

## Řízené rozmrazování potravin\*

KAREL HOKE<sup>1</sup>, LADISLAV KLÍMA<sup>2</sup>, RUDOLF GRÉE<sup>1</sup>, MILAN HOUŠKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Food Research Institute Prague, Prague; <sup>2</sup>Czech Technical University in Prague – Faculty of Mechanical Engineering, Prague, Czech Republic

### Abstract

HOKE K., KLÍMA L., GRÉE R., HOUŠKA M. (2000): **Controlled thawing of foods**. Czech J. Food Sci., **18**: 194–200.

The various ways of thawing of model food made for comparison of these processes from point of view of duration. The experiments were conducted under condition that the surface temperature of the thawed food did not overcome 15°C. Shortest mean time of thawing was achieved for vacuum-steam thawing. Regarding to the regime chosen the time of thawing varied between 18.4–29 min. The similar process of vacuum thawing with steam generated from hot water placed below the food was also successful. For this process the mean time of thawing was predicted between 30.5 and 35 min. If the starting temperature of the water was below the boiling point at vacuum level in the chamber the time of thawing was much longer (about 49 min). For hot air thawing we have tested two regimes with temperature of air 50 and 70°C. For both air temperatures the times of thawing were similar being 52.1 and 53.6 min, respectively. Microwave thawing was depending on the power of microwave oven. The time of thawing was achieved 28.9 min at power level 1, at power level “thawing” the process duration was 34.4 min.

**Key words:** thawing; steam-vacuum thawing; hot air thawing; microwave heating

### Souhrn

HOKE K., KLÍMA L., GRÉE R., HOUŠKA M. (2000): **Řízené rozmrazování potravin**. Czech J. Food Sci., **18**: 194–200.

Byly sledovány různé způsoby rozmrazování modelového materiálu pro porovnání doby rozmrazování při splnění podmínky, že povrchová teplota vzorku nepřesáhne teplotu 15 °C. Nejkratší průměrná doba byla při rozmrazování parou ve vakuu podle zvoleného režimu od 18,4 do 29 min. Při odpařování páry z volné hladiny při režimu rozmrazování s teplotou vody nad bodem varu byly při daném vakuu průměrné doby rozmrazování od 30,5 do 35 minut, při režimu s teplotou vody pod bodem varu při daném vakuu kolem 49 minut. Při horkovzdušném ohřevu byly průměrné doby rozmrazování pro oba režimy (50 a 70 °C) přibližně stejné (52,1 a 53,6 min). Při mikrovlnném ohřevu byly doby rozmrazování závislé na výkonu mikrovlnného zařízení. Při regulačním stupni 1 bylo rozmrazení dosaženo za 28,9 min a při stupni „rozmrazování“ proces trval 34,4 min.

**Klíčová slova:** rozmrazování; rozmrazování parou; horkovzdušný ohřev; mikrovlnný ohřev

Rozmrazování potravin je termodynamický proces, se kterým se můžeme setkat nejen v mnoha odvětvích potravinářského průmyslu, ale i v běžném životě např. v domácnostech. Cílem rozmrazování je docílit takového stavu, aby teplota potraviny byla v každé její části vyšší než je teplota tuhnutí a potravina mohla být zpracována poté co byla delší dobu skladována ve zmrazeném stavu. Mezi nejčastěji používané způsoby rozmrazování v potravinářském průmyslu patří rozmrazování pomocí sprchování vodou, využitím horkého vzduchu a v ČR zřídka mikrovlnné energie. Nezřídka však jsou rozmrazované potraviny ponechány v prostředí místnosti za volné konvekce po

velmi dlouhou dobu, kdy dochází k neřízenému ohřevu povrchu, uvolňování šťávy a nežádoucí kontaminaci. Tento stav nás vedl k tomu, abychom se procesu rozmrazování věnovali podrobněji.

Jedním z možných způsobů řízeného rozmrazování je v současnosti rozmrazování horkovzdušné. Vzhledem k provozním nákladům a ceně zařízení je používáno i přes poměrně dlouhou dobu rozmrazování. Jeho konstrukce je velmi jednoduchá, neboť se jedná pouze o komoru, do které je vháněn horký vzduch. Regulace je většinou prováděna pomocí teplotních čidel umístěných v prostoru a v rozmrazované potravíně. Hodnoty teplot z čidel jsou

\*Tato práce byla vypracována za finanční podpory GA ČR grant č. 101/99/1617 a NAZV grant č. EP 6260.



vyhodnocovány řídicí jednotkou, která ovládá hodnotu teploty vstupujícího média do rozmrazovací komory zařízení (MOREP 1999).

Dalším způsob je rozmrazování mikrovlnné, s nímž se v určitých modifikacích můžeme setkat i v domácnostech v podobě mikrovlnné trouby. Mikrovlnné rozmrazování nachází velké uplatnění především při rozmrazování velkých kusů či v oblasti zvyšování teplot ve vzorku z  $-18$  na  $-4$  °C (temperování). Tato zařízení je možné podle způsobu rozmrazování rozdělit na kontinuální a periodická. Další rozdělení je možné provést podle použité frekvence, při kterých zařízení pracuje. Evropská zařízení užívají frekvenci 2450 MHz a zařízení používaná v USA pracují při frekvenci 915 MHz (DECAREAN, PETERSON 1986; ROSENBERG, BOGL 1987; STEELE 1987). U nás tuto technologii šíří firma Romill (Brno).

Další možností je rozmrazování parou. Hotová zmrazená jídla ( $-18$  °C) z masa, zeleniny a masa a omáčky byla rozmrazována s použitím páry o teplotě 98 °C. Vzorky byly baleny do misek o vnitřní výšce 10–75 mm a vně s 5 mm vrstvou vzduchu. Žádné patrné rozdíly nebyly pozorovány v čase potřebném k ohřevu dvou jídel, když byly zabaleny stejným způsobem. Jídla balená s vrstvou vzduchu potřebovala přibližně o 30 % delší čas k rozmrazení a ohřevu než jídla zabalená vakuově. Kvalita všech vzorků byla vysoká a hmotnostní ztráta zanedbatelná (KARABADZOV 1989).

Další skupinou je rozmrazování pomocí kapalného média. Při těchto způsobech rozmrazování je jako médium většinou používána voda. Vzorky jsou při těchto způsobech buď ponořovány do lázně s různě teplým médiem, které proudí okolo potraviny, nebo jsou tzv. sprchovány (MERTS, LAWSON 1999a, b). Při použití těchto způsobů u vzorků o vyšší hmotnosti (27,2 kg) je důležité dbát na teplotu rozmrazovacího média zejména u rozmrazování sprchováním, abychom předešli vzniku námrazy na povrchu vzorku, čímž by se zhoršil součinitel přestupu tepla.

Dále je také možné zařadit mezi způsoby řízeného rozmrazování tzv. rozmrazování mezi deskami (MERTS, LAWSON 1999a, b). Vzorky jsou vkládány mezi desky, které jsou uvnitř temperovány proudícím kapalným médiem. Tento způsob je poměrně výhodný vzhledem k dobré možnosti řízení procesu.

Z mikrobiologického hlediska je třeba při rozmrazování postupovat tak, aby teplota povrchu potraviny nepřesáhla 10–15 °C. Z hlediska kvality produktu je třeba, aby rozmrazování probíhalo co nejrychleji, aby nedocházelo k nadměrnému uvolňování vody z potravin a oxidaci složek (ke žluknutí tuků nebo změnám barvy u ovoce a zeleniny). Proto je třeba rozmrazování potravin řídit.

Cílem této práce je provést experimentální výzkum různých způsobů rozmrazování a tyto způsoby porovnat z hlediska doby rozmrazování. Současně jsme se snažili zjistit možnosti jak proces řídit tak, aby byly splněny výše uvedené požadavky.

## MATERIÁL A METODY

Řízené rozmrazování bylo experimentálně ověřováno následujícími způsoby:

1. Volné rozmrazování při teplotě místnosti bez nucené konvekce a s nucenou konvekcí.
2. Rozmrazování ve vakuovém vařáku s řízeným vstřikováním páry za různých hodnot podtlaku.
3. Rozmrazování ve vakuovém vařáku, do něhož byla umístěna plochá nádoba s různě teplou vodou při různých hodnotách podtlaku.
4. Rozmrazování v konvektivní horkovzdušné troubě při teplotách proudícího vzduchu asi 50 a 70 °C.
5. Rozmrazování v mikrovlnné troubě při různých režimech.

Jako modelový materiál byla použita bramborová kaše zhotovená z 450 g sušené bramborové kaše rozmíchané v 800 ml vody teplé 20 °C a ve 1 200 ml vroucí vody. Kaše byla míchána elektrickým mixérem (Eta Hlinsko) 1 min při frekvenci stupně 1 a 1 min frekvencí stupně 2. Přesné množství (600 g) bramborové kaše bylo odváženo do kartónové misky o rozměrech dna 120 × 100 mm a výšce 45 mm. Po naplnění kartónové misky byl vzorek bramborové kaše vakuován z důvodu odstranění vzduchu z materiálu vzorku. Po vychladnutí byl vzorek vložen do mrazničky (mrazicí truhla) a uchován při teplotě  $-22$  °C. Po zmrznutí byl vzorek vyjmut z kartónové misky a byly do něho vyvrtány otvory pro zavedení teploměrných sond. Vzorek byl až do provedení experimentu stále v mrazničce.

Teplota modelového materiálu během řízeného rozmrazování byla měřena na povrchu vzorku, ve vrstvě 1 cm pod povrchem a ve středu vzorku (2 cm pod povrchem) v ose vzorku, aby byly eliminovány okrajové rohové přehřívací efekty. Dále byla snímána teplota prostředí, příp. teplota vody při některých měřeních ve vakuovém vařáku.

Při řízeném rozmrazování ve vakuovém vařáku byla průběžně měřena teplota ve třech místech vzorku, teplota prostředí, příp. teplota vody pomocí měřicího přístroje Therm 3420 s automatickým přepojovačem měřicích míst Therm 3435 a tiskárnou Therm 3465. Teplota byla měřena v minutovém intervalu, resp. čtyřminutovém intervalu při delších měřeních pěti termočlánky Fe-Ko 0,2 mm uloženými v kovových jehlách.

Při rozmrazování v mikrovlnné a horkovzdušné troubě byla teplota měřena sondami termometrického systému LUXTRON 755 s čtyřmi optickými kabely. Tři sondy byly instalovány do předem navrtaných otvorů, čtvrtá sonda měřila teplotu okolí.

### Použitá zařízení

**Vakuový vařák:** Vakuový vařák je zkušební zařízení, které slouží pro výzkum řízeného rozmrazování kusovitých potravin s přímým vstřikem páry v kombinaci s užitím vakua. Zařízení se skládá z tlakové horizontálně situované nádoby opatřené izolací (vnitřní průměr 390 mm, délka asi 650 mm) a parametry páry 0,3 MPa/144 °C. Otoč-



né víko s průzorem je upevněno pomocí šroubů. V nádobě je umístěn pevný nosný rošt a kruhový prstenec rozvodu páry s třemi tryskami. Na přívodu páry z vyvíječe páry do prstence je umístěn manometr, pojišťovací ventil a kulový uzavírací ventil. Upravený hadicový nástavec s vakuometrem a uzavíracím kulovým kohoutem dovoluje pomocí tlakové hadice spojit prostor vakuového vařáku s externím systémem kondenzátor – vývěva pro tvorbu požadovaného vakua. Kondenzát je z vakuového vařáku odváděn systémem kondenzačního hrnku. Ve dně vařáku je upravena průchodka pro vývod teploměru Pt 100 a v plášti vařáku průchodka pro pět termočlánků.

**Horkovzdušná trouba:** Pro zkoušky byla použita elektrická stolní teplovzdušná trouba MORA 524. Vytápění pečicí trouby nucenou cirkulací horkého vzduchu je systém, při němž je ventilátorem do pracovního prostoru vháněn horký vzduch ohřátý topným tělesem, který po předání části tepla upravovanému pokrmu je znovu nasáván a ohříván. Ohřev vzduchu je elektrický prostřednictvím topných tyčových těles kruhového tvaru instalovaných kolem ventilátorového kola. Příkon topného tělesa 2500 W při 220 V. Teplota vzduchu je plynule nastavitelná a regulovatelná v rozsahu 50–250 °C pomocí elektronického regulátoru.

**Mikrovlnná trouba:** Pro zkoušky byla použita mikrovlnná trouba pro domácnosti Moulinex FM 2915 Q Micro-Chef se štítkovým výkonem 850 W a objemem 24 l. Zařízení má pět základních výkonových stupňů, čtyři mezistupně, je bez otočného talíře s vyjímatelnou skleněnou policí na dně dutiny a se vstupem mikrovln v jednom místě v zadní části stropu dutiny.

#### Postup měření

**Řízené parovakuové rozmrazování:** Ve vakuovém vařáku byly provedeny opakované zkoušky rozmrazování při různých hodnotách vakua a různém množství páry, nebo byla do vakuového vařáku vkládána nádoba se třemi litry různě teplé vody s cílem zajistit odpar vody z hladiny při vakuu. Jako srovnávací měření bylo provedeno volné rozmrazování při teplotě okolí (přibližně 21 °C) při otevřeném vakuovém vařáku. Při zkouškách s párou byl vzorek po vyjmutí z mrazicí skříně zvážen a pak byl vzorek umístěn v parovakuovém vařáku na rošt a do předem předvrtaných otvorů zasunuty teploměrné sondy. Po uzavření vařáku byla spuštěna vývěva při nastaveném podtlaku (–90 nebo –70 kPa, tj. absolutní tlaky 10 a 30 kPa). Pak byla spuštěna pára buď na maximální výkon (úplně otevřený přívodní kulový kohout), nebo na určitý přetlak vůči výši vakua (např. 30 kPa). Přívod páry byl uzavřen, když teplota povrchu dosáhla experimentálně ověřené hodnoty. Zkouška byla ukončena, když teplota v jádře vzorku překročila 0 °C. Při zkouškách s vodou byl vzorek po vyjmutí z mrazicí skříně zvážen a umístěn v parovakuovém vařáku na rošt a do předem předvrtaných otvorů zasunuty teploměrné sondy. Do vakuového vařáku byla vložena nízká podlouhlá nádoba s 3 l různě teplé vody (přibližně 80, 60 nebo 40 °C). Po uzavření vařáku byla spuštěna vývěva

při nastaveném podtlaku (–90, –70 kPa). Zkouška byla ukončena, když teplota v jádře vzorku překročila 0 °C. Interval měření teploty 1 min, resp. 4 min při rozmrazování za podmínek volné konvekce při teplotě okolí.

**Řízené horkovzdušné rozmrazování:** V horkovzdušné troubě byly provedeny opakované zkoušky rozmrazování za podmínky proudícího vzduchu při pokojové teplotě a dále při teplotě 50 a 70 °C. Po vyjmutí vzorku z mrazicí skříně byl vzorek zvážen, umístěn v horkovzdušné troubě na rošt a do otvorů zasunuty sondy termometrického systému LUXTRON. Po uzavření trouby byl nastaven regulátor teploty na požadovanou hodnotu resp. topení bylo při měření při pokojové teplotě odpojeno. Současně byl spuštěn termometrický systém pro měření teplot ve vzorku a teploty prostředí. Interval měření teplot byl nastaven pro měření při pokojové teplotě na 20 s a u měření s teplotou prostředí 50 a 70 °C na 10 s. Měření bylo ukončeno, když teplota v jádře vzorku byla minimálně +0,5 °C. U měření při pokojové teplotě nedocházelo k žádné regulaci chodu trouby, protože teplota povrchu vzorku dosáhla maximálně 12 °C u všech tří měření. Teplota prostředí se během měření zvýšila o přibližně 5,5 °C vlivem proudění vzduchu. U měření při teplotě prostředí 50 a 70 °C byl chod trouby regulován tak, že při dosažení teploty povrchu vzorku 15 °C byla trouba vypnuta (topení i ventilátor) do doby než teplota povrchu poklesla na 11 °C, kdy byla trouba opět zapnuta (topení i ventilátor) na dobu než teplota povrchu dosáhla opět 15 °C. Toto se opakovalo podle průběhu povrchové teploty až do konce měření.

**Řízené mikrovlnné rozmrazování:** V mikrovlnné troubě byly provedeny opakované zkoušky rozmrazování modelového materiálu při různých výkonech zařízení. Snížení výkonu mikrovlnného zařízení je realizováno pulzním režimem (provoz on–off), kdy ve 30s intervalu část doby pracuje magnetron na plný výkon a zbytek doby intervalu je magnetron vypnut. Při prvních orientačních zkouškách, kdy při různých výkonech byl modelový materiál rozmrazován bez dodatečných zásahů do chodu mikrovlnného zařízení, bylo zjištěno, že teplota povrchu značně přesahuje požadovanou hodnotu (do 15 °C) a že při vyšších výkonech dochází k ohřevu především povrchové vrstvy.

V mikrovlnné troubě byly provedeny opakované zkoušky rozmrazování při dvou různých snížených výkonech zařízení (stupeň rozmrazování – výkon zařízení je přibližně 28 % plného výkonu a stupeň 1 – výkon je asi 60 % plného výkonu). Po vyjmutí vzorku z mrazicí skříně byl vzorek zvážen, umístěn v mikrovlnné troubě do středu skleněné police umístěné na dně dutiny a do předem předvrtaných otvorů zasunuty sondy termometrického systému LUXTRON. Po uzavření trouby byl nastaven regulátor výkonu na požadovanou hodnotu. Současně se spuštěním mikrovlnné trouby byl spuštěn i termometrický systém pro měření teplot ve vzorku a teploty prostředí. Zvolený interval měření teplot byl při všech experimentech 5 s. Regulace chodu mikrovlnné trouby byla prováděna na základě sledování teploty povrchu vzorku. Po dosažení



Tab. 1. Doba rozmrazování a teploty prostředí a povrchu při různých režimech a způsobech rozmrazování – Time of thawing and temperatures of surface and ambient for different regimes and thawing modes

Způsob rozmrazování <sup>1</sup>	Rozmrazovací režim <sup>2</sup>	Doba rozmrazování <sup>3</sup> [min]	Teplota prostředí <sup>4</sup>		Teplota povrchu při rozmrznutí <sup>7</sup> [°C]	Průměrná doba rozmrazování ± výběrová směrodatná odchylka <sup>8</sup> [min]
			maximální <sup>5</sup> [°C]	při rozmrznutí <sup>6</sup> [°C]		
Volné při okolní teplotě <sup>9</sup>	teplota okolí <sup>4</sup> ~ 20 °C	98	20,9	20,7	0,0	102,0 ± 5,6
		106	20,8	20,7	-0,4	
Pára ve vakuu <sup>10</sup>	vakuum 90 kPa pára naplno <sup>14</sup>	14	65,7	35,1	14,7	18,4 ± 3,0
		21	63,4	36,2	14,8	
		16	55,6	34,1	9,5	
		23	61,7	34,3	12,0	
		18	61,7	37,7	10,0	
	vakuum 90 kPa pára 60 kPa (přetlak 30 kPa) <sup>15</sup>	25	40,4	35,0	13,7	25,8 ± 3,0
		29	37,6	27,7	11,8	
		22	37,6	31,5	11,2	
		27	35,1	25,2	13,6	
	vakuum 70 kPa pára naplno <sup>16</sup>	32	56,8	36,6	10,8	23,7 ± 7,2
		20	66,1	45,7	17,2	
		19	65,2	45,5	17,3	
	vakuum 70 kPa pára 40 kPa (přetlak 30 kPa) <sup>17</sup>	32	50,4	33,3	8,8	29,0 ± 3,6
		25	58,7	42,3	10,2	
		30	51,2	35,6	6,8	
Odpařování páry z volné hladiny různě teplé vody ve vakuu <sup>11</sup>	vakuum 90 kPa teplota vody <sup>18</sup> 80°C	30	44,2	23,2	6,6	30,5 ± 0,7
		31	49,5	26,5	13,1	
	vakuum 90 kPa teplota vody <sup>18</sup> 60°C	30	43,9	23,9	4,6	33,0 ± 4,2
		36	34,7	20,3	3,3	
	vakuum 90 kPa teplota vody <sup>18</sup> 40°C	49	24,8	18,8	3,7	49,0 ± 0,0 (jedno měření)
Horkovzdušný ohřev <sup>12</sup>	bez ohřevu vzduchu pouze ventilátor <sup>20</sup>	98,3	28,6	28,6	8,9	96,7 ± 1,5
		95,7	28,5	28,5	7,8	
		96,0	28,0	28,0	9,3	
	regulace teploty vzduchu <sup>21</sup> 50 °C	49,2	59,7	47,9	11,5	52,1 ± 2,7
		52,8	58,8	46,4	11,5	
		54,3	58,9	49,7	12,9	
	regulace teploty vzduchu <sup>21</sup> 70 °C	50,8	77,9	57,8	11,1	53,6 ± 2,4
		54,3	78,3	56,7	12,3	
		55,5	77,7	55,0	12,2	
Mikrovlnný ohřev <sup>13</sup>	regulační stupeň rozmrazování <sup>22</sup>	31,0	35,7	30,6	12,3	34,4 ± 2,5
		33,2	42,6	34,3	11,4	
		35,2	42,2	33,0	11,0	
		38,2	43,9	35,9	13,5	
	1. regulační stupeň <sup>23</sup>	28,4	39,7	36,2	14,0	28,9 ± 2,1
		28,2	40,8	31,5	12,9	
		27,5	44,1	34,8	13,4	
		31,5	47,2	34,6	12,6	

<sup>1</sup>thawing mode; <sup>2</sup>thawing regime; <sup>3</sup>thawing time; <sup>4</sup>ambient temperature; <sup>5</sup>maximum; <sup>6</sup>at time of thawing; <sup>7</sup>surface temperature at thawing time; <sup>8</sup>mean ± standard deviation of time of thawing; <sup>9</sup>free thawing at room temperature; <sup>10</sup>steam at vacuum; <sup>11</sup>evaporation of water from water bath with various temperature; <sup>12</sup>hot air thawing; <sup>13</sup>microwave thawing; <sup>14</sup>vacuum 90 kPa, steam full flow; <sup>15</sup>vacuum 90 kPa, steam 60 kPa (overpressure 30 kPa); <sup>16</sup>vacuum 70 kPa, steam full flow; <sup>17</sup>vacuum 70 kPa, steam 40 kPa (overpressure 30 kPa); <sup>18</sup>vacuum 90 kPa, water temperature; <sup>19</sup>vacuum 70 kPa, water temperature; <sup>20</sup>without heating – only forced convection induced by ventilator; <sup>21</sup>air temperature control; <sup>22</sup>thawing



povrchové teploty 15 °C byla mikrovlnná trouba vypnuta až do doby než povrchová teplota klesla na 10 °C, při této povrchové teplotě byla mikrovlnná trouba opět zapnuta na dobu než povrchová teplota dosáhla opět 15 °C. To se opakovalo podle průběhu povrchové teploty až do konce měření. Měření bylo ukončeno když teplota v jádře vzorku dosáhla minimálně 0,5 °C. Přesnost stanovení teploty při všech použitých technikách měření lze odhadnout na  $\pm 0,1$  °C.

### VÝSLEDKY A DISKUSE

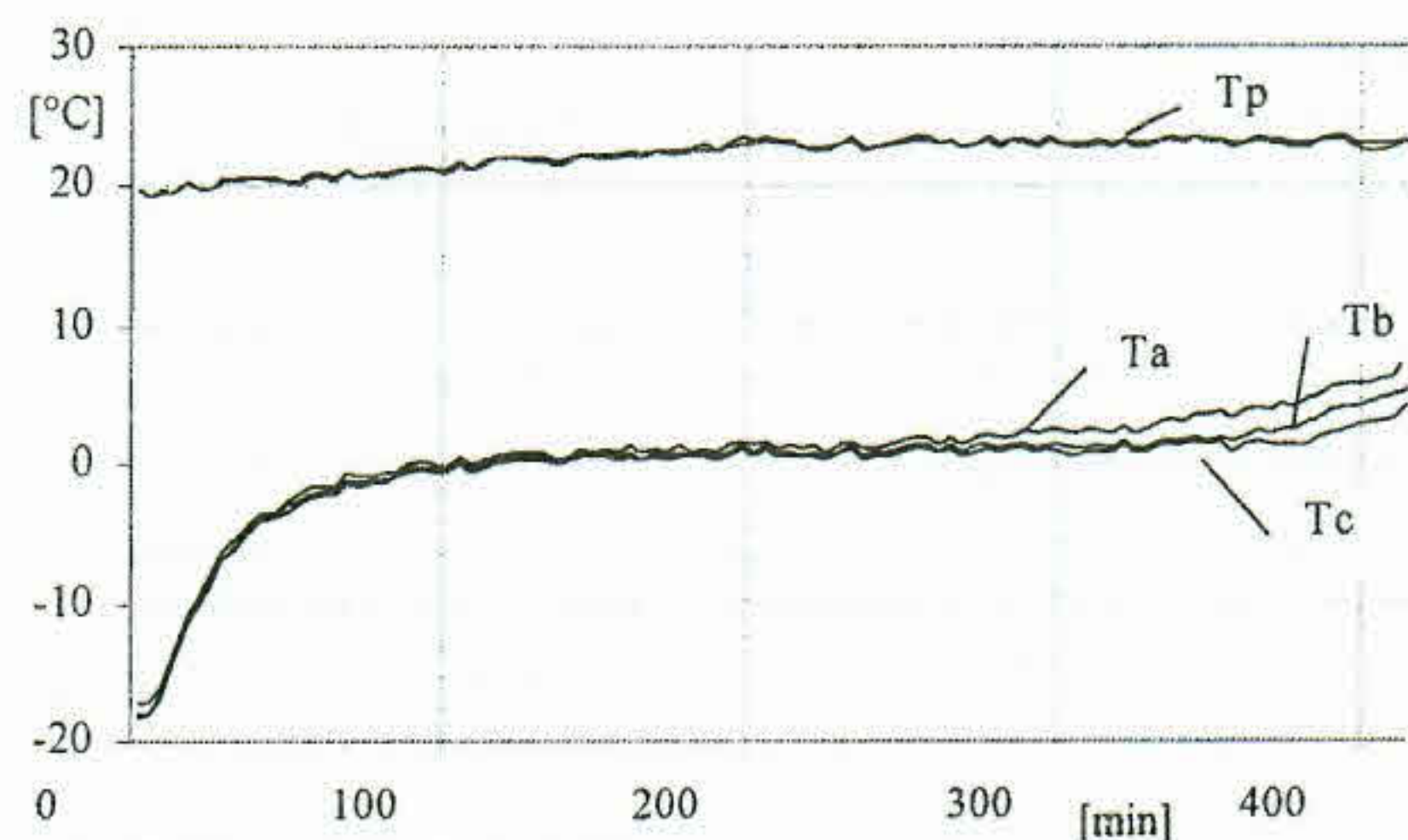
Vyhodnocení doby rozmrazování bylo provedeno z experimentálních dat. Jako výchozí srovnávací teplota pro začátek procesu rozmrazování byla zvolena teplota v jádře vzorku –15 °C, aby byly eliminovány různé počáteční teploty v jádře vzorku (–22 až –15 °C). Doba rozmrazení byla vztažena k okamžiku, kdy teplota v jádře byla vyšší než výpočtem (ALLEN *et al.* 1997) odhadnutá teplota mrznutí bramborové kaše (–1 °C). K výpočtu použit program Costherm2, do něhož byly dosazeny výsledky chemické analýzy kaše (voda 82,7 %, sacharidy 15,2 %, bílkoviny 1,2 %, tuky 0,4 %, minerály 0,5 %). Doba rozmrazení nastala v okamžiku když teplota v jádře překročila teplotu –1 °C a ještě minimálně další tři experimentálně zjištěné hodnoty teploty byly vyšší než –1 °C. Dále byla vyhodnocena maximální teplota prostředí během rozmrazování, teplota prostředí a teplota povrchu vzorku při rozmrazení (tab. 1).

Z naměřených hodnot byl pro každou zkoušku rozmrazování zpracován grafický záznam časového vývoje teplot prostředí a modelového materiálu. Na obr. 1 je grafický záznam volného rozmrazování modelového materiálu při teplotě okolí – teplota prostředí kolem 20 °C. Z grafu je patrné, že vzorek se ohřívá stejnoměrně ve všech vrstvách. Na obr. 2 jsou zachyceny teploty při řízeném rozmrazování ve vakuovém vařáku při podtlaku – 90 kPa a při vstřiku páry při plném otevření kulového ventilu do doby, kdy teplota povrchu dosáhla 2 °C. Teplota prostředí při vstřiku páry rychle stoupá až na teplotu 55,6 °C a po uzavření

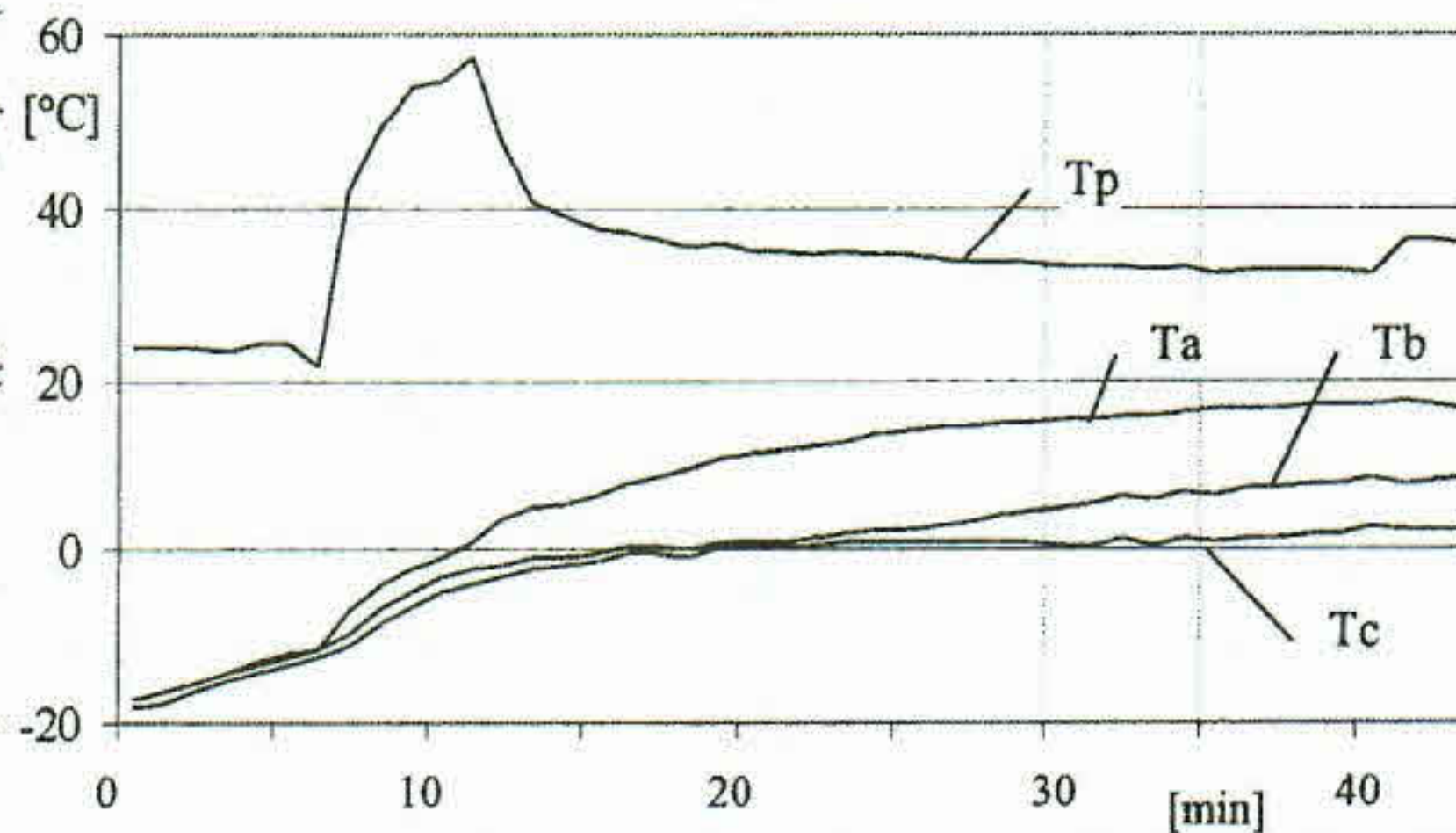
přívodu páry zpočátku rychle klesá, a dále je její pokles pomalý. Teplota povrchu vzorku po spuštění páry roste a její vzrůst pokračuje i po vypnutí přívodu páry. Obr. 3 dokumentuje vývoj teplot při řízeném rozmrazování modelového materiálu ve vakuovém vařáku při vakuu – 90 kPa a odpařování páry z volné hladiny při výchozí teplotě vody cca 80 °C. Teplota vody do zapojení vakua mírně klesá, po zavedení vakua prudce klesá až ke 30 °C, a dále klesá mírně k hodnotě 20 °C. Teplota prostředí roste vlivem ohřevu od vody, po zapojení vakua vlivem odpaření části vody vzroste, a potom klesá. Její hodnota je po celou dobu nižší než teplota vody. Teplota povrchu vzorku postupně roste a s přibývajícím dobou je její vzestup pomalejší. Na obr. 4 je zobrazen průběh teplot při řízeném rozmrazování modelového materiálu v horkovzdušné troubě MORA 524 s nastavenou regulací teploty vzduchu na 70 °C. Z obrázku je vidět způsob řízení rozmrazování, který je zde reprezentován viditelnými píky na křivkách teplota povrchu vzorku a teplota prostředí. Po vypnutí horkovzdušné trouby při dosažení teploty povrchu vzorku 15 °C vnitřní vrstvy vzorku stačí povrch vzorku zchladit tak, že po poklesu teploty povrchu na 11 °C lze zařízení opět zapnout až do dosažení teploty povrchu 15 °C. To se opakuje do rozmrazení vzorku. Na obr. 5 je zobrazen průběh teplot při řízeném rozmrazování modelového materiálu v mikrovlnné troubě Moulinex 850 W s nastavenou regulací výkonu na stupeň jedna (60 % plného výkonu). Způsob řízení rozmrazování je obdobný jako u horkovzdušné trouby. Po vypnutí mikrovlnné trouby při dosažení teploty povrchu vzorku 15 °C vnitřní vrstvy vzorku stačí povrch vzorku zchladit tak, že po poklesu teploty povrchu na 10 °C lze zařízení opět zapnout. To se opakuje do rozmrazení vzorku.

Při porovnání jednotlivých režimů z hlediska doby rozmrazování jsme dospěli k těmto závěrům:

Při rozmrazování parou ve vakuu doba rozmrazování závisí na velikosti vakua a na množství dodané páry. Při snižování vakua a stejném režimu dodávky páry do dosažení určité teploty povrchu vzorku se průměrná doba rozmrazování prodlužuje a teplota prostředí se v průměru

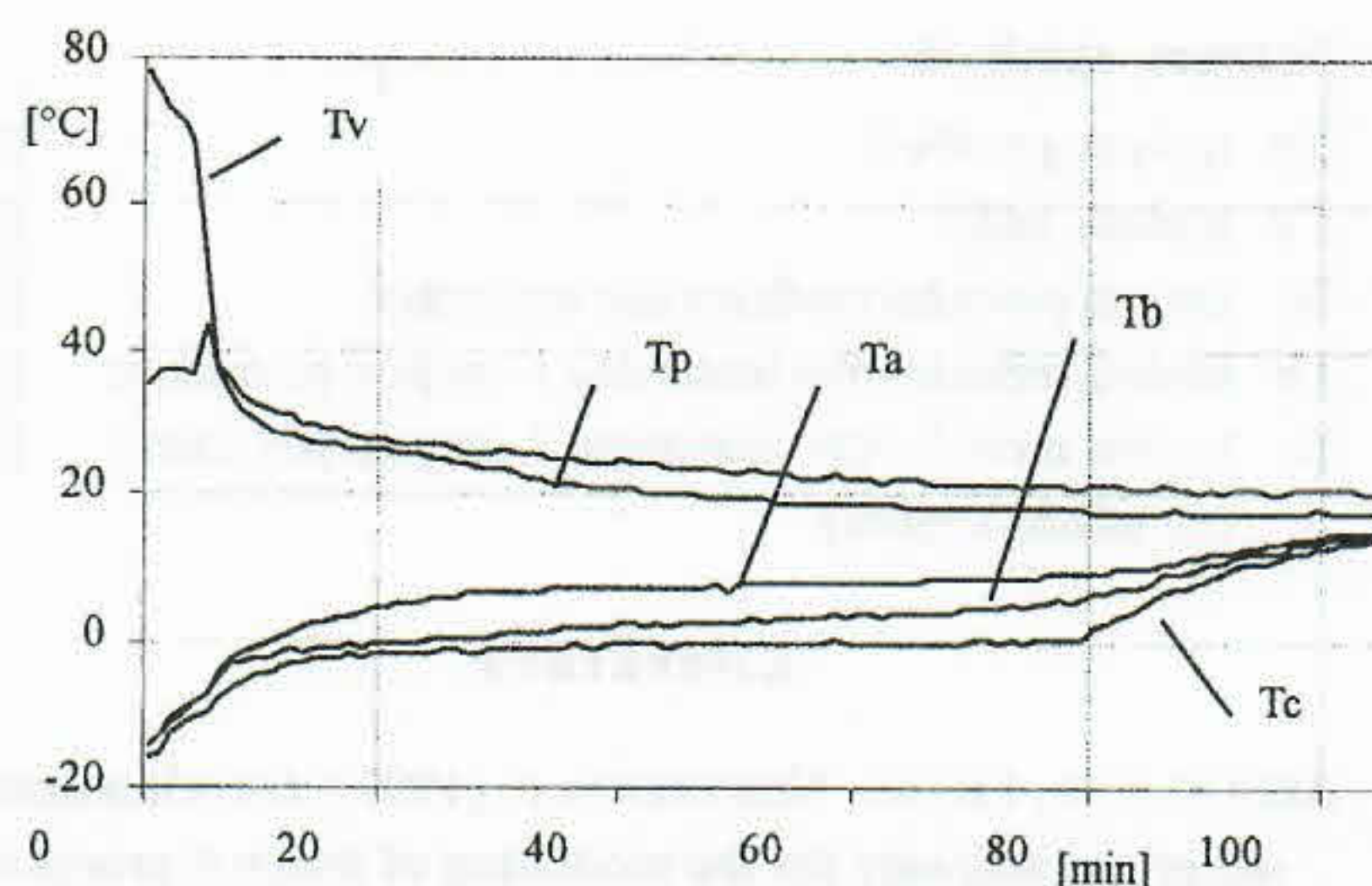


1. Volné rozmrazování bramborové kaše při okolní teplotě prostředí kolem 20 °C – Thawing of mashed potatoes at free convection at ambient temperature cca 20 °C

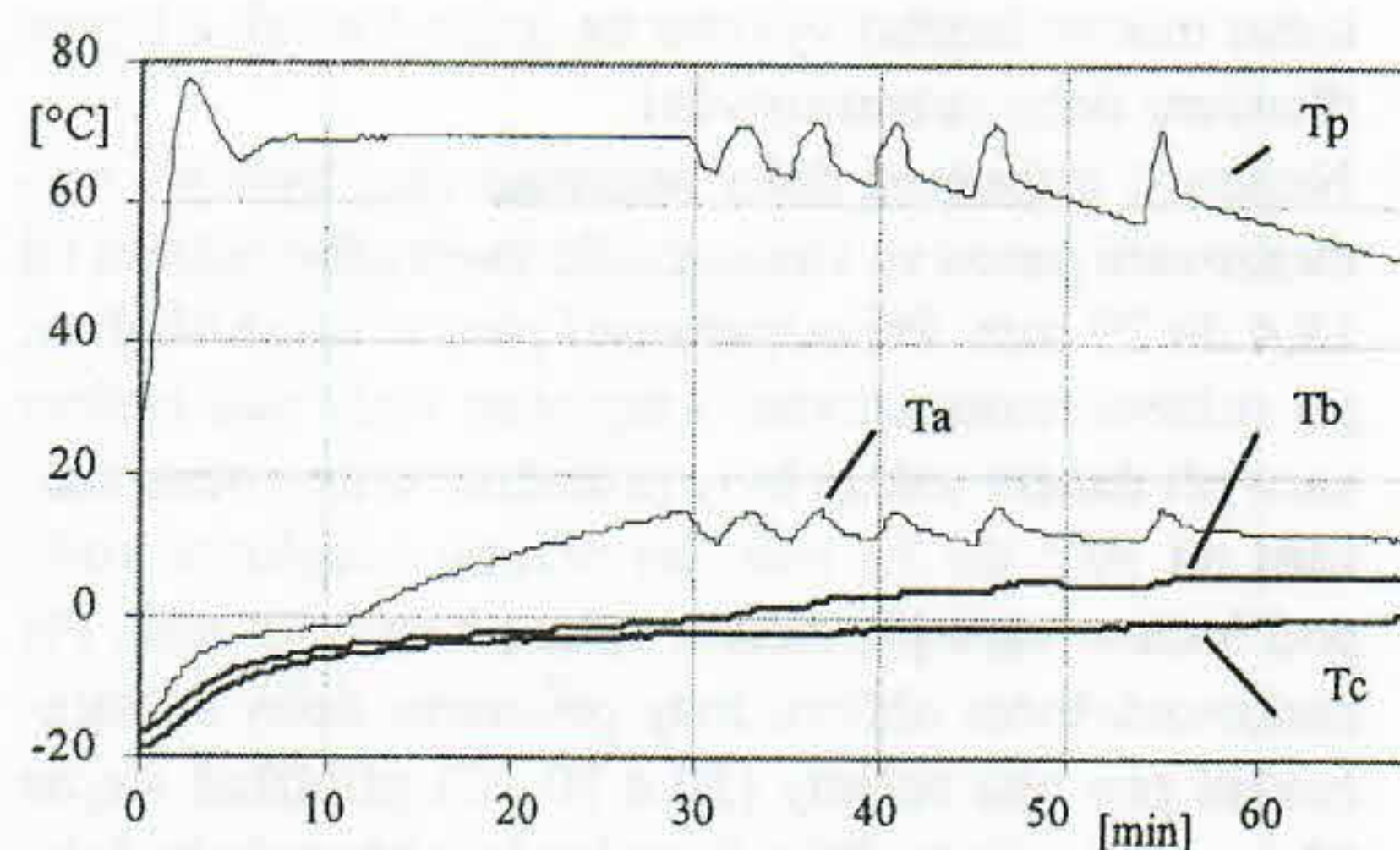


2. Řízené rozmrazování bramborové kaše ve vakuovém vařáku (vakuum –90 kPa, pára naplno do dosažení teploty povrchu 2 °C) – Controlled thawing of mashed potatoes in vacuum cooker (vacuum –90 kPa, steam flow full until surface temperature reaches 2 °C)





3. Řízené rozmrazování bramborové kaše ve vakuovém vařáku (vakuum  $-90$  kPa, odpařování páry z volné hladiny, teplota vody asi  $80$  °C) – Controlled thawing of mashed potatoes in vacuum cooker (vacuum  $-90$  kPa, evaporation of water from water bath, water temperature cca  $80$  °C)



4. Řízené rozmrazování bramborové kaše v teplovzdušné troubě Mora 524 (regulace teploty vzduchu  $70$  °C) – Controlled thawing of mashed potatoes in convective oven Mora 524 (air temperature controlled at  $70$  °C)

zvyšuje – vzniká nebezpečí překročení maximální teploty povrchu (měření v režimu vakuum  $-70$  kPa, pára naplno). Velké rozdíly mezi jednotlivými měřeními při jednom režimu způsobila hlavně ruční regulace přívodu páry kulovým ventilem a kolísání tlaku páry ve vyvíječi páry. Nejkratší průměrná doba rozmrazování  $18,4$  min byla při režimu vakuum  $-90$  kPa, pára naplno.

Při režimu odpařování páry z volné hladiny při různé teplotě vody je zřejmé, že doba rozmrazování závisí na teplotě vody a hodnotě vakua, resp. na závislosti teploty vody a teplotě varu při určitém vakuu. Čím je teplota vody vyšší než bod varu při daném vakuu, tím více páry se uvolní a doba rozmrazování je kratší. V případě, že teplota vody je pod bodem varu při daném vakuu, je vliv na zkrácení doby rozmrazování menší – zvýší se jen teplota prostředí a prostředí má větší vlhkost. Pro ilustraci lze uvést, že teplota varu vody je při vakuu  $-90$  kPa  $45,5$  °C a  $-70$  kPa  $68,7$  °C. Nejkratší průměrná doba rozmrazování  $30,5$  min byla při režimu vakuum  $-90$  kPa a teplota vody  $80$  °C.

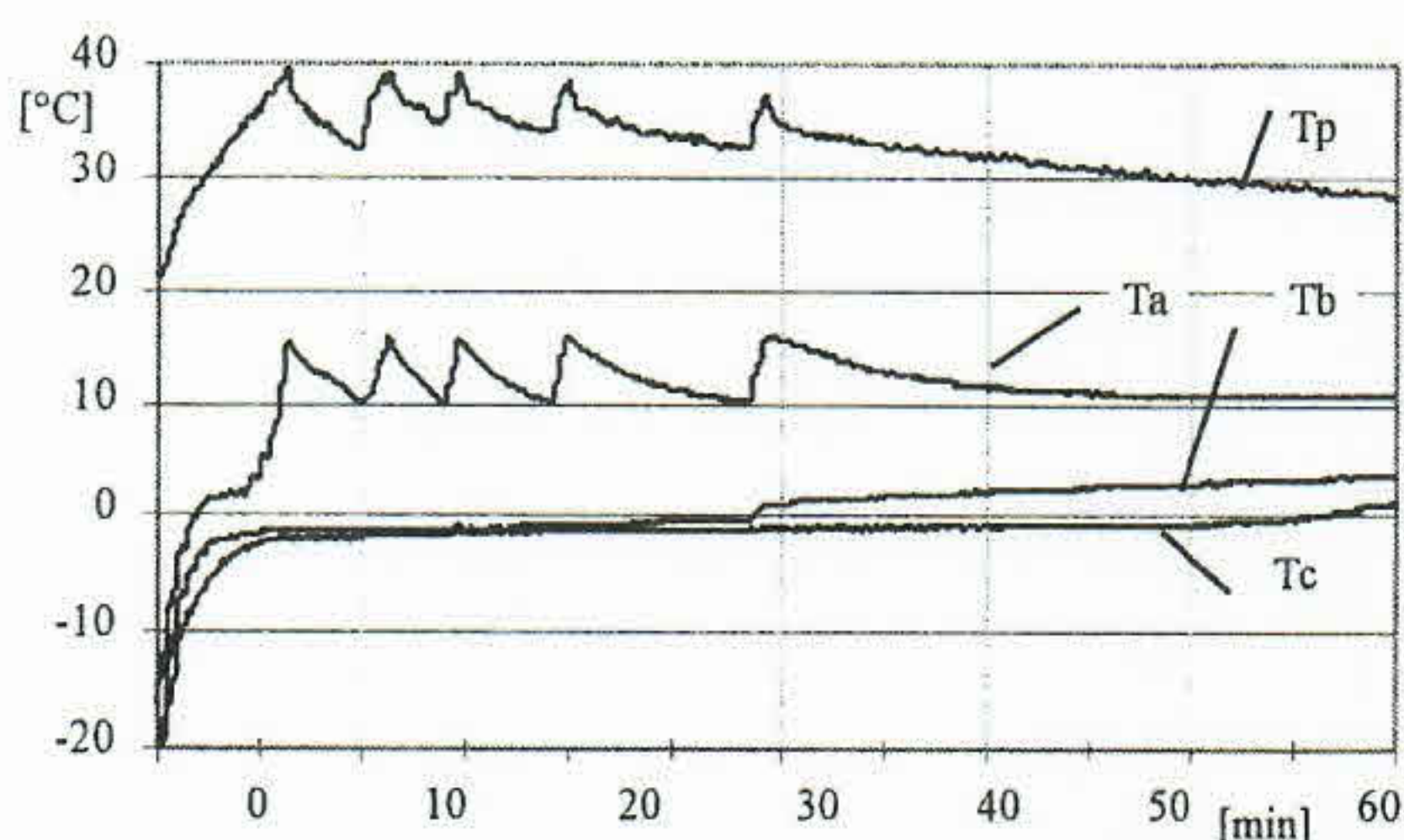
Při horkovzdušném rozmrazování nebyly pro oba režimy (teplota cirkulujícího vzduchu  $50$  a  $70$  °C) zjištěny větší

rozdíly v době rozmrazování, což je pravděpodobně v důsledku regulace chodu horkovzdušného zařízení podle teploty povrchu vzorku (vypnutí chodu při dosažení povrchové teploty vzorku  $15$  °C). Nejkratší průměrná doba rozmrazování  $52,1$  min byla při teplotě cirkulujícího vzduchu  $50$  °C. Při režimu bez ohřevu vzduchu se zapnutým ventilátorem došlo k malému snížení doby rozmrazování proti volnému rozmrazování při teplotě okolí ( $96,7$  proti  $102$  min).

Při mikrovlnném rozmrazování docházelo k rychlému nárůstu teplot k hodnotám mezi  $-5$  a  $-2$  °C, a pak se proces rozmrazování velmi rychle zpomalil vzhledem k prudkým změnám fyzikálních i dielektrických parametrů vzorku okolo bodu tání. Doba rozmrazování se snižuje se zvětšováním výkonu mikrovlnného zařízení. Nejkratší průměrná doba rozmrazování byla  $28,9$  min při použití regulačního stupně jedna. U tohoto způsobu může dojít k místnímu přehřátí zejména v rozích potraviny.

### Závěry

1. Výsledky experimentů se vztahují jen k danému modelovému materiálu daného tvaru a velikosti a k použitým zařízením.
2. Do použitých zařízení byl vložen vždy jen jeden vzorek modelového materiálu. Při větším počtu vložených vzorků by docházelo při rozmrazování parou ve vakuu k ovlivnění teploty prostředí, k jinému nárůstu teploty povrchu vzorku a tím i ke změně regulace přívodu páry. Při odpařování páry z volné hladiny by za vakua docházelo k poklesu množství páry na jeden vzorek, k poklesu teploty prostředí a tím k prodloužení doby rozmrazování. Při horkovzdušném ohřevu by za těchto podmínek došlo k pozdějšímu dosažení potřebné teploty prostředí a k rychlejšímu poklesu jak teploty prostředí, tak povrchu vzorku při regulaci chodu trouby (vypnutí horkovzdušné trouby). Při mikrovlnném ohřevu při stejném regulačním stupni by došlo k po-



5. Řízené rozmrazování bramborové kaše v mikrovlnné troubě Moulinex 850 W (regulační stupeň 1 60 % plného výkonu) – Controlled thawing of mashed potatoes in microwave oven Moulinex 850 W (heating regime step 1– 60% of power)



klesu mikrovlnného výkonu na jeden vzorek a k prodloužení doby rozmrazování.

3. Nejkratší průměrná doba rozmrazování byla při rozmrazování parou ve vakuu podle zvoleného režimu od 18,4 do 29 min. Při odpařování páry z volné hladiny, při režimu rozmrazování s teplotou vody nad bodem varu při daném vakuu byly průměrné doby rozmrazování od 30,5 do 35 min, při režimu s teplotou vody pod bodem varu při daném vakuu kolem 49 min. Při horkovzdušném ohřevu byly průměrné doby rozmrazování pro oba režimy (50 a 70 °C) přibližně stejné 52,1 a 53,6 minuty. Při mikrovlnném ohřevu byly doby rozmrazování závislé na výkonu mikrovlnného zařízení – při regulačním stupni jedna 28,9 a při regulačním stupni rozmrazování 34,4 min.
4. Míra reprodukovatelnosti získaných výsledků může být u rozmrazování parou ovlivněna množstvím dodané páry ruční regulací a kolísáním tlaku páry ve vyvíječi páry, u odpařování páry z volné hladiny přesnou teplotou vody, resp. rozdílem teploty vody a bodem varu při daném podtlaku a teplotou zařízení (část tepla se spotřebuje na ohřev prostředí v zařízení a část páry zkondenzuje na stěnách zařízení), při horkovzdušném ohřevu nastavením přesné teploty prostředí a u mikrovlnného ohřevu kolísání mikrovlnného výkonu v závislosti na napětí v elektrické síti. Reprodukovatelnost výsledků může ovlivnit i přesné umístění teploměrných sond ve vzorku a hmotnost jednotlivých vzorků.

#### Seznam symbolů

$T_p$	teplota prostředí	[°C]
$T_v$	teplota vody	[°C]
$T_a$	teplota povrchu modelového materiálu	[°C]
$T_b$	teplota modelového materiálu 1 cm pod povrchem	[°C]
$T_c$	teplota modelového materiálu 2 cm pod povrchem (ve středu vzorku)	[°C]

#### Literatura

- ALLEN A. R., LIU M., NESVADBA P. (1997): Development of integrated software for the modelling of thermal processing of foods. In: Proc. Conf. Modelling of Thermal Properties and Behaviour of Foods during Production, Storage and Distribution. Prague.
- DECAREAN R. V., PETERSON R. V. (1986): Microwave Processing and Engineering. VCH, London.
- KARABADZOV O. (1989): Rozmrazování hotových jídel parou. *Khranitelna Prom.*, **38**: 21–23.
- MERTS I., LAWSON C. R. (1999a): Thawing meat by water immersion and water spray. In: 20<sup>th</sup> Int. Congr. Refrigeration, IIR/IIF. Sydney, Paper No. 349.
- MERTS I., LAWSON C. R. (1999b): A comparison of air, water and plate thawing methods for meat. In: 20<sup>th</sup> Int. Congr. Refrigeration, IIR/IIF. Sydney, Paper No. 379.
- MOREP (1999): Firemní prospekt Morep Process Systems Limited. Halifax, West Yorkshire, England.
- ROSENBERG U., BOGL W. (1987): Microwave thawing, drying and baking in the food industry. *Food Techn.*: 85–89.
- STEELE R. J. (1987): Microwaves in the food industry. CSIRO Division Food Res., **47**: 73–78.

Došlo 12. 1. 2000

Přijato k publikování 25. 9. 2000

#### Kontaktní adresa:

Ing. MILAN HOUŠKA, CSc., Výzkumný ústav potravinářský Praha, Radiová 7, 102 31 Praha 10-Hostivař, Česká republika, tel.: + 420 2 72 70 23 31, fax: + 420 2 72 70 19 83, e-mail: m.houska@vupp.cz