{\Delta x} \cdot (T_{S(i)} - T_{S(i+1)}) \quad (2)$$

kde A je plocha výměny tepla, λ_s tepelná vodivost produktu, $T_{S(i)}$ teplota uzlu (i -tého povrchu).

Můžeme tudíž předpokládat následující rozvoj tepla u našeho studovaného produktu na základě Fourierova zákona:

$$\rho_s \cdot c_{p_s} \cdot \frac{\partial T_s}{\partial t} \cdot dx = -\lambda_s \cdot \left(\frac{\partial T_s}{\partial x} \right)_x + \lambda_s \cdot \left(\frac{\partial T_s}{\partial x} \right)_{x+dx} \quad (3)$$

kde dělením podle objemu $A \cdot dx$ získáme:

$$\rho_s \cdot cp_s \cdot \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{-\lambda_s \cdot \left(\frac{\partial T_s}{\partial t} \right)_x + \lambda_s \cdot \left(\frac{\partial T_s}{\partial t} \right)_{x+dx}}{dx} \quad (4)$$

Jestliže dx směřuje k 0, pak:

$$\rho_s \cdot cp_s \cdot \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial \left(\lambda_s \cdot \frac{\partial T_s}{\partial x} \right)}{\partial x} \quad (5)$$

Jestliže λ a $\rho \cdot cp_s$ jsou konstanty (v čase a prostoru), dostaneme:

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} \quad (6)$$

$$D_s = \frac{\lambda_s}{\rho_s \cdot cp_s} \quad (7)$$

kde D_s je difuzivita tepla produktu.

Rovnice jsou dále rozvedeny numerickou metodou konečných diferencí:

$$T_s(t+dt) = T_s(t) + D_s \cdot \frac{d^2 T_s}{dx^2} dt \quad (8)$$

$$T_s(x, t+dt) = T_s(x, t) + \frac{D_s \cdot dt}{dx^2} \cdot (T_s(x-dx, t) - 2 \cdot T_s(x, t) + T_s(x+dx, t)) \quad (9)$$

Tyto rovnice jsou taktéž použitelné pro šíření tepla v desce, na které je položena studovaná potravina.

$$T_p(x, t+dt) = T_p(x, t) + \frac{D_p \cdot dt}{dx^2} \cdot (T_p(x-dx, t) - 2 \cdot T_p(x, t) + T_p(x+dx, t)) \quad (10)$$

Řešení těchto rovnic bylo provedeno metodou konečných diferencí druhého řádu. Programový zápis rovnic pro samotný výpočet tepla byl proveden v programu Scilab* 4.1.2. (výpis programu se nachází v příloze (8.12)).

* Scilab je numerický program využívaný pro výpočty matematických aplikací. Byl vytvořen v roce 1990 skupinkou vědců ze skupiny INRIA a ENPC [49].

3.2 Proces přenosu hmoty

Podle Fickova zákona pro prostředí bez vnitřních pohybů a deformací, je přenos hmoty určen množstvím difúzního materiálu m popsán následujícím vztahem:

$$\dot{m} = -A \cdot D_c \cdot \vec{\nabla} C \quad (11)$$

nebo

$$\vec{\phi}_m = -D_c \cdot \vec{\nabla} C \quad (12)$$

kde Φ_m je vektor hustoty toku materiálu, D_c konduktivita materiálu, A povrch materiálu, C je koncentrace materiálu.

Pro jednorozměrný případ lze tedy napsat:

$$\dot{m} = -A \cdot D_c \cdot \frac{dC}{dx} = -A \cdot D_c \cdot \frac{C_2 - C_1}{x_2 - x_1} \quad (13)$$

nebo

$$\vec{\phi}_m = -D_c \cdot \frac{C_2 - C_1}{x_2 - x_1} \quad (14)$$

Je nutné připomenout, že tento zákon bere v úvahu molekulární difúzi v prostředí bez vnitřních pohybů a deformací. Nicméně samotná výměna hmoty materiálu může zapříčinit deformaci.

Nejčastější aplikace Fourierova a Fickova zákona je stacionární přenos tepla a hmoty skrze rovinnou desku.

3.3 Dopad ochlazování na potraviny

3.3.1 Fyzikální vlastnosti produktu

Zákony přestupu tepla a hmoty vyžadují znát některé fyzikální vlastnosti zkoumaného materiálu (ingrediencí) jako funkci teploty.

Hustota

Pro naše účely potřebujeme znát hodnotu hustoty produktu ρ . Naše zkoumaná potravina je složena z více ingrediencí a každá tato ingredience jinak ovlivňuje konečný stav hustoty. Pro tento výpočet lze použít rovnici (15), přičemž jednotlivé komponenty produktu uvádí tab. 3.3.1 při teplotě 20 °C.

$$\rho = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} \quad (15)$$

Označení i v rovnici (15) označuje rozdílné elementy a x označuje hmotnostní zlomek každého elementu. Součet x_i musí být roven 1.

Komponenta	Hustota (kg/m ³)
Protein	1320
Tuk	920
Karbohydráty	1600
Vláknina	1300
Popel	2420
Voda	1000
Led	910

Tab. 3.3.1 – Hustota jednotlivých složek potravin při teplotě 20 °C[50]

Specifické teplo

Pro určení specifického tepla C_p , lze využít empirických vyjádření. V následující tab. 3.3.2 je uvedeno několik příkladů jak vypočítat C_p pro jednotlivé typy potravin. Tyto výpočty obsahují formuli pro objem vody v potravine $x_w = (1 - x_d)$, kde x_d je hmotnostní zlomek suchého materiálu.

Produkt	Rovnice
Produkt okolo zmrazovacího bodu	$C_p = 1,8 + 2,4 \cdot x_w$
Zmražený produkt (veškerá voda v produktu je v pevném skupenství)	$C_p = 1,8 + 0,3 \cdot x_w$
Produkt obsahující velké množství vody	$C_p = 0,837 + 3,349 \cdot x_w$
Masa a ryby (obsah vody >25%)	$C_p = 1,67 + 2,5 \cdot x_w$
Ovoce a zelenina (obsah vody >50%)	$C_p = 1,67 + 2,5 \cdot x_w$

Tab. 3.3.2 – Rovnice pro výpočet specifického tepla [50]

Pro přesnější výpočet je potřeba taktéž započítat obsah jednotlivých ingrediencí v potravine v závislosti na teplotě (voda tekutá, pevná látka).

$$\text{Chlazený produkt:} \quad C_p = 1,6x_c + 2,0 + x_f + 1,1x_a + 4,2x_w \quad (16)$$

$$\text{Zmražený produkt:} \quad C_p = 1,6x_c + 2,0 + x_f + 1,1x_a + 2,1x_w \quad (17)$$

Hmotnostní zlomky x používané v předcházejících rovnicích jsou: x_c pro uhlohydráty (cukr), x_p pro proteiny, x_f pro tuk, x_a pro popel (minerály).

Z předchozích rovnic je zřejmé, že specifické teplo vzrůstá s objemem vody obsažené v produktu, kde $C_{p,w} = 4182 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Předcházející rovnice (16) a (17) jsou pro požadované výpočty více jak dostačující. Další možné vyjádření můžeme nalézt v příloze (8.2).

Tepelná vodivost

Tepelná vodivost λ závisí na složení a spojitě (homogenní) nebo nespojitě (výskyt vzduchových bublin nebo kusy materiálu) strukturu potraviny. V tab. 3.3.3 je možno vidět některé jednoduché rovnice pro výpočet tepelné vodivosti.

Produkt	Rovnice
Ovoce a zelenina – s obsahem vody více jak 60%	$\lambda = 0,148 + 0,493 \cdot x_w$
Maso – s obsahem vody 60 – 70% pro teploty (0 - 60 °C)	$\lambda = 0,08 + 0,52 \cdot x_w$

Tab. 3.3.3 – Rovnice tepelné vodivosti λ pro výpočet specifického tepla [50]

Klasické rovnice pro výpočet tepelné vodivosti jsou dány rovnicí (18), kde λ_{food} je tepelná vodivost potraviny, $C_{p,w}$ je specifické teplo vody a $C_{p,food}$ představuje specifické teplo potraviny.

$$\lambda_{food} = \frac{C_{p,food}}{C_{p,W}} \quad (18)$$

Další možné výpočty pro tepelnou vodivost jsou zařazeny v příloze (8.3).

Tepelná difuzivita

Tepelná difuzivita D_c je stanovena poměrem vyjádřeným funkcí tepelné vodivosti, hustoty a specifického tepla:

$$D_c = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (19)$$

Tento koeficient se objevuje ve Fourierových rovnicích (přestup tepla).

Kompletní výsledky fyzikálních vlastností testovaného proteinového gelu můžeme nalézt v příloze (8.4).

3.3.2 Dopad okolních klimatických podmínek na produkt

Aktivita vody

Mimo ohrazené prostředí (procesní potrubí, uzavřené nádoby, vakuované balení), je povrch potravinářského produktu místem, kde dochází k přenosu vody z produktu do okolního vzduchu (vysušování). Velikost výměny hmoty závisí na množství vody obsaženém v každém z daných prostředí (produkt, vzduch) a stavu nasycení vodních par. Ve vzduchu, voda ve formě páry, lehce migruje mezi prostředími na základě rozdílu nasycených par.

V potravinářském produktu – nepřítomnost externího namáhání – funkce vody zvané „volné“, může lehce přecházet mezi prostředími. Aktivita vody* (symbol a_w) je definována následujícím vztahem (20). A_w představuje tlak nasycených vodních par ve vlhké potravine na tlak nasycených par při stejné teplotě.

$$a_w = \frac{P_w(T)}{P_s(T)} \leq 1 \quad (20)$$

kde P_s , P_w jsou tlak nasycené vodní páry a tlak nenasyčené vodní páry v produktu při teplotě T.

** Tento parametr je taktěž označován jako interakce vody s matricí potraviny. Aktivita vody nepředstavuje množství vody (nebo vlhkost), ale použitelnost této vody. Čím je a_w větší, tím více je větší množství volné vody ($1 = \text{maximum}$). Tento parametr popisuje stav vody v okolí. Popisujeme jim také relativní vlhkost, volné vody nebo jiné volné vody.*

Množství vody ve vzduchu ovlivňuje proces vodní migrace z potraviny do okolního vzduchu.

Mikrobiologický aspekt

Aktivita vody podmiňuje rozvoj mikroorganismů na potravinách (v souladu s ideální teplotou). Spektrum nárůstu mikroorganismů ve funkci na a_w je uvedeno v následující tab. 3.3.4. Práce v klimatických podmínkách, které jsou velmi vlhké, vyžadují velmi přísná hygienická opatření.

Hodnota a_w	Mikro-organismy	Odpovídající potraviny
>0,95	Bacillus cereus Clostridium botulinum Pseudomonas spp. Entérobactériacées	Vajíčka, smetana, mléko, maso, ryby, ovoce, zelenina, uzeniny
>0,91	Clostridium spp. Bacillus spp.	Tvrde salámy, párky
>0,86 >0,8	Staphilococcus aureus Zrající kvasnice	Masové plechovky, mazací sýry, sirup, solené produkty
>0,6	Levures	Čokoláda, bonbóny, sušené ovoce, pralinky, mouka, med, marmeláda
>0,6	Žádný nárůst	Sušenky, práškové pokrmy, sušená jídla

Tab. 3.3.4 – Hodnoty vodní aktivity (a_w) v závislosti na vývoji mikroorganismů [50]

4 SIMULOVANÉ POKUSY DOPADU ŘÍZENÍ OCHLAZOVACÍHO TUNELU

Z velkého množství ochlazovacích technologií, které byly nastíněny v předchozích částech této práce, bylo vybráno (z technologických důvodů) testovat přímé ochlazování, kde proud studeného vzduchu prochází napříč celým zařízením, čímž simulujeme ochlazovací tunel.

Zařízení, které simuluje ochlazovací tunel, bylo upraveno tak, aby dovolovalo otestovat dvě různé techniky ochlazování, to vše za neustálého měření (teploty, relativní vlhkosti vzduchu).

Tyto experimentální opatření nám pomohou definovat dopad rozdílných ochlazovacích podmínek během měření na kvalitu měřeného produktu, stanovované na základě statistického experimentálního plánování.

Fyzikální model přenosu tepla proteinového gelu byl sestaven a následně porovnán s experimentálními hodnotami. Tento model tak nakonec umožňuje určit kapacitu a celkovou optimalizaci ochlazovacího tunelu.

Z naměřených výsledků byla sestavena kinetika ochlazování tabulky proteinového gelu (200 x 200 x 4 mm) za rozdílných experimentálních podmínek (teplot, vlhkosti vzduchu a času). Taktéž byl studován vliv složení produktu na konečném visko-elastickém stavu po průběhu ochlazování.

Celý experiment začíná sestavením proteinového gelu a to smícháním jednotlivých ingrediencí a končí analýzou textury konečného stavu produktu.

4.1 *Nástroje a metody*

Nástroje použité v celém cyklu experimentu jsou následující:

4.1.1 Příprava gelu

- Míchačka *Stéphan* (kapacita 5kg)
- Kryostat zapojený přímo do mezistěny misky *Stéphana*
- Váha – (PG5002-2) kapacita max. 5100g

4.1.2 Vaření

- Prototyp pece pro výrobu proteinového gelu sestavené na principu vaření v páře.

4.1.3 Ochlazování

- Klimatické zařízení značky ARCOS (objem 1,5 m³), obsahuje systém regulace teploty a vlhkosti vzduchu.
- Systém zvlhčování vzduchu zajištěný pulverizující tryskou (vzduch, voda), pro zajištění vysoké vlhkosti vzduchu uvnitř zařízení ARCOS a pro přímé ochlazování proteinového gelu vodní parou.

4.1.4 Měření teplot

- Termočlánek typ T, pro měření teploty gelu. Přesnost 0,5 °C
- Psychrometr měřící relativní vlhkost vzduchu v ARCOS. Přesnost 2% relativní vlhkosti vzduchu.
- Přenosný psychrometr CTN FN A846, Přesnost 2,5% relativní vlhkosti vzduchu.
- 2x infračervený měřič teploty, zajišťuje měření teploty povrchu gelu – typ OMEGA OS 136 – 1IP66. Přesnost 3% naměřené teploty.
- Infračervený pyrometr – AMRiR 781420SB. Přesnost +/-1% naměřené hodnoty.

4.1.5 Měření charakteristiky textury gelu

- Viskozimetr – Rheostress RS 150 (HAAKE), le Pelletier: Univerzální teplotní kontrolor (HAAKE) a kryostat C25 (HAAKE)
- Texturometr – INSTRON 5500R
- Sušárna – AFNOR – NF V 04-401 (2001), pro zjištění hmotnosti sušiny v gelu.

4.2 Příprava testovacího produktu

Zpracování proteinového gelu je realizováno podle různých analytických postupů a pro některé tyto postupy byla k dispozici jejich databáze.

Tyto postupy (aby výsledky byly porovnatelné se známými podmínkami) musí být přesně dodržovány ať už z hlediska přípravy gelu, či jeho přesným výrobním postupem.

4.2.1 Příprava proteinového gelu

Syrový produkt, zvaný „směs“, je sestaven z následujících ingrediencí:

- Roztlučený základ proteinového gelu (ryba)
- Škrob v prášku
- Bílek v prášku
- Sůl
- Voda
- Olej

Operace míchání je dále provedena ve směšovači *Stéphan* následujícím způsobem:

- 1200 gramů produktu je vloženo do nádoby *Stéphan*.
- 30 sekund trvá homogenizace produktu za pomoci pomalého převalování.
- 4 minuty a 30 sekund intenzivního míchání za pomoci čepelí.

Výslednou namíchanou směs nechápe odpočinout v chladné místnosti (4 °C), aby se utvořila proteinová struktura (doba odpočinku asi 1 hodinu). Tato směs je pak dále nanášena na desky z nerez oceli („inox“ o tloušťce 20 mm a rozměrech 20 cm na šířku a délku). Vrstva proteinového gelu je nanášena ve tvaru čtverce a tloušťce 4 mm. Po této úpravě je pak připravený vzorek ponechám v lednici s teplotou 4 °C další hodinu. Tento výrobní harmonogram odpovídá skutečnému výrobnímu postupu pro vytvoření konečné potraviny.



Obr. 4.2.1 – Fotografie nanášení vzorku na pomocnou desku inox

Pro vystižení průběhu ochlazování v reálném procesu, bylo vybráno zařízení, které dokáže regulovat jak teplotu, tak i relativní vlhkost vzduchu uvnitř systému. Tento box se nazývá ARCOS a byl upraven pro účely měření dle potřeb. Množství teplotních čidel a jiných instalovaných zařízení postačí k vyhodnocení prováděných měření.

4.2.2 Vaření desek

Tepelné zpracování je zajištěno prototypem pece určené výhradně pro tepelnou úpravu proteinového gelu za použití horkého vzduchu a páry. Inoxové desky společně s proteinovým gelem jsou vařeny v páře při teplotě 95 °C a to v čase 1 minuty a 20 sekund.

Poznámka: složení gelu (38% a 42% obsahu rybího proteinu) a realizovaná metoda přípravy vzorku jsou naprosto identické pro všechny zkoušky.

4.2.3 Kontrolované ochlazování

Připravené zařízení kopíruje fenomén ochlazování v reálném ochlazovacím tunelu. Ochlazování vzorků je provedeno v klimatickém zařízení ARCOS. ARCOS je programovatelné zařízení, které je schopno regulovat určitou škálu teplot (5 °C – 28 °C) a zároveň regulovat relativní vlhkost v prostředí (65% - 90%). Pro zvýšení vlhkosti nad 90% v zařízení použijeme přídatný systém zvlhčování (pulverizující tryska).

Bylo provedeno několik testů při různých relativních vlhkostech vzduchu a dvou různých technik ochlazování. Ochlazování při studeném vzduchu a vysoké relativní vlhkosti vzduchu „brouillard sec – suchá mlha“ a přímé ochlazování vodou z pulverizující trysky, která bude nainstalována přímo nad ochlazovaný vzorek.

Byly stanoveny dvě rozdílné relativní vlhkosti: 80% a 95%. Taktéž byly stanoveny dvě různé teploty pro kapalinu, která přímo ochlazovala testovaný vzorek a to 0 °C a 15 °C.



Obr. 4.2.2 – Fotografie klimatického zařízení ARCOS

4.2.4 Zařízení pro měření hodnot

Vážení vzorků

Během celého pokusu bylo potřeba opakovaně vážit náš vzorek. Váhu, která byla použita, bylo nutno instalovat blízko našeho ochlazovacího zařízení. Rozdíl vah před a po ochlazovacím procesu nám pomohlo stanovit množství ztráty materiálu, které je reprezentováno množstvím odpařené vody z produktu.

Jelikož není možné sledovat vývoj teplot vzorků mimo odhazovací zařízení opatřené množstvím měřičů, je nutno tuto problematiku vyřešit doplňujícím měřením za pomoci infračervených měřičů, které dokreslují kompletní představu o průběhu celého testu ochlazování.

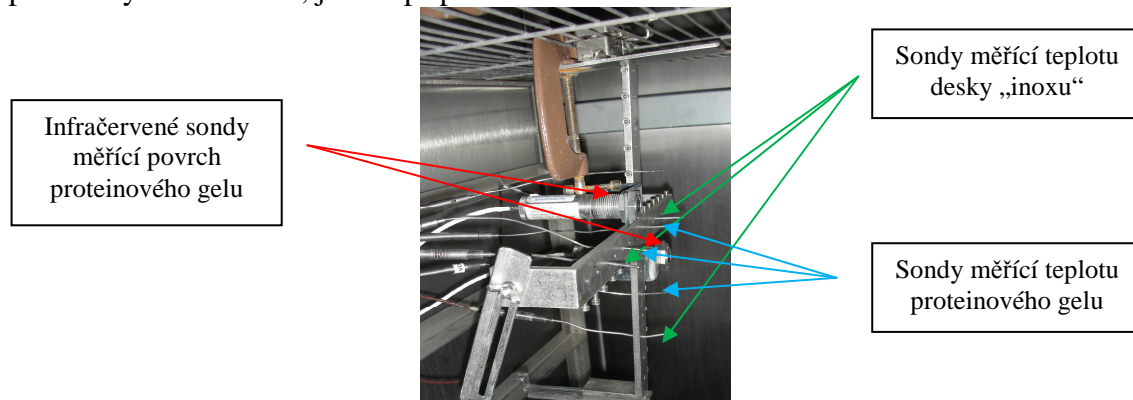
Měření teplot a vlhkosti

V zařízení označovaném jako ARCOS je instalovaný podpěrný kříž, do kterého jsou uchyceny měřiče tepla. Tyto měřidla zaznamenávají celý průběh kinetiky ochlazování v čase měření.

- 2 infračervené sondy měřící povrch vzorku (použité pro identifikaci času ochlazování vzorku).
- 4 termočlánky měřící teplotu uvnitř vzorku.
- 3 termočlánky měřící povrch desky inoxidu a zároveň slouží i jako podpora zavěšené desky se vzorkem.

Psychrometr uvnitř ARCOS zajišťuje kontrolované množství relativní vlhkosti vzduchu uvnitř zařízení. Pulverizační tryska, která zajišťuje vstřikování mikrokapiček do prostředí v ARCOS a tím pádem slouží ke zvyšování relativní vlhkosti vzduchu, je umístěna v přiměřené vzdálenosti od vzorku, aby vzorek přímo neovlivňovala. Druhý způsob umístění je v bezprostřední vzdálenosti od vzorku, pokud tryska slouží k přímému ochlazování studenou kapalinou.

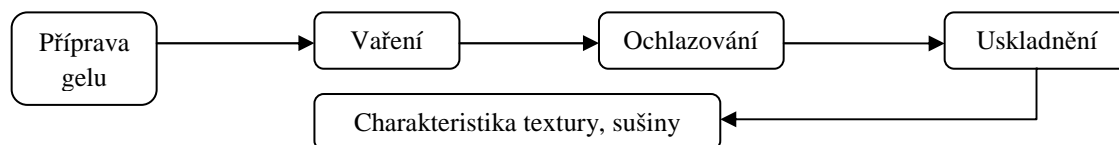
Deska inoxidu se vzorkem proteinového gelu je instalovaná kolmo na měřiče teploty a horizontálně ke směru proudícího vzduchu v ARCOS. Tato pozice simuluje stejné podmínky ochlazování, jako v případě ochlazovacího tunelu.



Obr. 4.2.3 – Umístění používaných sond v ARCOS. Vodní tryska je orientovaná ve směru vzorku

4.3 Protokol zkoušek

Zjednodušené blokové schéma celého procesu testování je následující:



Od přípravy gelu až po uskladnění, je postup zkoušek (přesná formace, teploty, vlhkosti, časy trvání) prováděn tak, aby co nejpřesněji odpovídal podmínkám, které můžeme nalézt přímo v průmyslovém prostředí.

4.3.1 Příprava vzorku

Pro naši potřebu testu bylo použito dvou druhů receptů. Jednalo se o směs obsahující 38% a 42% hmotnosti rybího proteinu v celé směsi. Pro tyto směsi bylo zvoleno pracovní označení směs 38 a směs 42. Reologická charakteristika surové směsi (viskozita) je měřena právě v této etapě. Tato charakteristika nám stanoví, jestli je směs dostatečně „shodná“ při porovnání s již existujícími tabulkovými hodnotami pro stejný recept.

4.3.2 Vaření

Všechny vzorky proteinového gelu jsou vařeny za stejných podmínek.

4.3.3 Ochlazování

Ochlazování bylo prováděno na základě těchto parametrů:

- Teplota uvnitř ARCOS 6 a 15 °C
- Relativní vlhkost vzduchu v ARCOS 80 a 95%
- Přímé ochlazování vstřikováním vody o teplotě 0 a 15 °C
- Doba ochlazování 2 a 7 minut

4.3.4 Plán experimentu

Pro stanovení plánu experimentu je použit statistický program Design expert 7® [52], který umožňuje určit racionální počet zkoušek a následně je umožňuje vyhodnotit. Díky použití programu Design expert 7® bude testováno pouze 37 zkoušek namísto plných 64 (kompletní plán viz. příloha (8.5) a redukovaný plán příloha (8.6)).

Při rytmu zpracování max. 4 vzorků za jeden den, bylo potřeba osmi dní pro realizaci tohoto redukovaného plánu. Při kompletním plánu by bylo potřeba nejméně 16 dní. Tento čas však není akceptovatelný a to vzhledem k možnostem opakování zkoušek, kdy počet dní narůstá, a taktéž se jedná o počet dní, kdy bude zařízení blokováno pro další projekty.

Faktory použité v prováděném experimentu jsou shrnuty v tab. 4.3.1:

Označení	Faktor	Rozdělení
A	Teplota vzduchu v ARCOS	6 °C a 15 °C
B	Doba ochlazování	2 a 7 minut
C	Recept	38 a 42
D	Klimatické podmínky v ARCOS	80% a 95% relativní vlhkosti vzduchu 0 °C a 15 °C vody, která ochlazuje vzorek

Tab. 4.3.1 – Označení faktorů ve zkušebním protokolu

Otázky, na které chceme znát odpovědi, jsou uvedeny v tab. 4.3.2:

Odpovědi					
Hmotnostní úbytek vody (%) nebo (g/100g)	Tuhost konečného produktu (N/mm)	Pevnost konečného produktu (N)	Elasticita konečného produktu (mm)	Teplota po ochlazování (mm)	Obsah sušiny v produktu (%) nebo (g/100g)

Tab. 4.3.2 – Otázky hledané na základě experimentu

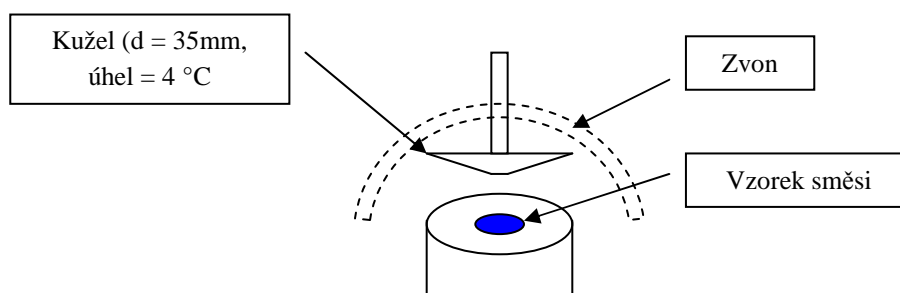
Více informací ohledně metody statistického zpracování je uvedeno v příloze (8.8).

4.3.5 Uskladnění

Po ochlazovacím procesu v ARCOS se vzorek uskladní v chladném prostředí o teplotě 4 °C po dobu třech hodin. Tato teplota koresponduje s teplotou podávané potraviny na stůl zákazníka. Charakterizace textury (penetrometrie) a stanovení množství suchého materiálu (sušiny) v konečném produktu se provádí právě po této etapě skladování. Konečný produkt se již dále neformuje.

4.3.6 Reologická charakteristika směsi

Reologická měření jsou realizována na směsi okamžitě po jejím připravení (tj. před nanesením směsi na destičku inoxy). Porovnává se viskozita a viskoelasticita každé nově připravené směsi. Měření se provádí za teploty 4°C za pomoci reometru RS150 Rheistress (Haaken, Německo) s pomocí tělesa kuželovitého charakteru: kužel (reference 22-1270 rotor C35/4TI) a skleněného zvonu, který zabraňuje vysoušení studovaného vzorku.



Obr. 4.3.1 – Schéma měření viskozity vzorku

Měřením viskozity směsi se obdrží tři křivky:

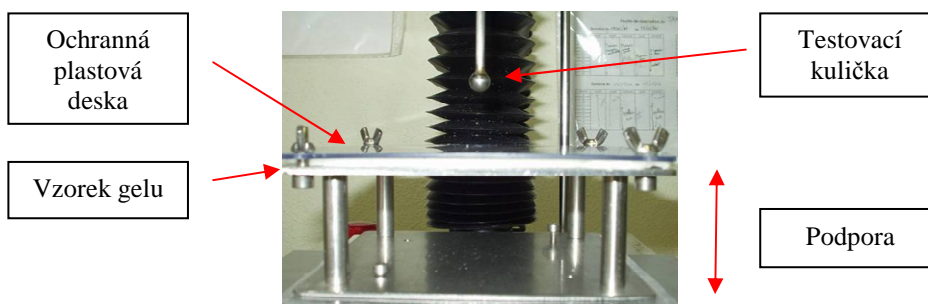
- Napětí (Pa) je funkcí rychlosti otáčení (s^{-1})
- Napětí v $\dot{\gamma} = 0,1 s^{-1}$ je obdržena interpolací
- Viskozita v $\dot{\gamma} = 0,1 s^{-1}$ je určena následující rovnicí (21)

$$\sigma = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (21)$$

kde σ je viskozita, τ je napětí, $\dot{\gamma}$ je rychlost otáčení.

4.3.7 Penetrometrie

Textura vařeného, ochlazeného a uskladněného produktu ve 4 °C je charakterizována za pomoci penetrometru (INSTRON 5500R se snímačem 50 N) vybaveného samořídícím programem, nabízející technické zpracování výsledků (MERLIN)). Kulička o průměru 10 mm protrhává vzorek rychlostí 100 mm/min, s hloubkou záběru 40 mm. Vzorek je uložen mezi ocelovou podporou a plastovou ochrannou deskou (plexisklo) s otvorem uprostřed desky o velikosti 20 mm, aby byla zajištěna snadná perforace vzorku.



Obr. 4.3.2 – Testování vzorku na penetrometru

Na každém vzorku je provedeno sedm měření, aby bylo dosaženo přesnějších výsledků. Parametry, které nás u tohoto měření zajímají, jsou maximální síla do protržení vzorku, která je spojená s maximální silou rezistence vzorku před deformací. Rezistence je přímo úměrná tloušťce vzorku a viskozity její směsi. Směs více viskózní bude mnohem hůře rozprostíratelná do potřebných velikostí, což vede k formování produktu o větší tloušťce. A naopak, směs více tekutá bude snadno formovatelná do potřebných rozměrů, což povede k formování produktu o menších tloušťkách. Transport produktu, ve formě nekonečných pásů, bez její deformace je tedy vázán na elasticitě a křehkosti materiálu. Maximální sklon přenosu potravin je tak dán velikostí tuhosti produktu.

4.3.8 Určení množství sušiny

Všechna měření pro stanovení množství sušiny v produktu budou realizována pro všechny vzorky podle normy NF V 04-401 (duben 2001). Misky obsahující kousek vzorku budou umístěny na 24 hodin do sušárny při teplotě 104 °C a rozdíl hmotností, před a po sušení, stanoví množství vody, obsažené v produktu (vyjádřené v g/100g produktu). Pro přesnost měření jsou z každého vzorku odebrány dva kusy (měření se provádí 2x).

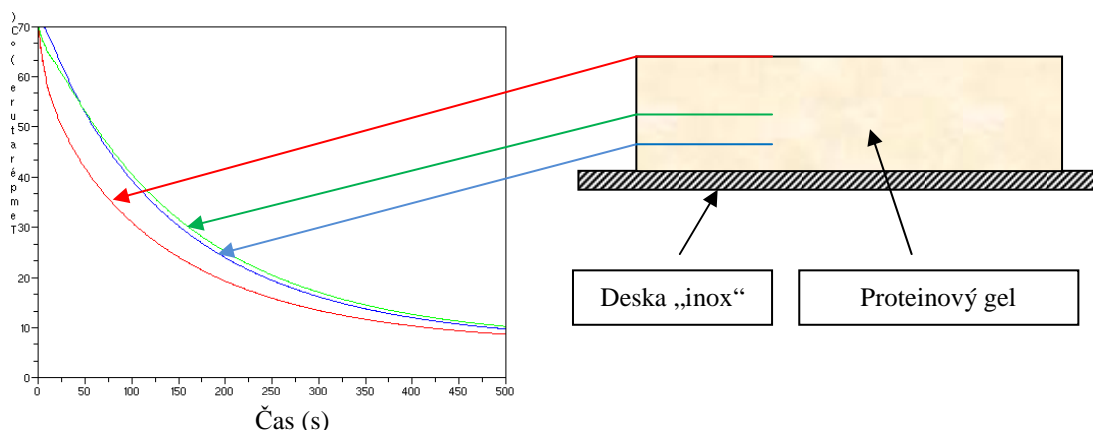
5 Výsledky experimentu

5.1 Kinetika teplot

Teoretický model vytvořený v programu Scilab® (viz. příloha (8.12)) nám stanovil průběh teplot ochlazování produktu, který se podobá naměřeným hodnotám. Z následujících dvou grafů je možné porovnat přesnost výpočtu:

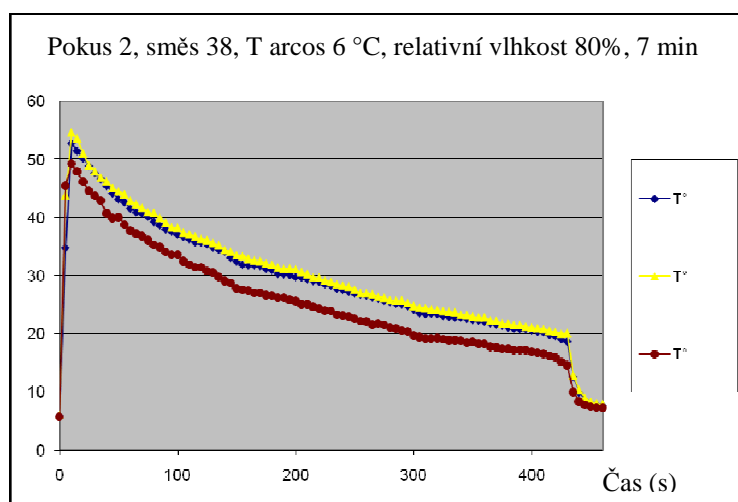
Vybraný vzorek je testován za těchto podmínek:

- Teplota v ARCOS 6 °C
- Doba ochlazování produktu je 7 minut
- Ochlazování je provedeno za pomoci studeného vzduchu (brouillard sec) s relativní vlhkostí vzduchu 80%



Obr. 5.1.1 – Profil teplot ochlazovaného proteinového gelu v závislosti na jeho šířce

Následující graf představuje skutečně naměřený průběh teploty při experimentu pro stejné zadání jako v předcházejícím případě. Osa y představuje teplotu (°C), osa x čas (s). Další testované příklady viz. příloha (8.13).



Obr. 5.1.2 – Experimentálně naměřené hodnoty teplot ochlazování

5.2 Statistické vyjádření výsledků

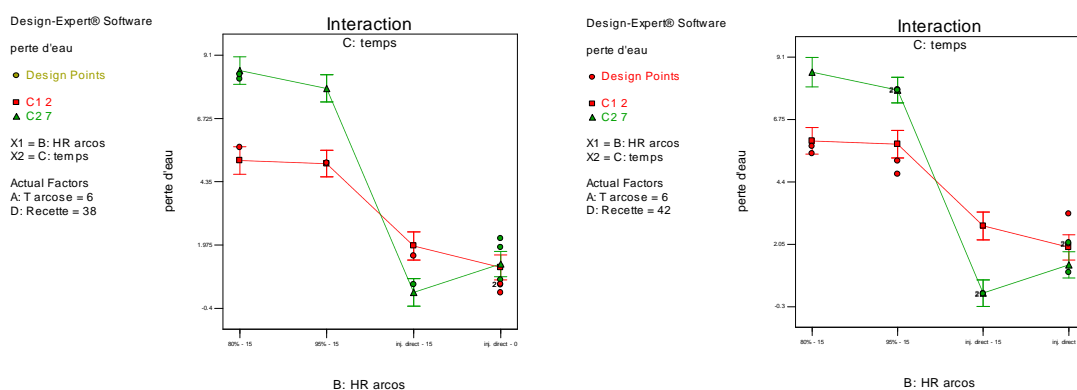
Nástroj statistické analýzy (Design Expert 7®), který byl použit pro sestavení experimentálního plánu, nám taktéž poslouží k vyhodnocení experimentálních výsledků a dokáže stanovit interakce mezi jednotlivými měřenými faktory. Na základě výsledků statistické analýzy vznikl následující komentář (výsledky lze nalézt v příloze (8.11)) :

5.2.1 Ztráta materiálu (vody)

- Teplota vzduchu, která vyplňuje celý vnitřní prostor klimatického zařízení ARCOS, nemá žádný významný vliv na ztrátu vody z produktu.
- Nebylo možné stanovit ztrátu vody v závislosti na složení jednotlivých vzorků (směs obsahující 38% a 42% proteinového rybího základu): z těchto důvodů bylo stanoveno, že složení produktu nemá významný vliv na celkovou ztrátu materiálu (vody).
- Jak jsme mohli očekávat, doba ochlazování je rozhodující faktor pro celkovou ztrátu materiálu (vody) pro jakkoli různou velikost okolní relativní vlhkosti vzduchu (80% a 95%).
- Pro mód přímého vodního ochlazování za rozdílných teplot ochlazované vody, doba trvání ochlazování nemá žádný efekt na celkovou ztrátu materiálu (vody). Ztráta materiálu je pro oba časy (2 a 7 minut) naprosto totožná. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že doba trvání ochlazování metodou přímého vodního vstřikování a rozdílná teplota ochlazované vody, nemá jakýkoliv vliv na celkovou ztrátu materiálu produktu.

	80%		95%		15°C		0°C	
Směs	38%	42%	38%	42%	38%	42%	38%	42%
T6°C, 2 min	5,15 (1,02)	5,9 (0,99)	5,02 (0,99)	5,8 (1,03)	1,94 (1,03)	2,74 (1,05)	1,13 (0,96)	1,93 (0,96)
T6°C, 7 min	8,5 (1,02)	8,5 (1,09)	7,85 (1,02)	7,86 (0,98)	0,2 (1,03)	0,2 (1,01)	1,26 (0,97)	1,27 (0,99)

Tab. 5.2.1 – Ztráta vody vyjádřená v (%). Hodnoty v závorkách představují odchylku



Obr. 5.2.1 – Grafické znázornění ztráty vody během experimentu v různých ochlazovacích podmínkách při teplotě 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a receptu 38 (vlevo) a 42 (vpravo)

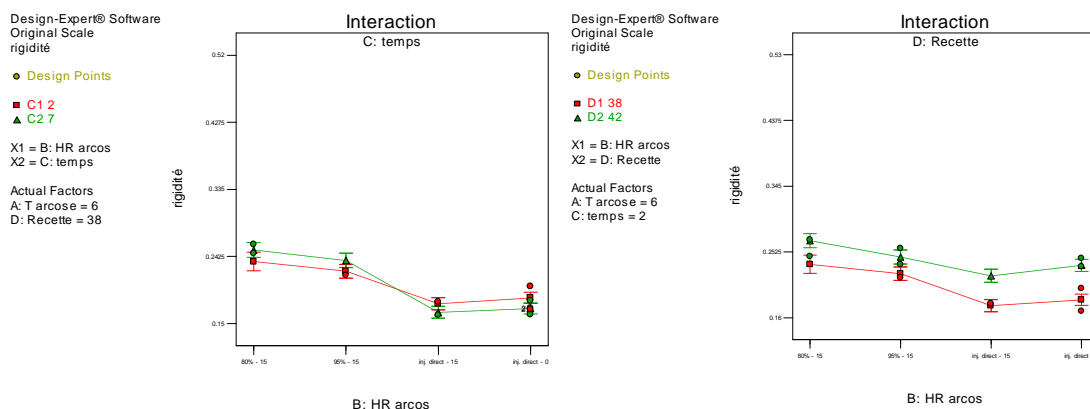
5.2.2 Tuhost

Vyhodnocovaná veličina „tuhost“ vyjádřena v (N/mm) odpovídá maximálnímu klesání měřicí kuličky obdržené měřením penetrem INSTRON.

- Tuhost není nijak závislá na regulované teplotě vzduchu uvnitř ARCOS.
- Tuhost není nijak ovlivněna dobou ochlazování.
- Naopak mód ochlazování (relativní vlhkost vzduchu 80% a 95% nebo ochlazováním pulverizující tryskou) ovlivňuje celkovou tuhost produktu: ostřikování má za následek slabší tuhost potraviny. Proto lze formulovat hypotézu, že zvlhčování vzduchu má významný dopad na tuhost. Můžeme taktéž říci, že vzorky více suché jsou více tuhé.
- Celková tuhost konečného produktu závisí i na dalších faktorech (kompozice proteinového základu). Tyto faktory však zde nejsou studovány.

Směs	80%		95%		15 °C		0 °C	
	38%	42%	38%	42%	38%	42%	38%	42%
T 6 °C, 2 min.	0,235	0,268	0,222	0,245	0,177	0,219	0,185	0,233
T 6 °C, 7 min.	0,251	0,285	0,237	0,261	0,165	0,206	0,171	0,217

Tab. 5.2.2 – Hodnoty tuhosti v závislosti na jednotlivých faktorech ochlazování



Obr. 5.2.2 – Grafické znázornění tuhosti během experimentu v různých ochlazovacích podmínkách při teplotě 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a receptu 38 (vlevo) a 6 °C okolního vzduchu v ARCOS při době trvání 2 minuty (vpravo)

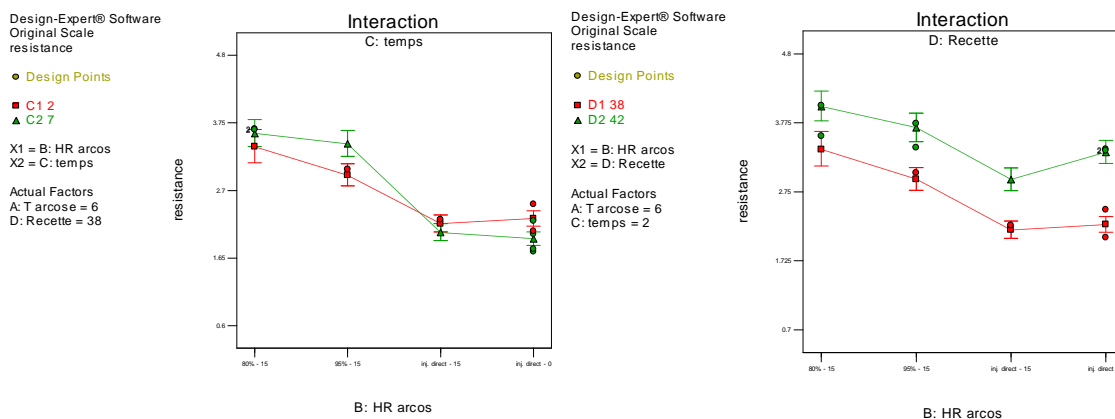
5.2.3 Pevnost

Vyhodnocovaná veličina „pevnost“ vyjádřena v (N) odpovídá největší síle vykonané na vzorku do jeho přetržení, měřené na penetrometru INSTRON.

- Pevnost vzorku není nijak vázaná na teplotu vzduchu, který je regulován uvnitř ARCOS.
- Hodnoty pevnosti jsou menší, jestliže vzorek je ochlazován přímým ochlazováním (pulverizační tryska), vzorek je pak křehčí. Vlhkost vzorku tak představuje vliv na jeho pevnost.
- Doba trvání ochlazování taktéž ovlivňuje pevnost vzorku. V prostředí kde se relativní vlhkost vzduchu pohybuje mezi 80% a 95%. Čím je čas ochlazování delší, tím více vzorek ztrácí volnou vodu obsaženou v produktu a tím pádem je vzorek více pevný.
- Pro ochlazování pulverizační tryskou (přímé ochlazování), doba ochlazování nemá nijak zvlášť velký vliv pro tuto fyzikální vlastnost. Změna je zanedbatelná.
- Pevnost je dále závislá i na dalších faktorech (kompozice proteinového gelu), které nejsou předmětem studie této práce.

	80%		95%		15 °C		0 °C	
Směs	38%	42%	38%	42%	38%	42%	38%	42%
T 6 °C, 2 min.	3,379	4,019	2,937	3,702	2,184	2,932	2,263	3,339
T 6 °C, 7 min.	3,586	4,264	3,426	4,318	2,086	2,275	1,95	2,876

Tab. 5.2.3 – Hodnoty pevnosti v závislosti na jednotlivých faktorech ochlazování



Obr. 5.2.3 – Grafické znázornění pevnosti během experimentu v různých ochlazovacích podmínkách při teplotě 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a receptu 38 (vlevo) a 6 °C okolního vzduchu v ARCOS při době trvání 2 minuty (vpravo)

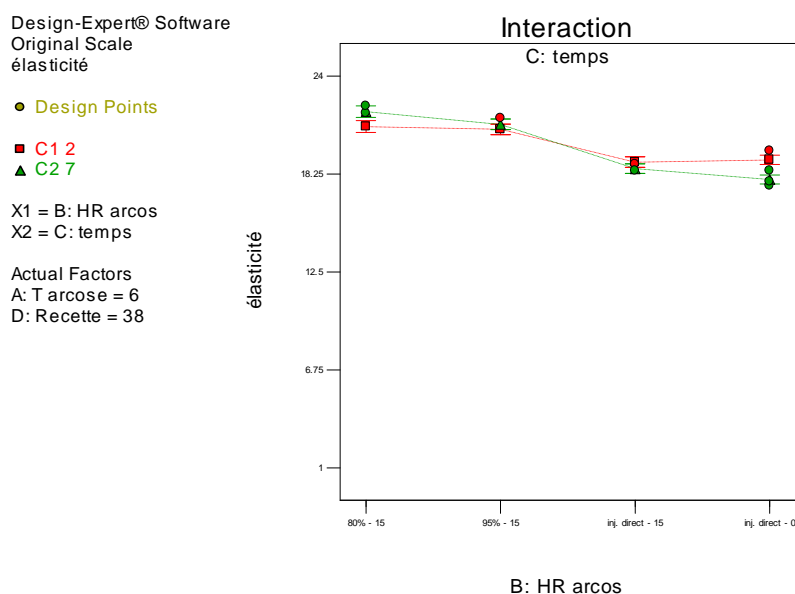
5.2.4 Elasticita

Vyhodnocená vlastnost „elasticita“ vyjádřená v (mm) odpovídá maximálnímu napnutí do přetržení vzorku aplikovaného při měření na penetrometru INSTRON.

- Elasticita není nijak vázána na variace teplot v ARCOS.
- Z celkového pohledu můžeme říci, že elasticita vůbec nezávisí na jakémkoli ochlazování. Hlavní podstata elasticity je stanovena strukturou rybího materiálu, který byl použit při přípravě směsi.
- Můžeme však zaznamenat malý vliv doby ochlazování na elasticitu. Tato charakteristika je však vázána na obsah vody v materiálu, taktéž můžeme říci, že sušší vzorek bude více elastický.

Směs	80%		95%		15 °C		0 °C	
	38%	42%	38%	42%	38%	42%	38%	42%
T 6 °C, 2 min.	21,02	22,22	20,87	22,05	18,93	20,01	19,08	20,16
T 6 °C, 7 min.	21,9	23,15	21,16	22,67	18,55	19,61	17,92	18,94

Tab. 5.2.4 – Hodnoty elasticity v závislosti a jednotlivých faktorech ochlazování



Obr. 5.2.4 – Grafické znázornění elasticity během experimentu v různých ochlazovacích podmínkách při době trvání experimentu 2 a 7 minut pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a recept 38

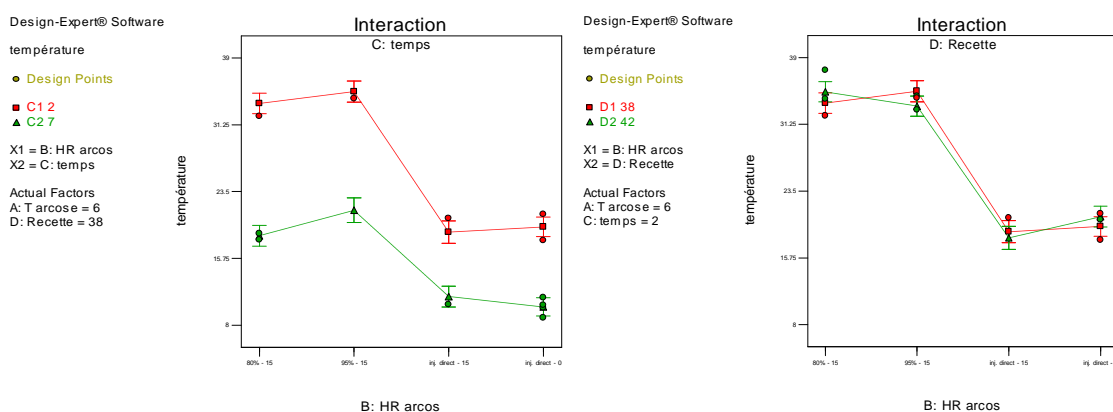
5.2.5 Teplota vzorku po ochlazování

Konečná teplota proteinového gelu hlavně závisí na době trvání ochlazování a teploty ochlazovaného vzduchu v zařízení ARCOS.

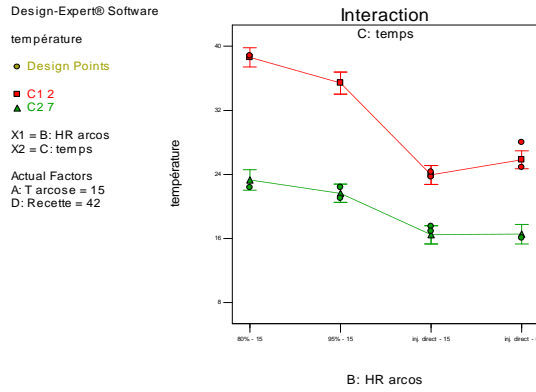
- Relativní vlhkost vzduchu v ARCOS má nepatrný vliv na konečnou teplotu vzorku.
- Změna teploty vody, použité pro ochlazování metodou ostřikování vzorku, nemá výrazný vliv na proces ochlazování.
- Z následujících grafů můžeme vidět, že konečná teplota produktu je stejná pro tyto podmínky ochlazování : typ přímého vstřikování po dobu 2 minuty je roven relativní vlhkosti vzduchu 80% nebo 95% v ARCOS při době trvání 7 minut.
- Gradient teploty pro ochlazování studeným vzduchem a při definovaných velikostech relativní vlhkosti vzduchu je dvakrát větší než u ochlazování metodou přímého vstřikování (pulverizační tryska).
- Rozdílné složení receptu nemá vliv na konečnou hodnotu teploty proteinového gelu.

Směs	80%		95%		15 °C		0 °C	
	38%	42%	38%	42%	38%	42%	38%	42%
T 6 °C, 2 min.	37,71 (2,37)	35,02 (2,4)	35,09 (2,4)	33,36 (2,4)	18,79 (2,52)	18,07 (2,68)	19,4 (2,27)	20,4 (2,47)
T 15 °C, 2 min.	37,31 (2,5)	38,63 (2,43)	37,14 (2,3)	35,14 (2,7)	24,65 (2,34)	23,93 (2,38)	24,67 (2,25)	25,8 (2,3)
T 6 °C, 7 min.	18,37 (2,41)	19,68 (2,55)	21,32 (2,79)	19,59 (2,3)	11,32 (2,43)	10,11 (2,23)	10,11 (2,23)	10,11 (2,12)
T 15 °C, 7 min.	21,97 (2,44)	23,28 (2,51)	23,37 (2,35)	21,65 (2,3)	17,17 (2,53)	15,39 (2,27)	15,39 (2,59)	16,53 (2,43)

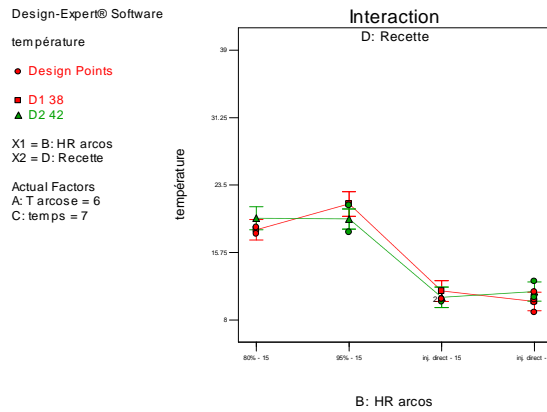
Tab. 5.2.5 – Hodnoty teplot (°C) vzorku po ochlazování. Hodnoty uvedené v závorkách znázorňují odchylku



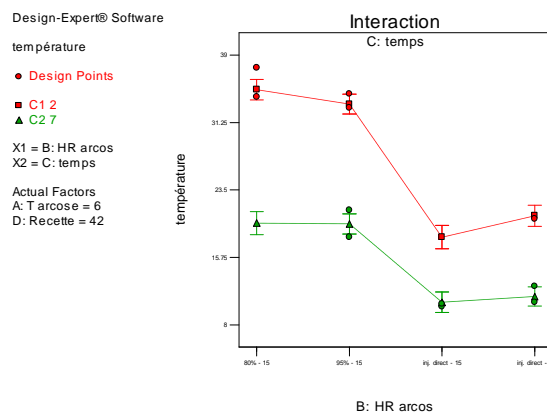
Obr. 5.2.5 – Grafické znázornění konečných teplot po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách při době trvání experimentu 2 a 7 minut pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a recept 38 (vlevo). Grafické znázornění teplot po experimentu pro různé ochlazování podmínky v závislosti na druh receptu při teplotě 6 °C a době trvání experimentu 2 minuty (vpravo).



Obr. 5.2.6 – Grafické znázornění konečné teploty vzorku po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách v závislosti na čase experimentu pro teplotu 15 °C okolního vzduchu v ARCOS a recept 42



Obr. 5.2.7 – Grafické znázornění konečné teploty vzorku po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách v závislosti na receptu pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a době trvání 7 minut



Obr. 5.2.8 – Grafické znázornění konečné teploty vzorku po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách v závislosti na čase experimentu pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a recept 42

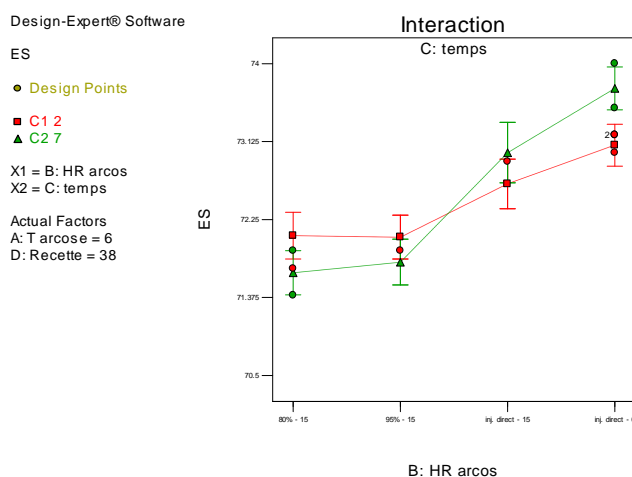
5.2.6 Množství vody obsažené ve vzorku

Výsledky sušení udávají výsledky obsahu vody (%) v každém vzorku po ochlazovacím procesu. Tyto výsledky jsou porovnatelné s výsledky ztráty vody (rozdíl hmotností).

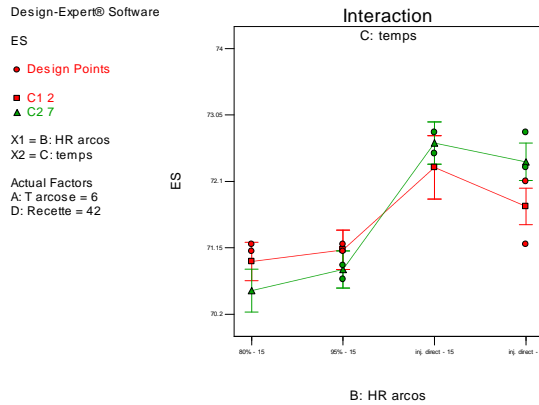
- Teplota ochlazovacího vzduchu proudícího v ARCOS nemá výrazný vliv na ztrátu vody z produktu.
- Je možné pozorovat procentuální rozdíl obsahu vody ve vzorku ve funkci k receptu 38% a 42% rybího základu: rozdíl objemu vody obsaženého v produktech je závislý na daném receptu. Recept obsahující 38% rybího základu obsahuje o 1% vody více oproti receptu s 42% rybího základu.
- Doba trvání ochlazování není rozhodující faktor, který ovlivňuje konečný obsah vody v produktu a to u rozdílů relativních vlhkostí vzduchu 80% a 95%. Velký rozdíl je vidět pouze mezi ochlazováním metodou studeného vzduchu a metodou přímého vstřikování (viz. obr. 5.2.9).
- Pro metodu přímého vstřikování doba trvání celého procesu ochlazování nemá nějaký zásadní vliv na konečný stav obsahu vody v produktu. Taktéž rozdíl teplot použité vody pro ochlazování nemá žádný významný efekt.

Směs	80%		95%		15 °C		0 °C	
	38%	42%	38%	42%	38%	42%	38%	42%
T 6 °C, 2 min.	72,07 (0,53)	70,95 (0,55)	72,05 (0,49)	71,12 (0,56)	72,65 (0,56)	72,3 (0,9)	73,08 (0,47)	71,74 (0,52)
T 6 °C, 7 min.	71,65 (0,5)	70,53 (0,6)	71,77 (0,51)	70,84 (0,53)	73 (0,68)	72,65 (0,6)	73,7 (0,48)	72,38 (0,54)

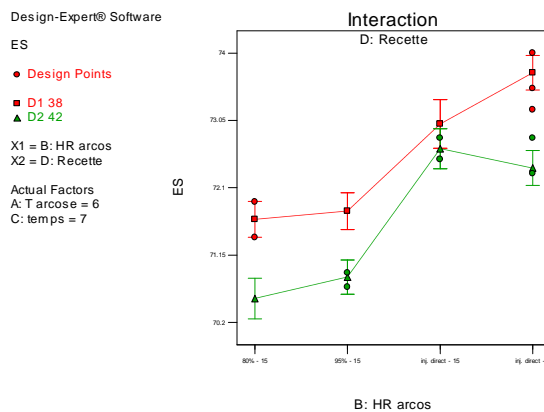
Tab. 5.2.6 – Hodnoty obsahu vody ve vzorku (%) na konci celého experimentu. Hodnoty uvedené v závorkách znázorňuje odchylku



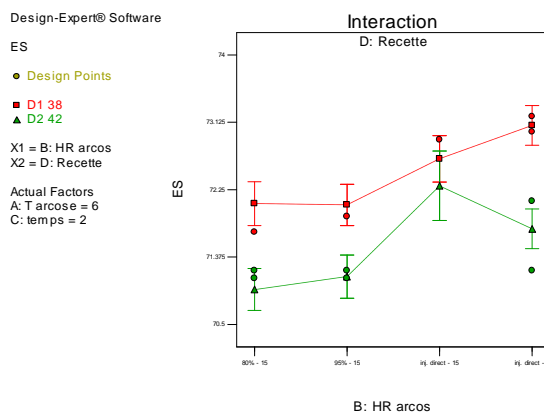
Obr. 5.2.9 – Grafické znázornění obsahu vody ve vzorku po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách v závislosti na čase pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a recept 38



Obr. 5.2.10 - Grafické znázornění obsahu vody ve vzorku po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách v závislosti na čase pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a recept 42



Obr. 5.2.11 – Grafické znázornění obsahu vody ve vzorku po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách v závislosti na receptu pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a době experimentu 7 minut



Obr. 5.2.12 – Grafické znázornění obsahu vody ve vzorku po experimentu v různých ochlazovacích podmínkách v závislosti na receptu pro teplotu 6 °C okolního vzduchu v ARCOS a době trvání experimentu 2 minuty

6 ZÁVĚR A PERSPEKTIVA

Kinetika ochlazování zjištěná experimentálně kopíruje vytvořený model na základě Fickova a Fourierova zákona.

Z technologického pohledu podmínky ochlazování (teplota, vlhkost, doba) ovlivňují celkovou ztrátu materiálu (vody). Proto je nezbytné zajistit řízení klimatických podmínek při ochlazování. Proces řízení klimatických podmínek lze zaměřit na některé z těchto možností:

- 1) **Omezení ztráty vody** (kontrola vlhkosti je prvořadá): vlhčení vnitřního prostoru v ochlazovacím zařízení přibližující se saturaci (relativní vlhkost vzduchu je rovna 100%), redukuje množství ztrát materiálu. Metoda přímého ochlazování za pomoci pulverizující trysky je s ohledem na celkovou ztrátu materiálu výhodnější. Rozdíl 2% získané váhy produktu byl stanoven na základě provedených experimentálních měření oproti ochlazování metodou studeného vzduchu a regulovanou relativní vlhkostí vzduchu. Kinetika ochlazování je taktéž mnohem rychlejší: pro dosažení zadaných teplot je doba ochlazovacího procesu kratší. Nutno však podotknout, že pro veškeré procesy s používáním vody pro vstřikování v oblasti produktu (to samé platí i pro vzduch), musí být dodrženy velmi přísné hygienické a bezpečnostní předpisy. Celková kvalita produktu, obzvláště suchý extrakt, musí být podroben přísným hygienickým opatřením.
- 2) **Stanovení textury konečného produktu.** Struktura materiálu (proteinový gel) musí odpovídat hodnotám mechanických vlastností (tuhost, elasticita), které jsou srovnatelné se skutečným procesem výroby. Na základě experimentu můžeme stanovit některé závislosti:
 - **Tuhost (N/mm) klesá, jestliže se relativní vlhkost vzduchu prostředí zvýší.**
 - **Pevnost (N) klesá, jestliže se relativní vlhkost vzduchu prostředí zvýší.**
 - **Pevnost (N) se zvýší s přibývajícím časem ochlazování a to za podmínky, že relativní vlhkost vzduchu je konstantní a nedojde k saturaci (relativní vlhkost vzduchu je menší jak 100%).**
 - **Elasticita (mm) pomalu klesá s přibývajícím časem ochlazování za předpokladu, že relativní vlhkost vzduchu je konstantní a nedojde k saturaci (relativní vlhkost vzduchu je menší jak 100%).**

Z provedené práce je možné sestavit zadávací podmínky pro investování do potravinářského zařízení určeného k ochlazování proteinového gelu s přihlédnutím na zařízení k přímému vodnímu ochlazování. Toto zařízení se jeví jako ideální pro proces ochlazování a to za předpokladu, že výrobní závod se zaměří pouze na získání větší váhy produktu na konci výrobního procesu. Na druhou stranu kontrolované řízení klimatických podmínek uvnitř ochlazovacího zařízení je bezesporu ideální nástroj, pokud si výrobní závod zvolí variantu ovlivňovat konečnou stavbu textury a mechanické vlastnosti produktu proteinového gelu.

Pro vytvoření fyzikálního modelu přenosu tepla byl použit model jiného potravinového produktu (hovězího masa). Tento model byl upraven pro specifika proteinového gelu. Výsledky obdržené tímto modelem kopírují výsledky obdržené experimentální metodou. Do budoucna však bude zapotřebí zlepšit jeho přesnost a doladit některé výpočtové části. Tento model také může být rozšířen o model přestupu hmoty a o model vývoje textury proteinového gelu.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] J. J. Bimbenet, A. Duquenoy, G. Trystram: Génie des procédés alimentaires Des bases aux applications. Dunod Paris 2002. ISBN 2 10 004435 4
- [2] P.Iselt, U.Arndt, J.L.Cauchepin : Manuel de l'humidification de l'air. 1997 PYC édition livres. ISBN 3 7880 7537 6
- [3] Bertrand Broyart : Modélisation des transferts de matiere et d'énergie pendant le chauffage/ séchage des solides alimentaire. Court d'ENSIA (Mars 2006)
- [4] Latif M. Jiji : Heat transfer essentials, second Edition. Begell House, New York 2002
- [5] Collectivité des auteurs : 2002 Ashrea Handbook, Refrigeration Si edition, Atlanta
- [6] Dincer : Refrigeration Systems and Applications, department of Mechanical Engineering. WILEY 2003
- [7] F.P.Ineropera, D.P.DeWitt: Fundamentals of Heat and Mass transfer. Fourth Edition 1996
- [8] H. DEMASLES, Etude des transferts de chaleur d'un fluide frigoporteur diphasique a changement de phase liquide-solide dans un échangeur a plaques lisses, These INSA Lyon, 2002.
- [9] C. RIOS-ROJAS, Étude des propriétés de transferts thermiques des coulis de glace stabilisée, These CETHIL, 2005.
- [10] Innocuité alimentaire, Conservation par le froid [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://www.innocuite.org/loader.php?src=http://www.innocuite.org/pages/connaisances/conservation/conserv_froid.html>
- [11] Techno science, Congelation [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3332>>
- [12] C J Kennedy, G Archer: Optimisation de, la qualité et de la stabilité des aliments congelés, 1996.
- [13] Bulletin de I.I.F: L. B. SORENSEN, Législation concernant les denrées surgelées. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.iifiir.org/fr/doc/1044.pdf>>
- [14] Température de transport frigorifique de divers aliments. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.fromag.com/transport/denrees.html>>
- [15] Code d'usages en matiere d'hygiene pour les aliments réfrigeres conditionnés de durée de conservation prolongées. Zveřejněno v roce 1999. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <www.codexalimentarius.net/download/standards/347/CXP_046f.pdf >
- [16] La problématique de la congélation [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.liste-hygiene.org/arcong.html>>
- [17] GIRARDON P., Tendances en matiere de froid cryogénique (*Trends in cryogenic cold*), Les industries de conservation, 1995, vol 112, no 5, pp. 269-345 (dissem.), pp. 314-317.
- [18] Surgélation cryogénique continue mono-produit [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://ind.yara.fr/fr/industries/food_industry/chill_freeze/cryo_freezing/snowin.html>

- [19] Freezing food [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.airliquide.com/fr/products/food/applications/freezing-food.html>>
- [20] Application - Refroidissement [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.praxair.fr/praxairfrance.nsf/1928438066cae92d85256a63004b880d/b1c801fac7d52de585256ca9007558bc?OpenDocument>>
- [21] Agroalimentaire en bref, IQF freezing [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://www.airproducts.fr/food/IQF_freezing.htm>
- [22] Agroalimentaire en bref, Freezing [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.airproducts.fr/food/freezing.htm>>
- [23] Refroidissement et surgélation cryogénique [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://www.lindegas.fr/international/web/lg/fr/likeIlgfr.nsf/DocByAlias/ind_m atosrefroi>
- [24] Food equipment [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.airliquidesante.int.airliquide.com/fr/business/industry/food/equipment/silversas.asp>>
- [25] Surgélation [online]. Zveřejněno dne: 1. 1. 2008 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.cims-surgelation.com/applications-fr.php>>
- [26] Applications, Surgélation [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://ind.yara.fr/fr/industries/food_industry/chill_freeze/cryo_freezing/small_floor.html>
- [27] FRANCOIS J.-M., Les tunnels de durcissement cryogénique a bande pleine : les nouvelles innovations d'Air Liquide dans le froid mixte (*Cryogenic crusting tunnel with full conveyor belt: air liquide innovation in mixed refrigeration*), Industries alimentaires et agricoles (Ind. aliment. agric.), 1994, vol. 111, no 10, pp. 689-690.
- [28] GROLL M., Les nouveaux systemes de surgélation cryogénique (*New systems for cryogenic deep-freezing*), Revue générale du Froid (Rev. Gén. Froid), 1986, vol. 76, no9, pp. 448-450.
- [29] La surgélation [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://messenger.gourmet.info/lasurgelation.html>>
- [30] D. Chevalier, M. Ghoul, Contribution a l'étude de la congélation par détente directe haute pression (*contribution of the study of the pressure shift freezing process*). Travaux Universitaires, 2000, n° : 00 NANT 2061, Université de Nantes.
- [31] TEWARI G.; JAYAS D. S.; HOLLEY R. A., *High pressure processing of foods: an overview*, Sciences des aliments , 1999, vol 19, no 6, pp. 619-661.
- [32] Réfrigération magnétique [online]. Zveřejněno dne: 10. 1. 2005 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://www.techniquesingenieur.fr/dossier/refrigeration_magnetique/RE28>
- [33] Des champs magnétique pour la réfrigération [online]. Zveřejněno dne: 6. 7. 2006 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.technoscience.net/?onglet=news&news=2959>>
- [34] Calorimag [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<https://admin06.sophia.cnrs.fr/Documents%20partages/Environnement/Calorimag.pdf>>
- [35] Réfrigération magnétique [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://www.eivd.ch/jt06/doc/Froid_magnetique_Egolf_SariJT06.pdf>

- [36] ALLAB F., CLOT P., VIALLET D., LÉBOUC A., FOURNIER J. M., YONNET J. P., Dispositif à aimants permanents pour l'étude de la réfrigération magnétique active : Les matériaux en génie électrique (*Permanent-magnet devices for studies into active magnetic refrigeration*), REE, Rev. électr. électron., 2003, no9, pp. 43-46.
- [37] Building a Better Refrigerator, With Magnets [online]. Zveřejněno dne: 19. 2. 2002 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.nytimes.com/2002/02/19/science/physical/19FRID.html>>
- [38] E. CARTLIDGE, *Attractive advance towards magnetic refrigerator*, 2002.
- [39] Magnetic refrigerator gets down and homey [online]. Zveřejněno dne: 5. 6. 2002 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.sciencenews.org/articles/20020105/fob2.asp>>
- [40] Ames laboratory news repase, Magnetic refrigerator successfully tested [online]. Zveřejněno dne: 7. 12. 2001 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.external.ameslab.gov/news/release/01magneticrefrig.htm>>
- [41] Heig-vd, Réfrigération magnétique [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://www.eivd.ch/jt06/doc/Sari_Egolf/SariO_EgolfPW.pdf>
- [42] These de David MARX du Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR CNRS 5509 de l'école Centrale de Lyon, 2003.
- [43] Tabletop thermoacoustic refrigerator for demonstrations [online]. Zveřejněno dne: 22. 4. 2002 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.kettering.edu/~drussell/Publications/ThermoDemo.pdf>>
- [44] Banque des savoirs, Réfrigération thermoacoustique [online]. Zveřejněno dne: 19. 9. 2005 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.savoirs.essonne.fr/dossiers/lestechologies/energies/article/type/0/intro/larefrigeration-thermoacoustique/>>
- [45] Institut Français du froid industrie let du génie climatique [online]. Zveřejněno dne: [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.cnam.fr/iffi/Dinan/Pages%20CD%20IFFI.pdf>>
- [46] Oficiální stránka společnosti Soparind Bongrain [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <www.bongrain.fr>
- [47] Pokrok ve vývoji zmrazovacích zařízení [online]. Zveřejněno dne: 10. 9. 2002 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.skaneko.com/pokrok.html>>
- [48] JBT FoodTech [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.jbtfoodtech.com>>
- [49] Scilab [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.scilab.org/>>
- [50] Food Process Engineering: An Introduction [online]. Zveřejněno roku 2005 [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://forskningssdatabasen.dk/rec.external?id=dtu184495>>
- [51] Approche microbiologie alimentaire [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://lc.ne.ch/Labo/MicroorganismeDevelop.htm>>
- [52] Design-Expert [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <http://www.statcon.de/statconshop/product_info.htm?cPath=9_12&products_id=77&PHP=&gclid=CLX3s6fR_ZkCFREgZwodrE5Xfw&language=en&PHPSESSID=af82b4aff890ffc8daa07715a0a5f5fa>
- [53] Zjednodušený popis absorpčního cyklu [online]. [cit. 2. 5. 2008]. Dostupné z <<http://www.pe.cz/index.php?goto=text&sekce=hOplF8Tr&tid=W35NJErn&lng=cz>>

8 PŘÍLOHY

8.1 *Hustota*

$$r_{\text{proteine}} = 1.3299 \cdot 10^3 - 5.1840 \cdot 10^{-1} \cdot T$$

$$r_{\text{fat}} = 9.2559 \cdot 10^2 - 4.1757 \cdot 10^{-1} \cdot T$$

$$r_{\text{carbohydrate}} = 1.599 \cdot 10^3 - 3.1046 \cdot 10^{-1} \cdot T$$

$$r_{\text{fbre}} = 1.3115 \cdot 10^3 - 3.6589 \cdot 10^{-1} \cdot T$$

$$r_{\text{ash}} = 2.4238 \cdot 10^3 - 2.8063 \cdot 10^{-1} \cdot T$$

$$r_{\text{water}} = 9.9718 \cdot 10^2 + 3.1439 \cdot 10^{-3} \cdot T - 3.7574 \cdot 10^{-3} \cdot T^2$$

$$r_{\text{ice}} = 9.1689 \cdot 10^2 - 1.3071 \cdot 10^{-1} \cdot T$$

8.2 *Specifické teplo*

$$c_{p, \text{smít}} = 1674.72 \cdot x_{\text{fat}} + 837.36 \cdot x_{\text{Mls}} + 4186.8 \cdot x_w \text{ J/(kg K)}$$

$$c_{p, \text{frozen}} = 1674.72 \cdot x_{\text{fat}} + 837.36 \cdot x_{\text{Mls}} + 2093.4 \cdot x_w \text{ J/(kg K)}$$

$$c_{p, \text{protein}} = 2.0082 + 1.2089 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1.3129 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$c_{p, \text{carbohydrate}} = 1.5488 - 1.9625 \cdot 10^{-3} \cdot T - 5.9399 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$c_{p, \text{fibre}} = 1.8459 + 1.8306 \cdot 10^{-3} \cdot T - 4.6509 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$c_{p, \text{lipid}} = 1.9842 + 1.4733 \cdot T - 4.8008 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$c_{p, \text{ash}} = 1.0926 + 1.8896 \cdot T - 3.6817 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$c_{p, w, (0-150^\circ\text{C})} = 4.1762 - 9.0864 \cdot 10^{-5} \cdot T + 5.4731 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$c_{p, w, (-40-0^\circ\text{C})} = 4.0817 - 5.3062 \cdot 10^{-3} \cdot T + 9.9516 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$

$$c_{p, \text{ice}} = 2.0623 + 6.0769 \cdot 10^{-3} \cdot T$$

$$c_{p, \text{product}} = \sum c_{p, i} \cdot x_i$$

8.3 Tepelná vodivost

$$k = \sum_i k_i \cdot X_i^V$$

$$X_i^V = \frac{\frac{x_i}{r_i}}{\sum \frac{x_i}{r_i}}$$

$$k_{protein} = 1.7881 \cdot 10^{-1} + 1.1958 \cdot 10^{-3} \cdot T - 2.7178 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$k_{fat} = 1.8071 \cdot 10^{-1} - 2.7604 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1.7749 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$$

$$k_{carbohydrate} = 2.0141 \cdot 10^{-1} + 1.3874 \cdot 10^{-3} \cdot T - 4.3312 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$k_{fiber} = 1.8331 \cdot 10^{-1} + 1.2497 \cdot 10^{-3} \cdot T - 3.1683 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$k_{ash} = 3.2962 \cdot 10^{-1} + 1.4011 \cdot 10^{-3} \cdot T - 2.9069 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$k_w = 5.7109 \cdot 10^{-1} + 1.7625 \cdot 10^{-3} \cdot T - 6.7036 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

$$k_{ice} = 2.2196 - 6.2489 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1.0154 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$

$$k = \sum_i k_i \cdot e_i$$

$$k_{parallel} = k_1 \cdot e_1 + k_2 \cdot e_2$$

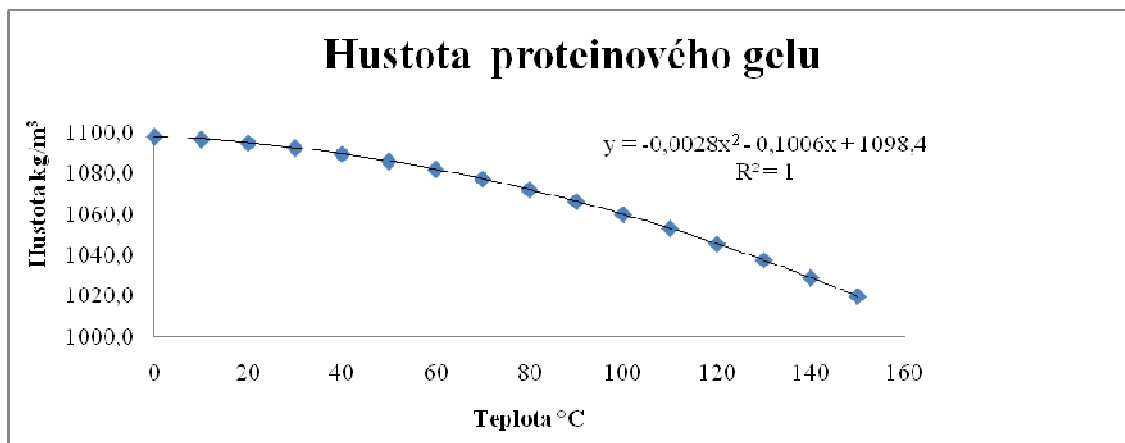
$$e_1 + e_2 = 1$$

$$\frac{1}{k} = \sum_i \frac{e_i}{k_i}$$

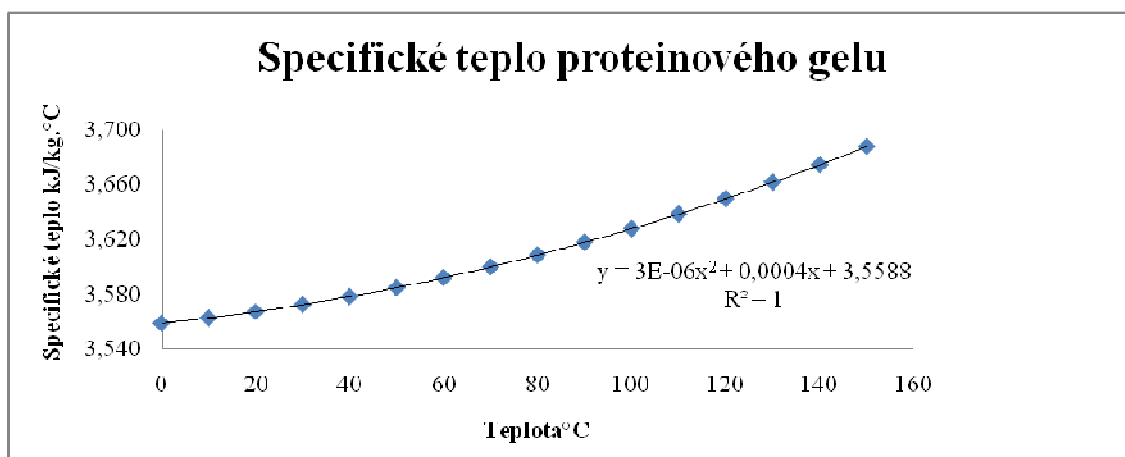
$$\frac{1}{k_{series}} = \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}$$

$$e_1 + e_2 = 1$$

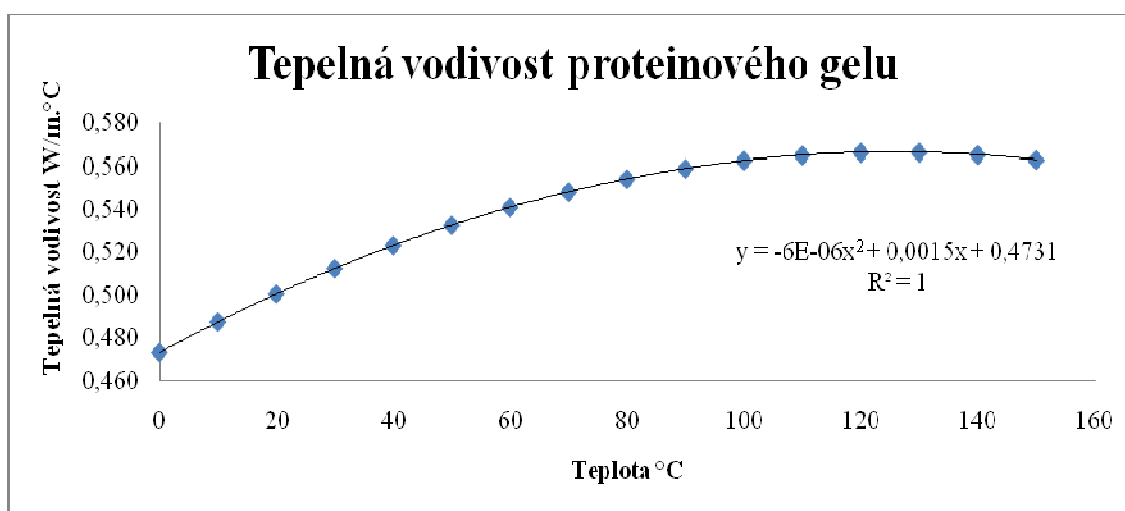
8.4 Fyzikální vlastnosti proteinového gelu



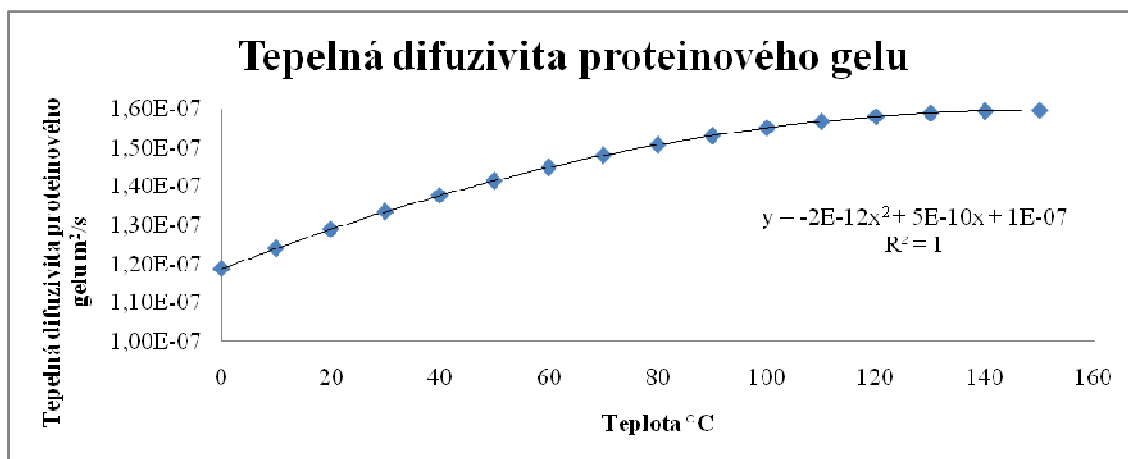
Obr. 8.4.1 – Vývoj hustoty proteinového gelu v závislosti na teplotě



Obr. 8.4.2 – Vývoj specifického tepla proteinového gelu v závislosti na teplotě



Obr. 8.4.3 – Vývoj tepelné vodivosti proteinového gelu v závislosti na teplotě



Obr. 8.4.4 – Vývoj tepelné difuzivity proteinového gelu v závislosti na teplotě

Teplota (°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ρ (kg/m ³)	1098,4	1097,1	1095,2	1092,8	1089,9	1086,3	1082,2	1077,5	1072,3	1066,5
C_p (kJ/(kg·K))	3,559	3,563	3,567	3,572	3,578	3,585	3,592	3,600	3,608	3,618
λ (W/(m·K))	0,473	0,487	0,500	0,512	0,523	0,533	0,541	0,548	0,554	0,559
D (m ² /s)	1,19 E-07	1,24 E-07	1,29 E-07	1,33 E-07	1,38 E-07	1,41 E-07	1,45 E-07	1,48 E-07	1,51 E-07	1,53 E-07

Tab. 8.4.1 – Číselná tabulka fyzikálních vlastností proteinového gelu pro dané teploty

8.5 Kompletní plán experimentu

Std	Run	Block	Factor 1 A:T arcose °C	Factor 2 B:HR arcoss %	Factor 3 C:temps min.	Factor 4 D:Recette %
2	22	Block 1	6	80% - 15	2	38
1	25	Block 1	6	80% - 15	2	38
9	10	Block 1	6	80% - 15	7	38
10	15	Block 1	6	80% - 15	7	38
5	7	Block 1	6	95% - 15	2	38
6	21	Block 1	6	95% - 15	2	38
14	2	Block 1	6	95% - 15	7	38
13	30	Block 1	6	95% - 15	7	38
3	5	Block 1	15	80% - 15	2	38
4	11	Block 1	15	80% - 15	2	38
11	9	Block 1	15	80% - 15	7	38
12	28	Block 1	15	80% - 15	7	38
7	26	Block 1	15	95% - 15	2	38
8	27	Block 1	15	95% - 15	2	38
16	4	Block 1	15	95% - 15	7	38
15	13	Block 1	15	95% - 15	7	38
18	1	Block 1	6	80% - 15	2	42
17	6	Block 1	6	80% - 15	2	42
25	16	Block 1	6	80% - 15	7	42
26	23	Block 1	6	80% - 15	7	42
21	24	Block 1	6	95% - 15	2	42
22	32	Block 1	6	95% - 15	2	42
29	17	Block 1	6	95% - 15	7	42
30	20	Block 1	6	95% - 15	7	42
19	3	Block 1	15	80% - 15	2	42
20	18	Block 1	15	80% - 15	2	42
27	12	Block 1	15	80% - 15	7	42
28	29	Block 1	15	80% - 15	7	42
23	8	Block 1	15	95% - 15	2	42
24	14	Block 1	15	95% - 15	2	42
31	19	Block 1	15	95% - 15	7	42
32	31	Block 1	15	95% - 15	7	42

Tab. 8.5.1 – 32 zkoušek určené pro ochlazování metodou řízení klimatických podmínek v ARCOS před jeho redukcí

Std	Run	Block	Factor 1 A:T arcose °C	Factor 2 B:inj. direct °C	Factor 3 C:temps min.	Factor 4 D:Recette %
2	1	Block 1	6	0	2	38
1	31	Block 1	6	0	2	38
9	14	Block 1	6	0	7	38
10	27	Block 1	6	0	7	38
6	6	Block 1	6	15	2	38
5	7	Block 1	6	15	2	38
13	13	Block 1	6	15	7	38
14	29	Block 1	6	15	7	38
3	3	Block 1	15	0	2	38
4	4	Block 1	15	0	2	38
12	12	Block 1	15	0	7	38
11	20	Block 1	15	0	7	38
8	8	Block 1	15	15	2	38
7	16	Block 1	15	15	2	38
15	5	Block 1	15	15	7	38
16	24	Block 1	15	15	7	38
17	10	Block 1	6	0	2	42
18	26	Block 1	6	0	2	42
26	17	Block 1	6	0	7	42
25	19	Block 1	6	0	7	42
22	2	Block 1	6	15	2	42
21	18	Block 1	6	15	2	42
30	11	Block 1	6	15	7	42
29	22	Block 1	6	15	7	42
20	30	Block 1	15	0	2	42
19	32	Block 1	15	0	2	42
28	15	Block 1	15	0	7	42
27	23	Block 1	15	0	7	42
23	21	Block 1	15	15	2	42
24	28	Block 1	15	15	2	42
31	9	Block 1	15	15	7	42
32	25	Block 1	15	15	7	42

Tab. 8.5.2 – 32 zkoušek určeného pro ochlazování metodou přímého vstříkávání na ochlazovaný proteinový gel před jeho redukcí

8.6 Optimalizovaný plán experimentu

Std	Run	Block	Factor 1 A:T arcose °C	Factor 2 B:HR arcose %	Factor 3 C:temps min.	Factor 4 D:Recette %
12	18	Block 1	6	80% - 15	2	38
16	8	Block 1	6	80% - 15	7	38
34	28	Block 1	6	80% - 15	7	38
21	23	Block 1	6	95% - 15	2	38
1	26	Block 1	6	inj. direct - 15	2	38
19	5	Block 1	6	inj. direct - 15	7	38
23	29	Block 1	6	inj. direct - 0	2	38
32	11	Block 1	6	inj. direct - 0	7	38
7	22	Block 1	6	inj. direct - 0	7	38
5	13	Block 1	15	80% - 15	2	38
24	33	Block 1	15	80% - 15	7	38
2	30	Block 1	15	95% - 15	2	38
29	9	Block 1	15	95% - 15	7	38
3	17	Block 1	15	95% - 15	7	38
27	35	Block 1	15	inj. direct - 15	2	38
11	19	Block 1	15	inj. direct - 15	7	38
36	3	Block 1	15	inj. direct - 0	2	38
8	25	Block 1	15	inj. direct - 0	2	38
30	4	Block 1	6	80% - 15	2	42
17	16	Block 1	6	80% - 15	2	42
33	2	Block 1	6	95% - 15	2	42
10	31	Block 1	6	95% - 15	2	42
18	10	Block 1	6	95% - 15	7	42
28	20	Block 1	6	95% - 15	7	42
4	7	Block 1	6	inj. direct - 15	7	42
37	12	Block 1	6	inj. direct - 15	7	42
14	21	Block 1	6	inj. direct - 0	2	42
26	24	Block 1	6	inj. direct - 0	7	42
25	34	Block 1	15	80% - 15	2	42
9	14	Block 1	15	80% - 15	7	42
13	1	Block 1	15	95% - 15	7	42
35	37	Block 1	15	95% - 15	7	42
6	6	Block 1	15	inj. direct - 15	2	42
31	27	Block 1	15	inj. direct - 15	2	42
22	15	Block 1	15	inj. direct - 15	7	42
20	36	Block 1	15	inj. direct - 0	2	42
15	32	Block 1	15	inj. direct - 0	7	42

Tab. 8.6.1 – Optimalizovaný zkušební plán programem Design expert 7®: D-optimal

8.7 Detail optimalizovaného plánu experimentu

Use your mouse to right click on individual cells for definitions.

4 Factors: A, B, C, D

Design Matrix Evaluation for Factorial 2FI Model

No aliases found for 2FI Model

Aliases are calculated based on your response selection, taking into account missing datapoints, if necessary.
Watch for aliases among terms you need to estimate.

Degrees of Freedom for Evaluation

Model	18
Residuals	18
Lack Of Fit	8
Pure Error	10
Corr Total	36

A recommendation is a minimum of 3 lack of fit df and 4 df for pure error.
This ensures a valid lack of fit test.
Fewer df will lead to a test that may not detect lack of fit.

Term	StdErr**	VIF	Ri-Squared	Power at 5 % alpha level for effect of		
				0.5 Std. Dev.	1 Std. Dev.	2 Std. Dev.
A	0.19	1.27	0.2140	25.2 %	73.0 %	99.9 %
B(1)	0.31			10.4 %	30.1 %	87.5 %
B(2)	0.31					
B(3)	0.30					
C	0.18	1.26	0.2088	25.1 %	72.8 %	99.9 %
D	0.18	1.21	0.1720	26.2 %	75.2 %	99.9 %
AB(1)	0.31			9.1 %	23.9 %	77.0 %
AB(2)	0.35					
AB(3)	0.33					
AC	0.19	1.37	0.2705	23.3 %	69.0 %	99.8 %
AD	0.18	1.24	0.1982	25.2 %	73.2 %	99.9 %
B(1)C	0.32			9.3 %	25.1 %	79.4 %
B(2)C	0.33					
B(3)C	0.33					
B(1)D	0.32			9.5 %	25.7 %	80.7 %
B(2)D	0.33					
B(3)D	0.32					
CD	0.18	1.21	0.1758	25.7 %	74.2 %	99.9 %

**Basis Std. Dev. = 1.0
For Categorical Terms, The minimum Power for each group of terms is reported.

Tab. 8.7.1 – Vyhodnocení pravděpodobností zkušebního plánu programem Design expert 7®: D-optimal

8.8 Statistické zpracování

Před provedením zkoušek a získání výsledků z experimentů, byly stanoveny čtyři faktory (tab. 8.8.1), které mohly ovlivnit výsledky a které jsou na sebe nějakým způsobem vázány.

Znak	Faktor	Rozdělení
A	Teplota vzduchu v ARCOS	6 °C a 15 °C
B	Doba ochlazování	2 a 7 minut
C	Recept	38 a 42
D	Relativní vlhkost vzduchu	80% a 95% relativní vlhkost okolního vzduchu 0 °C a 15 °C teplota vstříkované vody přímo na produkt

Tab. 8.8.1 – Stanovené faktory

Hledané odpovědi jsou následující: ztráta vody z materiálu při ochlazování (%), tuhost materiálu (N/mm), odolnost materiálu (N), elasticita materiálu (mm), konečná teplota materiálu po ochlazovacím procesu (°C) a analýza sušiny (%).

Odpovědi					
Ztráta vody (%)	Tuhost (N/mm)	Odolnost (N)	Elasticita (mm)	Teplota (°C)	Sušina (%)

Tab. 8.8.2 – Hledané odpovědi

Program

Pro přípravu experimentálního plánu byl použit program Design expert 7®. Tento program pomůže zredukovat celkový počet potřebných pokusů na množství skutečně provedených experimentů. Následně pak dokáže vyhodnocovat výsledky a zpětně dopočítat hodnoty pro programem eliminované pokusy, o které jsme byli ušetřeni při experimentu.

Jak vybrat plán experimentu

Výběr plánu, který je obsažen v programu, je závislý od objektu studie. Naším studiem je nalézt závislost mezi jednotlivými čtyřmi určenými faktory a hierarchicky je rozřadit. Proto z programu vybereme plán faktoriálního typu. Tento plán nám stanovil celkový počet pokusů, pro získání náležitých odpovědí (celkem 64 pokusů). Celkový počet pokusů je však značný. Proto byl plán upraven tzv. plánem „*D-optimal*“. Tento plán determinuje vliv faktorů na naše odpovědi a vybere redukovaný plán experimentu, který bude výsledky korespondovat s kompletním plánem experimentu (s určitou chybou). Plán byl zredukován na celkový počet 37 pokusů, které jsou složeny s kombinace všech faktorů. Mezi 37 pokusy pak máme 10 opakujících se pokusů, které nám pomůžou stanovit celkovou chybu.

Zpracování výsledků

Jedná se o analýzu variace. Pro náš model „*D-optimal*“ hledáme jednotlivé interakce mezi jednotlivými faktory. Analýza modelu počítá s jednotlivým faktorem pouze, jestliže jeho kritická pravděpodobnost (p-value) je menší jak 5%. Na obr. 8.8.1 můžeme nalézt některé faktory, které nejsou pro celkovou analýzu žádoucí, jelikož jejich pravděpodobnosti jsou příliš vysoké. Faktory s pravděpodobností vyšší jak 5% nejsou faktory významné, takže můžeme říci, že nijak neovlivňují naše odpovědi.

Response 1 perte d'eau						
These Rows Were Ignored for this Analysis.						
32						
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	384.20	18	21.34	43.14	< 0.0001	significant
A-Tarcose	0.039	1	0.039	0.078	0.7817	
B-HR arcos	300.30	3	100.10	202.31	< 0.0001	
C-temps	2.89	1	2.89	5.84	0.0233	
D-Recette	3.00	1	3.00	6.07	0.0210	
AB	1.22	3	0.41	0.82	0.4947	
AC	1.40	1	1.40	2.83	0.1052	
AD	0.046	1	0.046	0.093	0.7633	
BC	32.72	3	10.91	22.04	< 0.0001	
BD	1.97	3	0.66	1.33	0.2880	
CD	1.29	1	1.29	2.60	0.1192	

Obr. 8.8.1 – Ukázka pravděpodobností faktorů (p-value) před jeho redukcí

Po eliminaci nežádoucích faktorů, zůstávají pouze významné faktory (faktory ovlivňující odpovědi).

Response 1 perte d'eau						
These Rows Were Ignored for this Analysis.						
32						
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	379.23	9	42.14	82.66	< 0.0001	significant
B-HR arcos	329.54	3	109.85	215.49	< 0.0001	
C-temps	5.27	1	5.27	10.33	0.0029	
D-Recette	1.81	1	1.81	3.55	0.0681	
BC	41.01	3	13.67	26.82	< 0.0001	
CD	1.60	1	1.60	3.13	0.0856	

Obr. 8.8.2 – Ukázka významných faktorů (p-value)

Kvalita odpovědi faktoru ovlivňující hledanou odpověď se stanoví za pomoci indikátoru R^2_{adj} (R^2 je procentuální variabilita obsažená v modelu). Tento indikátor nabývá hodnot 0 až 1 (1 odpovídá 100% pravděpodobnosti).

R-Squared	0.9563
Adj R-Squared	0.9447
Pred R-Squared	0.9264

Obr. 8.8.3 – Indikátor R^2_{adj}

8.9 Analýza výsledků

Ztráta vody

ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	379.23	9	42.14	82.66	< 0.0001	significant
<i>B-HR arcos</i>	329.54	3	109.85	215.49	< 0.0001	
<i>C-temps</i>	5.27	1	5.27	10.33	0.0029	
<i>D-Recette</i>	1.81	1	1.81	3.55	0.0681	
<i>BC</i>	41.01	3	13.67	26.82	< 0.0001	
<i>CD</i>	1.60	1	1.60	3.13	0.0856	

Obr. 8.9.1 – Významné faktory

Std. Dev.	0.71	R-Squared	0.9563
Mean	3.81	Adj R-Squared	0.9447
C.V. %	18.74	Pred R-Squared	0.9264

Obr. 8.9.2 – Hodnota indikátoru R^2_{adj} určená modelem

Tuhost

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0.050	10	4.959E-003	37.64	< 0.0001	significant
<i>B-HR arcos</i>	0.031	3	0.010	79.05	< 0.0001	
<i>D-Recette</i>	0.016	1	0.016	121.13	< 0.0001	
<i>BC</i>	2.189E-003	3	7.298E-004	5.54	0.0041	
<i>BD</i>	1.203E-003	3	4.011E-004	3.04	0.0452	

Obr. 8.9.3 – Významné faktory

Std. Dev.	0.011	R-Squared	0.9308
Mean	0.47	Adj R-Squared	0.9060
C.V. %	2.46	Pred R-Squared	0.8653

Obr. 8.9.4 – Hodnota indikátoru R^2_{adj} určená modelem

Pevnost

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	2.48	10	0.25	57.42	< 0.0001	significant
<i>B-HR arcos</i>	1.39	3	0.46	107.34	< 0.0001	
<i>D-Recette</i>	0.80	1	0.80	186.00	< 0.0001	
<i>BC</i>	0.15	3	0.049	11.22	< 0.0001	
<i>BD</i>	0.055	3	0.018	4.25	0.0132	

Obr. 8.9.5 – Významné faktory

Std. Dev.	0.066	R-Squared	0.9519
Mean	1.09	Adj R-Squared	0.9353
C.V. %	6.05	Pred R-Squared	0.9147

Obr. 8.9.6 – Hodnota indikátoru R^2_{adj} určená modelem

Elasticita

Std. Dev.	9.022E-003	R-Squared	0.9429
Mean	1.31	Adj R-Squared	0.9271
C.V. %	0.69	Pred R-Squared	0.9006
PRESS	4.107E-003	Adeq Precision	25.322

Obr. 8.9.7 – Významné faktory

Std. Dev.	9.022E-003	R-Squared	0.9429
Mean	1.31	Adj R-Squared	0.9271
C.V. %	0.69	Pred R-Squared	0.9006
PRESS	4.107E-003	Adeq Precision	25.322

Obr. 8.9.8 – Hodnota indikátoru R^2_{adj} určená modelem

Teplota

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	3283.52	14	234.54	139.38	< 0.0001	significant
<i>A-T arcose</i>	157.58	1	157.58	93.65	< 0.0001	
<i>B-HR arcas</i>	1192.61	3	397.54	236.25	< 0.0001	
<i>C-temps</i>	1108.06	1	1108.06	658.49	< 0.0001	
<i>AB</i>	18.93	3	6.31	3.75	0.0217	
<i>BC</i>	86.70	3	28.90	17.17	< 0.0001	
<i>BD</i>	13.59	3	4.53	2.69	0.0646	

Obr. 8.9.9 – Významné faktory

Std. Dev.	1.30	R-Squared	0.9854
Mean	22.29	Adj R-Squared	0.9783
C.V. %	5.82	Pred R-Squared	0.9650

Obr. 8.9.10 – Hodnota indikátoru R^2_{adj} určená modelem

Analýza obsahu sušiny

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	29.75	10	2.98	36.55	< 0.0001	significant
<i>B-HR arcas</i>	15.98	3	5.33	65.43	< 0.0001	
<i>D-Recette</i>	10.03	1	10.03	123.20	< 0.0001	
<i>BC</i>	1.98	3	0.66	8.11	0.0005	
<i>BD</i>	0.98	3	0.33	4.00	0.0173	

Obr. 8.9.11 – Významné faktory

Std. Dev.	0.29	R-Squared	0.9288
Mean	72.03	Adj R-Squared	0.9034
C.V. %	0.40	Pred R-Squared	0.8647

Obr. 8.9.12 – Hodnota indikátoru R^2_{adj} určená modelem

8.10 Průměrná hodnota viskozity směsi

Průměrná hodnota	3454,1	Pa·s
Odchylka	120,2	-

Tab. 8.10.1 – Průměrná hodnota viskozity směsi 42 určené pro výrobu proteinového gelu pro experiment

Průměrná hodnota	2746,8	Pa·s
Odchylka	172,5	-

Tab. 8.10.2 – Průměrná hodnota viskozity směsi 38 určené pro výrobu proteinového gelu pro experiment

8.11 Výsledky po ochlazovacím procesu

T°C arcos	Relativní vlhkost vzduchu	Čas	Směs	Ztráta vody (%)	MSVP (g/100g)	Max. zátěž (N)	Max. protážení (mm)	Max. energie do přetržení (mJ)	Max. sklon (N/mm)	Teplota out (°C)
6	80%-15	2	38	5,63	71,70	3,84	22,27	44,6	0,27	32,23
						0,06	0,49	1,11	0,02	3,46
6	80%-15	7	38	8,38	71,90	3,65	22,23	42,41	0,25	18,63
						0,14	0,56	2,38	0,01	2,31
6	80%-15	7	38	8,21	71,40	3,65	21,83	40,64	0,26	17,90
						0,19	0,72	2,23	0,01	2,78
6	95%-15	2	38	5,05	71,90	3,03	21,53	33,57	0,22	34,30
						0,08	0,76	1,93	0,01	3,86
15	80%-15	2	38	5,67	72,40	2,90	21,37	31,79	0,20	36,93
						0,12	0,83	1,98	0,01	3,44
15	80%-15	7	38	8,57	71,70	3,46	21,46	38,16	0,25	23,10
						0,35	0,49	3,80	0,03	2,10
15	95%-15	2	38	6,18	72,40	2,95	20,29	29,26	0,23	35,67
						0,14	0,68	2,92	0,01	1,97
15	95%-15	7	38	8,52	71,70	3,25	21,44	35,46	0,23	22,7
						0,21	0,61	2,68	0,02	1,87
15	95%-15	7	38	7,29	71,90	3,48	21,49	38,66	0,25	23,87
						0,14	0,81	2,02	0,02	1,78
6	Voda - 15	2	38	1,57	72,90	2,25	18,82	22,30	0,18	20,40
						0,11	1,17	2,40	0,01	2,35
6	Voda - 15	7	38	0,49	74,20	2,02	18,44	20,46	0,16	10,40
						0,12	0,58	2,10	0,01	0,20
6	Voda -0	2	38	0,51	73,00	2,07	17,6	19,74	0,17	20,87
						0,13	0,70	1,73	0,01	1,42
6	Voda -0	2	38	0,19	73,20	2,48	19,60	26,46	0,20	17,83
						0,14	0,27	2,61	0,03	2,20
6	Voda -0	7	38	2,22	73,50	1,75	17,56	15,90	0,15	8,87
						0,10	0,69	1,42	0,00	0,07
6	Voda -0	7	38	1,89	74,50	1,79	16,52	15,46	0,16	10,03
						0,14	1,19	2,34	0,01	0,56
15	Voda - 15	2	38	1,82	72,40	2,09	18,56	20,08	0,17	22,90
						0,04	0,49	0,67	0,01	1,44
15	Voda - 15	7	38	0,00	73,00	2,08	18,10	20,26	0,17	17,30
						0,15	0,74	2,34	0,01	0,26
15	Voda -0	2	38	0,97	73,30	2,31	19,50	23,88	0,18	24,53
						0,08	0,59	1,44	0,01	1,46
15	Voda -0	2	38	0,62	73,30	2,26	18,32	21,84	0,19	24,03
						0,13	0,65	1,86	0,01	1,62

Tab. 8.11.1 – Kompletní výsledky směsi 38 po procesu ochlazování (žluté pole označuje opakující se pokusy)

T°C arcos	Relativní vlhkost vzduchu	Čas	Směs	Ztráta vody (%)	MSVP (g/100g)	Max. zátěž (N)	Max. protažení (mm)	Max. energie do přetržení (mJ)	Max. sklon (N/mm)	Teplota out (°C)
6	80%-15	2	42	5,47	71,20	4,03	20,86	43,91	0,27	37,53
						0,08	0,68	1,60	0,01	4,01
6	80%-15	2	42	5,74	71,10	3,58	21,73	40,66	0,25	34,20
						0,18	0,62	2,52	0,01	3,56
6	95%-15	2	42	5,19	71,20	3,41	22,11	38,76	0,24	34,53
						0,36	0,87	6,46	0,01	1,86
6	95%-15	2	42	4,69	71,10	3,76	21,76	42,67	0,26	32,93
						0,23	0,84	4,16	0,01	2,46
6	95%-15	7	42	7,87	70,90	4,71	21,96	54,36	0,31	21,17
						0,09	0,38	1,63	0,01	2,40
6	95%-15	7	42	7,85	70,70	4,37	22,23	50,74	0,29	18,07
						0,20	0,66	2,68	0,02	1,80
15	80%-15	2	42	5,62	70,60	4,36	22,36	51,39	0,29	38,80
						0,19	0,91	3,97	0,01	3,83
15	80%-15	7	42	8,95	70,50	4,40	23,36	54,17	0,29	22,37
						0,33	0,46	4,43	0,02	1,54
15	95%-15	7	42	6,91	71,00	4,18	22,54	49,13	0,28	22,40
						0,17	0,60	3,40	0,01	1,73
15	95%-15	7	42	8,70	70,70	3,51	22,11	40,11	0,24	21,03
						0,26	1,14	3,40	0,02	1,24
6	Voda-15	7	42	0,18	72,50	2,68	19,62	28,42	0,20	10,40
						0,65	1,97	10,25	0,03	1,00
6	Voda-15	7	42	0,20	72,80	2,56	18,10	25,88	0,20	10,10
						0,13	0,48	0,99	0,01	0,82
6	Voda-0	2	42	3,20	71,20	3,38	20,42	37,52	0,23	20,18
						0,11	0,31	1,76	0,01	1,93
6	Voda-0	7	42	2,10	72,30	3,05	20,22	31,90	0,21	10,60
						0,05	0,56	1,42	0,01	1,06
15	Voda-15	2	42	1,83	72,40	2,87	18,38	29,24	0,22	23,70
						0,24	0,84	3,28	0,01	0,26
15	Voda-15	2	42	4,16	70,80	2,94	50,54	31,46	0,22	23,5
						0,24	0,50	1,90	0,03	0,00
15	Voda-15	7	42	3,45	71,40	2,96	20,16	31,66	0,21	17,50
						0,09	0,48	1,27	0,01	0,47
15	Voda-0	2	42	2,58	71,70	3,25	20,26	35,30	0,23	24,88
						0,16	0,58	2,80	0,01	1,33
15	Voda-0	7	42	0,51	72,50	2,73	18,58	28,28	0,21	16,07
						0,09	0,88	2,07	0,01	0,57

Tab. 8.11.2 – Kompletní výsledky směsi 42 po procesu ochlazování (žluté pole označuje opakující se pokusy)

8.12 Program pro výpočet přenosu tepla

```

clear
dx=0.0004;
dt=1;
e=0.004 ;           (šířka produktu v m)
M=e/dx;             (počet počítaných vrstev)
T=70*ones(1,M+1);  (teplota v °C)
X=ones(1,M+1);     (množství vody v kg vody/kg sušiny)
Dl=0.8e-08;        (termická difuzivita vody m/s)
l=0.549;           (termická vodivost produktu W/m.K)
ro=1077.6;         (hustota sušiny kg/m³)
cpms=2500;         (specifické teplo sušiny v J/kg.K)
cpo=4185;          (specifické teplo vody J/kg.K)
W=0.006;           (nasycenost vzduchu v kg páry/ kg suchého vzduchu)
Pva=(101325*W)/(W+0.622); (parciální tlak páry v Pa)
Mo=18*(10^(-3));  (molární množství vody kg/mol)
R=8.314;           (univerzální plynová konstanta v J/mol.K)
Ta=6;              (teplota vzduchu v °C)
cva=(Mo/R)*(Pva/(Ta+273)); (koncentrace vodních par)
alpha=0.09;        (parametr izotermní absorpce v (kg vody /kg sušiny)^1,6)
hcont=180;         (koeficient přestupu tepla v produktu W/m.K)
hconv=10;          (koeficient přestupu tepla konvekci W/m.K)
K=hconv/1000;     (koeficient přenosu hmoty)
Tsol=15;           (teplota vstřikované kapaliny °C)
t=500/dt;         (počet časových jednotek)
Hvap=2.5e06;      (specifické teplo vodní páry v J/kg.K)

```

```

for n=1:1:500//:t
for i=2:1:M
    X(n+1,i)=((Dl*dt)/(dx^2))*(X(n,i-1)-2*X(n,i)+X(n,i+1))+X(n,i);
    T(n+1,i)=((1*dt)/((dx^2)*ro*(cpms+X(n,i)*cpo))*(T(n,i-1)-2*T(n,i)+T(n,i+1))+T(n,i);
end
X(n+1,1)=((2*Dl*dt)/(dx^2))*(X(n,2)-X(n,1))+X(n,1);

aw=watact(X(n,M+1),alpha);
cvs=(aw*pvsat(T(n,M+1))*Mo)/(R*(T(n,M+1)+273));

X(n+1,M+1)=(((2*dt*K)/(ro*dx))*(cvs-cva))-((2*Dl*dt)/(dx^2))*(X(n,M+1)-X(n,M))+X(n,M+1);

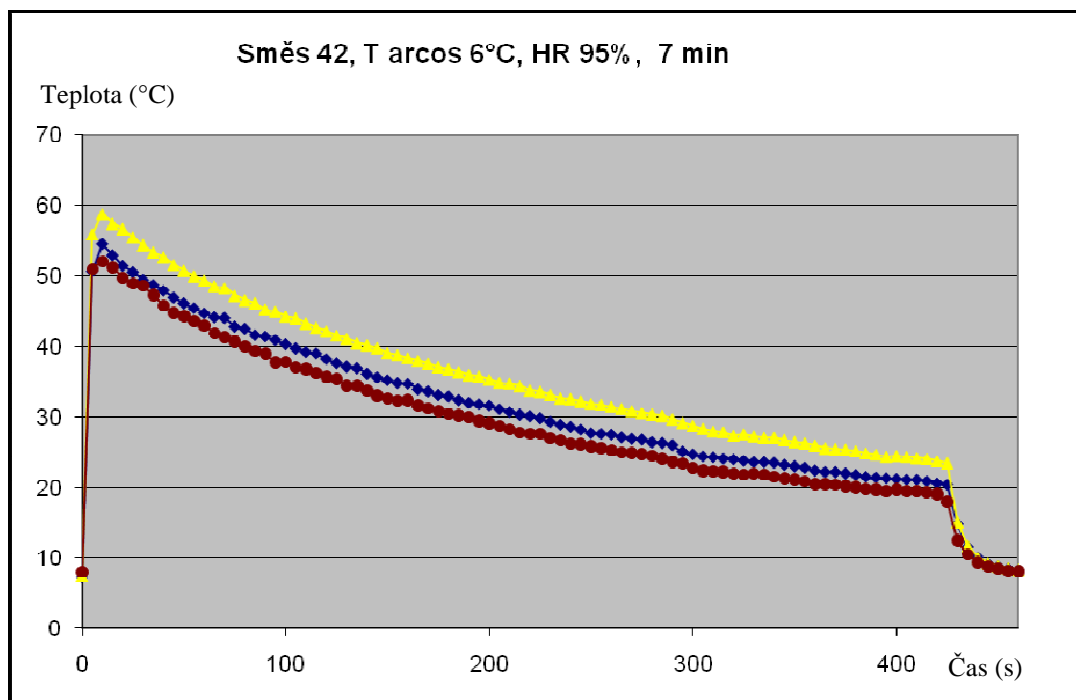
T(n+1,1)=((2*dt)/(dx*ro*(cpms+X(n,1)*cpo))*((1*(T(n,2)-T(n,1)))/dx+hcont*(Tsol-T(n,1))))+T(n,1);

T(n+1,M+1)=((2*dt)/(dx*ro*(cpms+X(n,M+1)*cpo))*((-1/dx)*(T(n,M+1)-T(n,M)))-(hconv)*(T(n,M+1)-Ta)-K*(cvs-cva)*Hvap)+T(n,M+1);
end

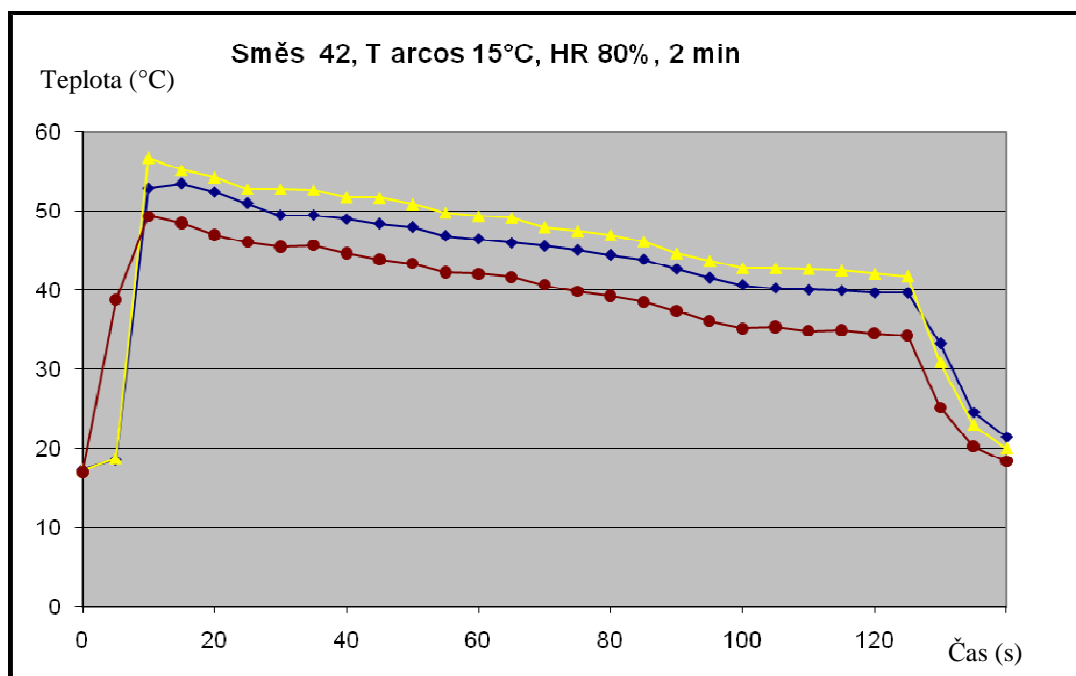
x=[0:1:500]';
//plot(mean(T,2))
plot(x,T(:,2),'r')
plot(x,T(:,6),'b')
plot(x,T(:,10),'g')

```

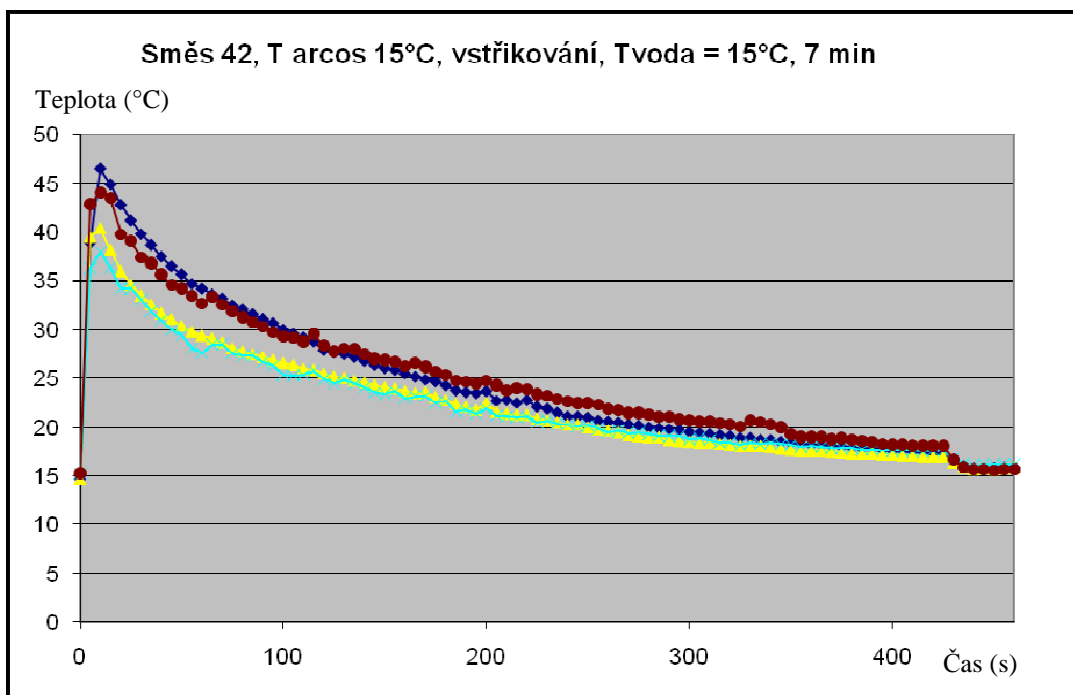
8.13 Příklady vývoje teplot při experimentu



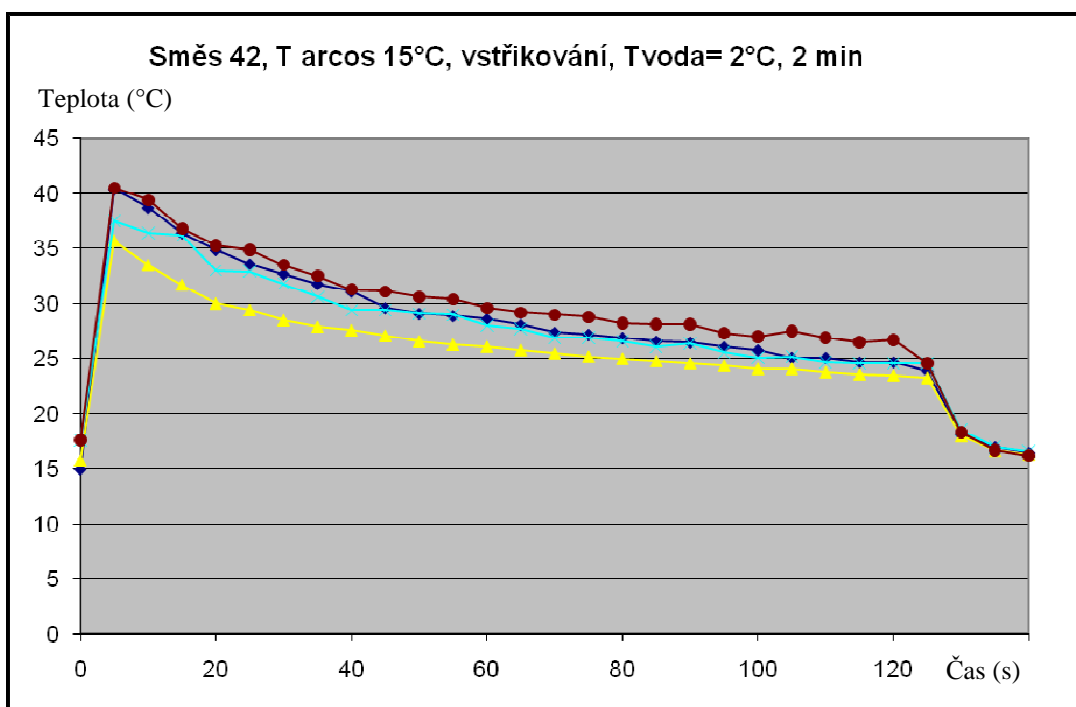
Tab. 8.13.1 – Vývoj teplot v proteinovém gelu směsi 42 během ochlazování při podmínkách 6 °C okolního vzduchu v ARCOS pro metodu řízení relativní vlhkosti vzduchu 95% a dobu ochlazování 7 minut



Tab. 8.13.2 – Vývoj teplot v proteinovém gelu směsi 42 během ochlazování při podmínkách 15 °C okolního vzduchu v ARCOS pro metodu řízení relativní vlhkosti vzduchu 80% a dobu ochlazování 2 minuty



Tab. 8.13.3 – Vývoj teplot v proteinovém gelu směsi 42 během ochlazování při podmínkách 15 °C okolního vzduchu v ARCOS pro metodu přímého ochlazování produktu vodou o teplotě 15 °C po dobu 7 minut



Tab. 8.13.4 – Vývoj teplot v proteinovém gelu směsi 42 během ochlazování při podmínkách 15 °C okolního vzduchu v ARCOS pro metodu přímého ochlazování produktu vodou o teplotě 2 °C po dobu 2 minut

8.14 Seznam výrobců a dodavatelů ochlazovacích tunelů

Ochlazovací tunely

Advanced Freezers

Sales and Plant: 2411 Vauxhall Place, Richmond BC, V6V 1Z5 Canada

Tel: 604-276-8989

604-276-8962

Singlepass Freezers

http://www.advancedfreezer.com/plistings_300_48.php

Cold Equipment Corp.

8504 SW129 Terrace

Miami, FL 33156

USA

Phone: +1 (305) 256-4418

Fax: +1 (305) 256-4410

E-mail: info@coldequipment.com

<http://www.coldequipment.com/tunnelfreeze.htm>

Air Liquide (Siege Social)

75, Quai d'Orsay - 75 321 Paris

Tel +33 (0)1 40 62 55 55

<http://www.airliquide.com/fr/alimentaire-boissons/equipements-3.html>

CIMS Surgélation

Zone Artisanale de la Fouquerie

Solesmes - B.P. 61

72302 Sablé sur Sarthe Cedex

Tél. : +33 2 43 62 14 50

Fax : +33 2 43 62 14 59

Mail : contact@cims-surgelation.com

<http://www.cims-surgelation.com/applications-fr.php>

ACFRI

ZA des Bardes

8, rue Pierre Josse BP 59

91072 BONDOUFFLE CEDEX

Tel : 01 69 11 83 00

Fax : 01 60 86 74 77

<http://www.biojus.com/acfri/flash/findex.htm#>

FMC FoodTech France

Coating, Cooking, Freezing, Frying

106 Boulevard Heloise

Les Harmoniques, BP 55

95101 Argenteuil Cedex

France

Phone: +33 1 3996 4646

Fax: +33 1 3996 4647

Email: info.fse@intl.fmcti.com

<http://www.fmctechnologies.com/FoodTech/Bakery/Freezers/LinearFreezers/FPFFreezer.aspx>

Starfrost House

Newcombe Road Lowestoft

Suffolk NR32 1XA

United Kingdom

Tel : +44 (0)1502 562206

Fax : +44 (0)1502 584104

Info : sales@starfrost.co.uk

www.starfrost.co.uk

Oceangatan 3

S-252 25 Helsingborg / Suède

Tel : +46 42 33 22 60

Fax : +46 42 33 22 62

Info : info@iqf.se

<http://www.iqf.se/index.php?page=octofrost>

MATRIX ENGINEERING S.A.

Piazza Cioccaro 4

CH-6900 LUGANO - SUISSE

Tel : (0041) - 91 - 921 00 84

Fax : (0041) - 91 - 921 00 84

E-mail: info@matrix-engineering.net

<http://matrix-gelatomachines.net/index.php?id=321>

GROUPE CLAUGER

7, rue de l'Industrie

69530 BRIGNAIS - France

Tél : 33 (0)4 72 31 52 00

Fax : 33 (0)4 72 31 52 11

Info : commercial@clauger.com

www.clauger.com

http://www.clauger.com/Symposium/fiches_com/FC_Refrigeration.pdf

Linde Gas s.a

LILLE

121 route de Linselles

59118 WAMBRECHIES

Tél : 03.20.14.91.00

Fax : 03.20.14.91.19

LINDE GAS S.A. Conçoit et réalise tout process de cryogénisation

PARIS

Z.A.E du confluent - BP 100

77 871 Montereau cedex.

Téléphone : 01 60 57 20 00

Télécopie : 01 60 57 20 19

<http://www.linde-gas.fr>

http://www.linde-gas.fr/international/web/lg/fr/likeIgrfr.nsf/docbyalias/ind_matosrefroi

PROTEC SARL

ZA Forge Haute 36120 Ardentes

Tél.: 02 54 36 21 16

Fax: 02 54 36 32 84

Mail: contact@protec36.com

<http://www.protec36.com/cucco/gamme.htm>

HAAS-MONDOMIX B.V.

Damsluisweg 41

1332 EA Almere, The Netherlands

Tel. +31/36/5210999

Fax +31/36/5210900

Mail: info@mondomix.nl

www.mondomix.nl

<http://www.haas.com/fr/produkte/haas/installations-pour-gaufrettes/gaufrettes-plates-etcreuses/refroidissement-des-blocs.html>

SARP (food technologies and spiral conveyors)

Tel. +39 0423 482633

Fax +39 0423 482468

Mail: sarp@sarp.it

<http://www.sarp.it/fra/index.php>

CHLAZENÍ HOLICE s.r.o.

Vysokomýtská 427 (bývalá TMS)

534 01 Holice

Tel/fax: 00420 466 681 722

Mobil: 00420 603 866 767,

00420 603 466 014

Mail: chlazeni@chlazeniholice.cz

<http://www.chlazeniholice.cz>

Klimastar s r.o.

Smetanova 764

280 00 Kolín IV.

Česká republika

Tel./fax: +420 321714294

+420 321717536

Mail: info@klimastar.cz

<http://www.klimastar.cz>

Frigera 21, a.s.

Zengrova 110

280 59 Kolín IV

Česká republika

Tel.: (+420) 321 754 234

Tel.: (+420) 321 754 469

Fax.: (+420) 321 721 477

Mail: customer@frigera.cz

<http://www.frigera.cz>

<http://www.frigera.cz/web/index.php?menu=29>

Smola konstrukce s.r.o.

Starochuchelska 17/13

159 00 Praha 5

Tel: 00420 257 941 118

<http://www.smolakonstrukce.cz/profil.html>

Ing.Jiří Kroupa- SKANEKO

adresse: Pavla Horova 22

841 07 Bratislava SK

Telefón/Fax: 00421 2 6477 6001

Mobil CZ: 00420 602 291 366

Mobil SK: 00421 903 736 134

Mail : kroupa@skaneko.com

<http://www.skaneko.com>

Cabinplant A/S (zmrazení ryb)

Roesbjergvej 9

DK-5683 Haarby

Dánsko

Tel.: 0045 6373 2020

Fax: 0045 6373 2000

Email: KML@cabinplant.com

France

FDM France Danemark Materiel
7 bis rue de l'étoile du Matin
F - 44600 SAINT-NAZAIRE
FRANCE
Tel.: +33 24000 1300
Fax: +33 24000 1991
E-mail: fdm@francedanemarkmateriel.fr
www.francedanemarkmateriel.fr
<http://www.cabinplant.com> <http://www.fmm.dk>

Contact KEParaFreeze

Tel : 01379 688286
<http://www.keparafreeze.com/>

Doug Marriott Associates

New Forest Lane
Canterbury, Kent CT4 8BG
United Kingdom
Telephone: +44 (0) 1227 730912
<http://www.spiral-freezers.co.uk/>

AIR LIQUIDE AGENCE 78

Conçois et réalise tout process de cryogénéisation
5, rue charles Tellier Z.I.
78520 LIMAY
Tél. : 01 30 98 15 00
Fax : 01 30 98 15 01
<http://www.france.airliquide.com>

SMO INTERNATIONAL

Revendeur de surgélateurs marque FRIGOSCANIA et CIMS
Zone Artisanale des Alleux - 22100 DINAN / TADEN
Tél.: 02 96 87 13 13 - Fax : 02 96 85 01 02
<http://www.smo-international.com/process-agro-alimentaire/contact.php>

YARA France

100 rue Henri Barbusse
92751 NANTERRE cedex
Tel : +33 1 64 10 54 30
Fax : +33 1 64 41 93 25
Contact : Vincent Ouriet vincent.ouriet@yara.com
http://ind.yara.fr/fr/industries/food_industry/chill_freeze/cryo_freezing/small_floor.html

SAMIFI

Fabrication de groupe froid et de tunnel de surgélation
RUE JEAN JAURES
61200 ARGENTAN FRANCE
Tel. : 02 33 12 23 50
<http://www.samifi.com/web/menuSbs.do>

Ochlazovací systémy

Société AXIMA REFRIGERATION FRANCE

Siege social : 6 rue de l'Atome

B.P. 9

67801 BISCHHEIM Cedex

Tél : 03.88.19.19.00

Fax : 03.88.19.19.49

e.mail : info@aximaref.com

http://www.aximaref.com/francais/refrigeration/index_refrigeration.php - chladici syste

SINOP

České Budějovice

Tel: 00420 387 203 521

Mail: sinopcb@sinop.cz

<http://www.sinop.cz/cz/clanek/2-Prumyslove-chlazení/83-Kondenzacni-jednotka/175-vnitřni-CUL>

Praxair SAS

Parc d'Affaires SILIC

1 RUE TRAVERSIERE

BP 70402

94573 RUNGIS CEDEX

Tél.: +33 (0) 1.49.78.45.00

Fax: +33 (0) 1.46.75.94.61

<http://www.praxair.fr/praxairfrance.nsf/>

Contacts généraux

Tel: +33.(0)2.33.12.23.50

Fax : +33.(0)2.33.12.23.51

Mail: sbe@samifi.com

<http://www.samifi.com/web/menuScx.do?nodeId=76>

ZA des Garennes - 2 rue Niepce

F 78130 LES MUREAUX

France

Phone +33 (1) 30 22 10 58

Fax +33 (1) 30 22 10 59

Internet www.aero-services.fr

<http://www.evapco.fr/>

SULTRADE Praha s.r.o (Prumyslove chlazení)

Bělohorská 238/85, 169 00

Praha 6

tel.: 00420 **220 518 751-2**

fax: 00420 **220 518 750**

info : sultrade@sultrade.cz

<http://www.sultrade.cz>

Jiné

Air Products S.A.S.

78, Rue Championnet
75881 Paris Cedex 18
France

<http://www.airproducts.fr/>

http://www.airproducts.com/microsite/FreshlineCryogenicSolutions/index_FR.htm

Sales

Mark McMillan

Email: sales@genemco.com

Phone: 979-268-7447

Fax: 979-268-0102

Administrative Offices

Genemco, Inc.

4455 Carter Creek Pkwy. Bryan, TX 77802

Equipment Yard

4513 S. Hwy 281

Edinburg, TX 78539

<http://www.genemco.com/catalog/iqftunnels.html>

Barberán S.A.

C.I.F. A08438194

Inscrita en el Registro Mercantil de Barcelona Tomo 3493 Libro 2849 Sección 2a Folio 150 Hoja 36913

Tel.: 34 93 635 0810

Fax: 34 93 636 1555

Mail: barberan@barberan.com

www.barberan.com

DELISLE, DESPAUX et associés inc.

Experts-Conseils en réfrigération

1900, Rue Côté, suite 102

Québec (Québec)

Canada, G1N 3Y5

Téléphone : (418) 686-0470

Télécopieur : (418) 686-0560

Mail : ingo@ddai.ca

http://www.ddai.ca/Site_DDAI_fr/agro.htm

MESSER FRANCE S.A.S.

25, rue Auguste Blanche

F-92816 Puteaux Cedex

Tél. +33 1 40 80 33 00

Fax +33 1 40 80 33 99

<http://www.messer.fr/>

AIR PRODUCTS S.A.S.

78, Rue Championnet

75881 Paris Cedex 18

Tél.: 0800.480.030

email: frinfo@airproducts.com

<http://www.airproducts.fr/>