

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH  
INFORMACÍ

**POTRAVINÁŘSKÉ VĚDY**  
**FOOD SCIENCES**

**5**

ROČNÍK 14  
PRAHA 1996  
CS ISSN 0862-8653

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

Abstracts from the journal is comprised in Agrindex of FAO (AGRIS database), Food Science and Technology Abstracts, Dairy Science Abstracts, Chemical Abstracts, PASCAL – CD-ROM (INIST), WLAS, TOXILINE PLUS and Czech Agricultural Bibliography.

## **Editorial board - Redakční rada**

### **Head of the Editorial Board – Předseda**

Ing. Zeno Šimůnek, CSc.

### **Members of the Editorial Board – Členové redakční rady**

Ing. Miloslav Adam, CSc., Ing. Luisa Benešová, prof. Ing. Dušan Čurda, CSc.,  
prof. Ing. Jiří Davídek, DrSc., Ing. Jan Drbohav, CSc., Ing. Jiřina Houšová, CSc.,  
prof. Ing. Ivo Ingr, DrSc., prof. Ing. Jan Pokorný, DrSc.,  
prof. Ing. Mojmír Rychtera, CSc., Ing. Olga Štiková, CSc.,  
MUDr. Bohumil Turek, CSc.

### **Foreign Members of the Editorial Board – Zahraniční členové redakční rady**

Dr. R. Battaglia (Switzerland), Dr. Milan Kováč (Slovak Republic),  
Prof. Dr. Alexander Pribela, DrSc. (Slovak Republic)

### **Editor-in-chief – Vedoucí redaktorka**

RNDr. Marcela Braunová

**Aim and scope:** The journal publishes original scientific papers, short communications, and selectively reviews, that means papers based on the study of technical literature and reviewing knowledge in the given field. Published papers are in Czech, Slovak or English.

**Subscription information:** Subscription orders can be entered only by calendar year and should be sent to the contact address.

Subscription price for 1996 is 264 Kč, 66 USD (Europe) and 70 USD (overseas)

**Periodicity:** The journal is published six times a year.

**Contact address:** Slezská 7, 120 56 Prague 2, Czech Republic,

tel.: 42 2 25 10 98; fax: 42 2 25 70 90; E-mail: braun@uzpi.agrec.cz

## STABILITY OF SELECTED VITAMINS AND MINERALS DURING CULINARY TREATMENT OF LEGUMES

*Eva MAŠKOVÁ, Jana RYSOVÁ, Vlasta FIEDLEROVÁ, Marie HOLASOVÁ,  
Slavomíra VAVREINOVÁ*

*Food Research Institute Prague, Prague, Czech Republic*

**Abstract:** The stabilities of thiamin, riboflavin, vitamin B<sub>6</sub>, niacin, total tocopherols and minerals (K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn) were determined during culinary treatment (classical cooking and pressure cooking) and microwave processing of lentils, beans, peas and soybean. The highest retentions of the monitored factors were found in culinary treatment of lentils, the lowest retention occurred in soybean. The retention of thiamin after the culinary treatment of legumes varied within the range 32-105%, in riboflavin it reached 72-111%. Vitamin B<sub>6</sub> was stable at treatment of lentils, the lowest (53%) retention was ascertained during cooking of soybean. The decrease in niacin retention (in some cases up to 50%) was mainly caused by vitamin extraction into the aqueous phase. The retention of total tocopherols was not affected by the culinary treatment and it never decreased under 88%. The decrease in the retention of minerals amounting up to 66% that was observed in K, Zn and P and in some cases also in Fe and Cu, was due to extraction into the aqueous phase. The microwave processing was not suitable for treatment of beans, peas and soybean owing to high losses of the water-soluble factors at practically no saving of time and energy.

retention; total tocopherols; thiamin; riboflavin; vitamin B<sub>6</sub>; niacin; minerals; culinary treatment of legumes

Legumes represent a good source of basic nutrients especially of proteins and also of vitamins and minerals. The consumption of legumes is always preceded by their culinary treatment. The procedure applied can have an important effect on the contents of nutrients.

The data on losses of these factors (that occur during the culinary treatment and are due to decomposition of labile vitamins and extraction of the water-soluble components) are of utmost relevance in the ascertainment of saturation of population with the individual nutrients. The values available differ significantly and they depend not only on the type and quality of the legume but also on the method of processing, heat conditions and last but not least

also on the method of determination of retention after the culinary treatment (Murphy et al., 1975). Matthews (1989) gives for instance a wide range of vitamin (6–96%) and mineral (26–99%) retentions after culinary treatment.

In our investigation we monitored the retentions of thiamin, riboflavin, vitamin B<sub>6</sub>, niacin, total tocopherols and minerals (K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn) during culinary treatment of lentils, beans, peas and soybean. The work was focused on ordinary procedures (classical cooking, pressure cooking) and microwave processing.

## MATERIAL AND METHODS

Survey of the raw-materials applied and of the conditions of heat treatment of the legumes is shown in Table I. The legumes were purchased in normal retail sale. Ordinary kitchenware including the pressure cooker was used. The microwave treatment was carried out in Moulinex microwave oven (output 850 W, level III). Double mass amount of drinking water was always used for the culinary treatment and water was added during the processing at a minimum necessary amount and finally the excessive water was discarded.

I. Survey on materials applied and on conditions of heat processing of legumes

Type and mass	Time of soaking [h]	Procedure	Time of treatment [min]
Edible lentils ( <i>Lens culinaris</i> Mack.) 250 g	3	cooking	40
	–	pressure cooker	25
	3	microwaves	15
Common bean ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) 250 g	15	cooking	75
	–	pressure cooker	50
	17	microwaves	60
Peas ( <i>Pisum sativum</i> L.) 250 g	16	cooking	45
	–	pressure cooker	40
	16	microwaves	60
Soybean ( <i>Glycine max</i> L.) 250 g	16	cooking	165
	–	pressure cooker	60
	16	microwaves	70

Samples of raw and heat treated materials were – after homogenization in a mixer – used for the following analyses:

- thiamin: thiochrome method (AOAC);
- riboflavin: lumiflavin method (AOAC);
- vitamin B<sub>6</sub>: microbiological assay with *Saccharomyces uvarum* ATCC 9080 (AOAC);
- niacin: microbiological assay with *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 (AOAC);
- vitamin E (total tocopherols –  $\alpha$ ,  $\gamma$  and  $\delta$ -tocopherols): alkaline saponification and HPLC method (stationary phase – Separon SGX, 7 mm, column – 250 x 4 mm, mobile phase – n-hexane–2-propanol (9 : 1), flow-rate – 1 ml/min, fluorescence detection  $\lambda_{\text{exc}} = 290 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{em}} = 330 \text{ nm}$ );
- minerals: dry mineralization (520 °C, HNO<sub>3</sub> digestion,  $c = 1 \text{ mol/dm}^3$ ) flame-AAS – K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, spectrophotometry of P.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results of analyses of raw legumes are shown in Table II. The values for the individual nutrients are in the case of legumes considerably affected by the cultivar, the region of cultivation and the procedures of post-harvest storage.

Tables III – VI illustrate the retention values of the monitored vitamins and minerals at various procedures of culinary treatment of lentils, beans, peas and soybean. These values represent an average of analyses of two independent culinary treatments. They were calculated on the basis of mass balance and are related to the concentrations of these factors in the original legume – the true nutrient retention (Murphy et al., 1975). The values of retentions determined after the culinary treatment of peas and soybean by

II. Vitamin and mineral contents in raw legumes [mg/100 g]

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>6</sub>	Niacin	E	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	P
Lentils	0.35	0.15	0.43	2.3	traces	937	76	73.2	5.0	0.66	3.2	332
Beans	0.49	0.14	0.35	1.7	4.6	1269	165	103.3	4.7	0.66	2.9	382
Peas	0.88	0.12	0.05	2.6	9.0	1056	73	64.5	4.2	0.50	2.9	448
Soybean	0.86	0.26	0.46	1.7	31.9	1607	260	109	8.7	1.04	3.6	607

## III. Retentions of vitamins and minerals in lentils after culinary processing [%]

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>6</sub>	Niacin	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	P
Cooking	71	97	104	87	75	118	103	129	105	104	88
Pressure cooking	96	111	108	102	95	125	106	133	107	103	97
Microwave processing	105	103	111	101	94	114	107	132	115	84	93

microwave processing are not given owing to the fact that we did not obtain any meal suitable for consumption even after 60 min of processing. Nonhomogeneous heating of the legume layer occurred, the consumption of cooking water was high and thus also the extraction of the water-soluble factors set in to a high extent.

The results showed that the retention of thiamin decreased to 32–96% at all procedures of culinary treatment of legumes with the exception of lentils and the classical processing appeared to be more sparing. Matthews (1989), Haytowitz et al. (1983), Augustin et al. (1981) and Deshpande et al. (1990) found nearly identical values of retention during cooking of beans and lentils as we did in our investigation.

Riboflavin is – in comparison with thiamin – more stable and an eventual decrease of its content is explained by extraction into water during swelling and cooking. The retention in culinary treatment varied in the range of 72 to 111%, the highest reduction of retention was observed in soybean during processing in a pressure cooker. Retention approximating to 100% was determined by Haytowitz et al. (1983) in cooking of lentils. Augustin et al. (1981) found 60–90 % decrease of retention in beans and the same results were described by Matthews (1989) and Deshpande (1990).

## IV. Retentions of vitamins and minerals in beans after culinary processing [%]

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>6</sub>	Niacin	E	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	P
Cooking	73	99	100	79	93	94	118	106	95	81	82	106
Pressure cooking	42	98	90	90	91	97	120	104	96	90	93	105
Microwave processing	49	81	69	56	93	67	117	91	84	88	66	100

Vitamin B<sub>6</sub> was stable in culinary treatment of lentils and beans whereas in soybean the retention decreased up to 50% at processing in the pressure cooker. The content of vitamin B<sub>6</sub> was negligible in raw peas and therefore its retention was not followed during culinary treatment. Ekanayake et al. (1990) and Matthews (1989) give retentions near 90% in culinary treatment of beans and lentils. Lower retentions were, however, found by Haytowitz et al. (1983), Raab et al. (1973) and Augustin et al. (1981).

A decrease in niacin retention up to 50% is caused by extraction of this vitamin into the water used for cooking. The shorter processing in a pressure cooker in comparison with the classical procedure had an effect on the increase of niacin retentions in lentils, peas, beans but not in soybean. The values of retentions obtained are comparable with the data of the authors: Colakoglu et al. (1986), Haytowitz et al. (1983), Matthews (1989) and Augustin et al. (1981). Other relationships were, however, observed by Vidal-Valverde et al. (1991).

#### V. Retentions of vitamins and minerals in peas after culinary processing [%]

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	Niacin	E	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	P
Cooking	81	106	67	88	81	118	102	97	87	92	81
Pressure cooking	44	96	87	98	99	115	100	100	100	101	90

The retention of total tocopherols was not affected by the type of culinary treatment and it never decreased under 88%. Only sporadic data are available on tocopherol losses during culinary treatment of legumes. Similar relationships as those described in this paper were observed by Grela et al. (1993). The microwave processing, on the contrary, led to approximately 40% losses of tocopherols (Yoshida et al., 1989).

#### VI. Retentions of vitamins and minerals in soybean after culinary processing [%]

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>6</sub>	Niacin	E	K	Mg	Fe	Cu	Zn	P
Cooking	53	87	77	86	92	88	96	81	104	95	97
Pressure cooking	32	72	53	49	100	69	86	71	105	98	93

The cooking of legumes did not cause substantial losses of minerals. The retention decrease observed for K, Zn and P that reached exceptionally up to 66%. It was caused by extraction into the aqueous phase. The retentions ascertained were affected by the drinking water and the kitchenware applied. This explains the large variation range of retentions in the culinary treatment of legumes estimated by other authors (Meiners et al., 1976; Matthews, 1989; Augustin et al., 1981).

It might be summarily stated that the highest retentions of nutrients were observed during culinary processing of lentils and the lowest retentions of all factors monitored were found in soybean. The microwave processing was not suitable for culinary treatment of beans, peas and soybean owing to the nonhomogenous heating and the large losses of water-soluble factors without any saving of time and energy. The retention of tocopherols was not affected by the type of culinary treatment.

### References

- AUGUSTIN, J. – BECK, C. B. – KALBFLEISCH, G. – KAGEL, L. C. – MATTHEWS, R. H.: Variation in the vitamin and mineral content of raw and cooked commercial *Phaseolus vulgaris* classes. *J. Food Sci.*, 46, 1981: 1701–1706.
- COLAKOGLU, M. – OETLES, S.: Verhalten des Niacins bei verschiedenen Kochprozessen von Gartenbohnen (*Phaseolus vulgaris* L.). *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.*, 77, 1986: 605–608.
- DESHPANDE, S. S. – DAMODARAN, S.: Food legumes: chemistry and technology. *Advances in cereal science and technology*. X. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul 1990.
- EKANAYAKE, A. – NELSON, P. E.: Effect of thermal processing on lima bean vitamin B<sub>6</sub> availability. *J. Food Sci.*, 55, 1990: 154–157.
- GRELA, E. – BARANOWSKA, M. – KRUSIŃSKI, R. – SKÓRŃICKI, H.: Zawartość tokoferoli w zbożach i nasionach roślin strączkowych. *Przem. Spożywczy*, 11, 1993: 311–312.
- HAYTOWITZ, D. B. – MATTHEWS, R. H.: Effect of cooking on nutrient retention of legumes. *Cereal Foods World*, 28, 1983: 362–364.
- MATTHEWS, R. H.: *Legumes: chemistry, technology and human nutrition*. New York, Marcel Dekker Inc. 1989.
- MEINERS, CH. R. – DERISE, N. L. – LAU, H. C. – CREWS, M. G. – RITCHEY, S. J. – MURPHY, E. W.: The content of nine mineral elements in raw and cooked mature dry legumes. *J. Agric. Food Chem.*, 24, 1976: 1126–1130.

- MILLER, CH. F. – GUADAGNI, D. G. – KON, S.: Vitamin retention in bean products: cooked, canned and instant bean powders. *J. Food Sci.*, 38, 1973: 493–495.
- MURPHY, E. W. – CRINER, P. E. – GRAY, B. C.: Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. *J. Agric. Food Chem.*, 23, 1975: 1153–1157.
- RAAB, C. A. – LUH, B. S. – SCHWEIGERT, B. S.: Effects of heat processing on the retention of vitamin B<sub>6</sub> in lima beans. *J. Food Sci.*, 38, 1973: 544–545.
- VIDAL-VALVERDE, C. – RECHE, A.: Available niacin content in processed legumes. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 193, 1991: 436–440.
- YOSHIDA, H. – KAJIMOTO, G.: Effects of microwave energy on the tocopherols of soybean seeds. *J. Food Sci.*, 54, 1989: 1596–1600.

Received March 26, 1996

### Stabilita vybraných vitaminů a minerálních látek při kulinární úpravě luštěnin

Luštěniny jsou dobrým zdrojem základních živin, hlavně bílkovin, ale i vitaminů a minerálních látek. Konzumaci luštěnin většinou předchází kuchyňská úprava, která může mít významný vliv na změnu obsahu výživových faktorů.

Byla sledována stabilita thiaminu, riboflavinu, vitaminu B<sub>6</sub>, niacinu, celkových tokoferolů a minerálních látek (K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn) při kulinární úpravě čočky, fazolí, hrachu a sóje. Práce byla zaměřena jak na tradiční způsoby úpravy (klasické vaření a vaření v tlakovém hrnci), tak i na mikrovlnný ohřev.

Přehled použitých surovin a podmínek tepelných úprav luštěnin je v tab. I. Výsledky analýz vzorků syrových luštěnin jsou uvedeny v tab. II. V tab. III–VI jsou znázorněny hodnoty retencí sledovaných vitaminů a minerálních látek při kulinární úpravě čočky, fazolí, hrachu a sóje. Uvedené hodnoty jsou vypočteny na základě hmotnostní bilance a vztaženy na obsah jednotlivých faktorů v původní syrové luštěnině - true nutrient retention (Murphy et al., 1975).

Nejvyšší retence u většiny sledovaných faktorů byly nalezeny po kulinárních úpravách čočky, nejnižší byly shledány u sóje. Retence thiaminu po kulinárních úpravách luštěnin se pohybovala v rozmezí 32–105 %, riboflavinu 72–111 %. Vitamin B<sub>6</sub> byl stabilní při kulinární úpravě čočky, nejnižší retence (53 %) byla zjištěna při vaření sóje. Pokles retence niacinu, v některých případech až pod 50 %, byl způsoben převážně vyluhováním vitaminu do vývaru. Retence celkových tokoferolů nebyla ovlivněna druhem kulinární úpravy a nikdy neklesla pod 88 %. Pokles retence minerálních látek až na 66 % zjištěný u K, Zn a P, v některých případech u Fe a Cu, byl způsoben vyluhováním do vývaru. Mikrovlnný ohřev nebyl vhodný pro

úpravu fazolí, hrachu a sóje z důvodu velkých ztrát hydrofilních faktorů bez úspory času a energie.

retence; celkové tokoferoly; thiamin; riboflavin; vitamin B<sub>6</sub>; niacin; minerální látky; kulinární úprava luštěnin

---

*Contact address:*

Ing. Eva Mašková, Výzkumný ústav potravinářský Praha, Radiová 7,  
102 31 Praha 10-Hostivař, Česká republika,  
tel.:02/702 331; fax: 02/701 983; e-mail: vupp@vupp.anet.cz

## MATHEMATICAL MODEL OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN FOOD MATERIALS HEATED BY MICROWAVES\*

Jiřina HOUŠOVÁ, Petr TOPINKA, Karel HOKE

*Food Research Institute Prague, Prague, Czech Republic*

**Abstract:** By using finite-difference method a simplified mathematical model to predict temperature distribution in solid or semi-solid material of cylindrical geometry during microwave heating was developed. Energy equation for heat conduction with an internal source of heat, Lambert's law for description of attenuation of incident microwave power in material, convective heat exchange between heated material and surrounding air and other assumptions were made for process description. Mashed potatoes as heated material were used for numerical calculation and in experiments for model testing. Possibility of asymmetrical heating due to non-homogeneity of microwave field around the sample is assumed in the last version of model according to experiments. Comparison of predicted temperatures (in selected points of cylinder, average temperature) with results of experiments was made and some results are shown in figures. Sensitivity analysis was provided and influence of variation of all input parameters for calculation on temperature response was tested for different time of heating. Analysis confirmed a great influence of total microwave power value, microwave power density distribution around the surface of heated material and physical properties of material as main input parameters for calculation on accuracy of model prediction.

microwave heating; mathematical model; temperature distribution

Microwave heating is a rapidly expanding method in food processing technology. Microwave ovens are now accepted in the family kitchens and catering and some industrial applications have been adopted in the world, as microwave tempering units, microwave pasteurisation plants, microwave driers, etc. The production of the microwaveable foods has been evoked by the growing popularity of microwave ovens and different types of these products are available at the market-place now.

\* Work was supported by Czech Grant Agency (project No. 510/93/0805) and Czech Ministry of Agriculture (project No. RE 093095012).

Microwave heating offers potential advantage, such as saving in processing time and energy but heating itself is connected with some problems. While rapid heating can be achieved by microwaves, the temperature distribution in a product is mostly non-uniform even in homogeneous materials. A number of factors can affect the non-uniform heating by microwaves. These include generally volume and geometry of products and their thermal, physical and dielectric properties, as well as process parameters, such as microwave frequency, power supply, initial temperature of a heated material and process time. Their influence on the temperature development of heated food is mostly combined. Non-uniform microwave distribution within a microwave oven cavity and the different rate of microwave power absorption by various food components are factors contributing to the heating non-uniformity.

The control of temperature distribution and local heating rate within a product during the heating is generally important for quality and safety of product as well as for economy of a process. In the case of microwave heating the monitoring and control of product temperature is hampered by the difficulty and expense of measuring product temperature during heating process.

Mathematical modelling offers to solve this problem. Mathematical model enables with certain accuracy to predict the behaviours of food during its heating in microwave field and offers better understanding of this process and its improving and optimisation.

Many mathematical models – simple or more complex were developed from the seventies years for description of behaviour of food in microwave heating. Review of some of published models is available (Houšová, 1995). First simple 1-D or 2-D models (Ohlsson, Bengtson, 1971; Kirk, Holmes, 1975; Nykwist, Decareau, 1976) enable to predict the temperature distribution in product (solid food) of simple geometry – infinite slabs, cylindrical body, spheres. Energy equation for heat conduction in solid body, volumetric heat generation as internal source of heat, exponential microwave energy decay within the product, heat exchange between heated product and surrounding air by convection and other assumptions were used by mathematical description of process together with finite difference method for numerical solution of differential equations. Surface microwave power flux (incident power flux) was determined in most models by experiments using either calorimetric determination or results of temperature measuring during the heating.

The same method was used by other researches for modelling of specific cases of microwave heating. Models of microwave heating of liquid materials assume the natural convection of liquid and this term is expressed in energy equation (Datta et al., 1992), model of microwave heating of cereal products assumed simultaneous heat and mass transfer and enable prediction of time-temperature and time-moisture development in product (Tong, Lund, 1993), etc.

The Maxwell's equations for energy distribution in microwave field instead of Lambert's law for expressing an exponential decay of energy within the heated product were used in some models from the last years (Ayappa, Davis, 1991; Ohlsson, Rissman, 1993; Ohlsson, 1993) as well as finite element methods for numerical solution of appropriate equations (Lin et al., 1995; Chen et al., 1993). Many model simulations of microwave heating of non-food materials presented at the last international conference on microwave and high frequency heating (Cambridge, 1995) are based on the Maxwell's equations. The finite-element method have been used as a more useful tool for computation in cases of complicated material geometry.

The temperature distribution within heated product, predicted by models, was in all cases compared with experiments, mostly with heated materials of simple form, homogeneous and certain chemical composition (water, NaCl solution, sucrose solution, agar solution, mashed potatoes, etc.). The simple models allow to predict temperatures with relative reliability, more complex models enable more precise prediction, but require much more effort to develop and to test. More information on published models in Houšová (1995).

Simplified mathematical model for prediction of local temperature distribution within solid or semi-solid material of a cylindrical form during microwave heating and post-process delay was developed in this work. A comparison of computed temperature distribution and results of experiments with heating of mashed potatoes samples in glass container of cylindrical form in one of the domestic microwave oven was made for validation of temperature prediction. A sensitivity analysis of predicted temperature distribution within the heated product on a variation of input parameters for calculation was provided, too.

## Theoretical consideration

For mathematical modelling of the temperature distribution in incompressible solid food heated by microwaves the thermal energy equation can be described as

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla (\lambda \nabla T) + Q \quad [1]$$

where:  $\rho$  – density [ $\text{kg/m}^3$ ]

$c_p$  – specific heat capacity [ $\text{J/kgK}$ ]

$\lambda$  – thermal conductivity [ $\text{W/mK}$ ]

$T$  – temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t$  – time [s]

$Q$  – internal volumetric heat source [ $\text{W/m}^3$ ]

For body of cylindrical form the equation [1] can be written in cylindrical co-ordinates  $r$  and  $z$  as

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\lambda \partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( r \frac{\lambda \partial T}{\partial z} \right) + Q \quad [2]$$

The heat generated per unit volume of a material as a consequence of the conversion of electromagnetic field's energy can be expressed as

$$Q = \pi f \epsilon_0 \kappa'' |E|^2 \quad [3]$$

where:  $f$  – frequency of microwaves (1/s)

$\epsilon_0$  – dielectric constant of free space ( $8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ )

$\kappa''$  – relative dielectric loss factor of material [1]

$E$  – electric field strength [ $\text{V/m}$ ]

The influence of magnetic part of electromagnetic field on heating process is neglected. The exponential decay of microwave power within material in the direction of microwave propagation was assumed for simplicity in this case. For  $x$  direction this assumption can be expressed by Lambert's equation

$$P_x = P_0 e^{-\frac{x}{D_p}} \quad [4]$$

where:  $P_0$  – incident microwave power flux on the surface of the body [ $\text{W/m}^2$ ]

$x$  – distance from surface [m]

$D_p$  – penetration depth according to the following equation [m]

$$D_p = \frac{\lambda_0}{4\pi} \sqrt{\frac{2}{\kappa' \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{\kappa''}{\kappa'}\right)^2} - 1 \right]}} \quad [5]$$

where:  $\kappa'$  – relative dielectric constant of material [1]

$\lambda_0$  – wave length of microwaves in free space [m]

### Initial and boundary conditions, other assumptions for mathematical simulation

#### Initial condition

Uniform initial temperature distribution in food sample is considered

$$T(r, z) = T_0 \quad \text{at } t = 0$$

#### Boundary condition

Heat exchange between surface of heated material and surrounding air by convection is assumed

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = h(T_a - T) \quad \text{at } r = R$$

and

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = h(T_a - T) \quad \text{at } z = H$$

where:  $h$  – surface heat transfer coefficient - SHTC [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ]

$T_a$  – temperature of surrounding air [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$R, H$  – radius and length of cylinder (sample of material) [m]

The following assumptions were made in the model development:

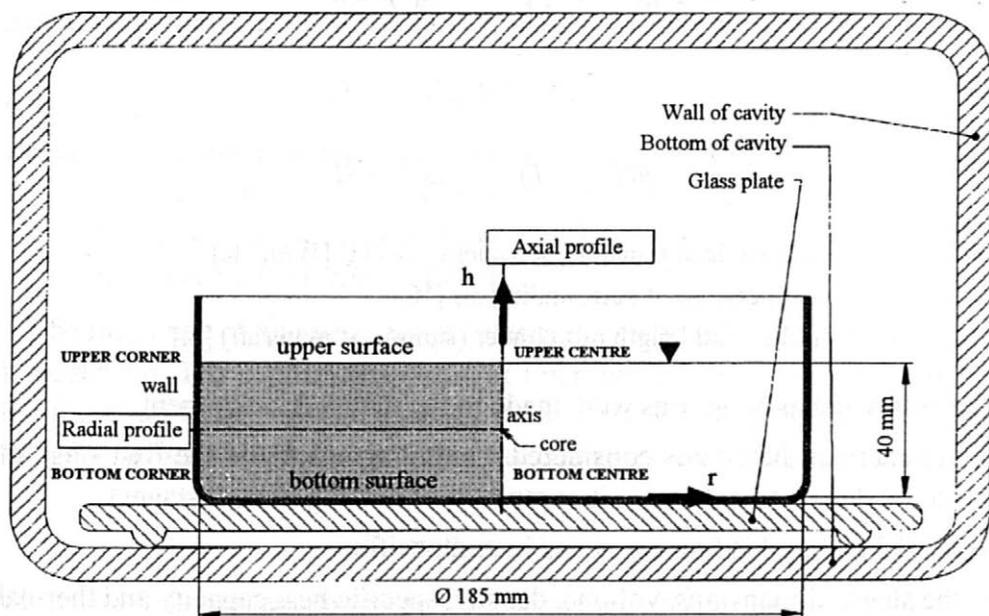
- symmetrical heating is considered (central symmetry in the first stage of model development and axis symmetry of heating in next stages),
- heated material is homogeneous in composition,
- the shape, dimensions, volume, density, specific heat capacity and thermal conductivity of heated material are constant during heating,
- internal moisture transport in material during heating is neglected,

- evaporation of water in material at the temperature of 100 °C is considered together with free release of water vapour from the material without heat exchange between vapour and heated material,
- the heat transfer coefficient on surface is constant during heating,
- temperature of air in oven is constant during the heating,
- microwaves enter from all sides of material, normal direction of microwave incidence to the surface is assumed and effect of microwave energy entering to the element of material from all directions is summing,
- reflection and refraction of microwaves on the surface is not assumed and only one way of microwaves through material is considered,
- microwave power flux ( $W/m^2$ ) has a constant value over individual parts of cylinder surface (upper, bottom, side), but these values can be different.

### Calculations

**Finite difference method** with rectangular equidistant grid has been used for calculation. Placement of a sample in the oven cavity and co-ordinates  $r$  and  $h$  are shown in Fig.1.

**Input data for calculation.** Calculations were provided for a mixture of dry mashed potatoes and water (87% water), with volume of samples 1 053 ml,



1. Placement of heated cylinder in the oven cavity (co-ordinates  $r$  and  $h$ )

diameter and height of samples 185 and 40 mm. Heating of mashed potatoes samples in glass container was supposed, partial absorption of microwaves in glass was neglected.

**Physical properties** ( $\rho$ ,  $\lambda$ ,  $c_p$ ) for mashed potatoes as input parameters were taken from experiments (Ambros, 1993). All these parameters were considered as constants for calculation. In the case of slight temperature dependence ( $\lambda$ ,  $c_p$ ) the average value for the temperature range 20–80 °C was used.

**Dielectric properties** were taken from literature. The penetration depth  $D_p$  was used for calculation. Values of 6 and 8 mm were used for calculation according to Kent (1987) and Rismann et al. (1993).

**Initial temperature** of heated material. The temperature of 10 °C was used as initial value for calculations in the most cases.

**Temperature of air and surface heat transfer coefficient.** Temperature of air around the heated sample was considered as constant during heating and the value of 30 °C as the average value from the experiments was used. Only free convection on the surface of heated sample and constant values of surface heat transfer coefficient both for heating and post-process delay were taken in consideration in calculation. Values from 10 to 20 W/m<sup>2</sup>K were used in calculations. Both the same and different values of SHTC on individual parts of cylinder's surface were used.

**Time of heating.** Calculations were provided for 8 min of heating and following post-process delay of 10 min.

**Microwave power used for heating.** Values of 850 W (declared power output for oven used for experiments) were used at first for computation. Other calculations were made also with values of absorbed energy estimated in calorimetric experiments (heating of 1 000 ml of water in glass container from 10 ± 2 °C to 20 ± 2 °C by full power of magnetron) and with value of energy derived from heating experiment with mashed potatoes (1 053 ml, development of average temperature of heated sample in the first 60 sec of heating was used for absorbed energy calculation). The great response in temperature prediction on relative small differences in values of microwave power was estimated.

**Microwave power flux distribution.** Total incident microwave power was divided by the area of sample surface to obtain the microwave power flux. Uniform power flux distribution over all surface of sample was considered in first calculations, and values of microwave power entering to the

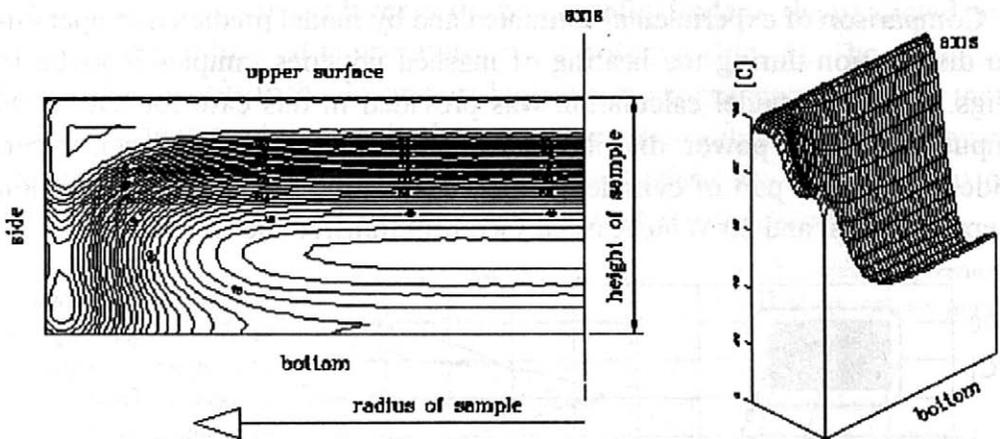
sample by way of upper, bottom and side part of its surface were obtained by multiplication of power flux and area of individual parts of surface.

Some corrections were made in next development of model to input different values of microwave power entering to the sample via its upper, bottom and side part of surface according to results of experiments. Many experiments have been made with this type of oven (no turntable) and result have showed a decrease of local temperature from surface to the middle of cylinder and higher temperature near upper surface than at the bottom (Houšová, 1995). To express power distribution on upper, bottom and side part of surface coefficients  $k_u$ ,  $k_b$  and  $k_w$  were used. Some relations of  $k_u : k_b : k_w$  were tested by calculation.

An example of calculated temperature microwave distribution in one half of heated cylindrical sample of mashed potatoes in 6. min of microwave heating is shown in Fig. 2, input parameters for this calculation are given in Table I.

#### I. Process parameters used by calculations

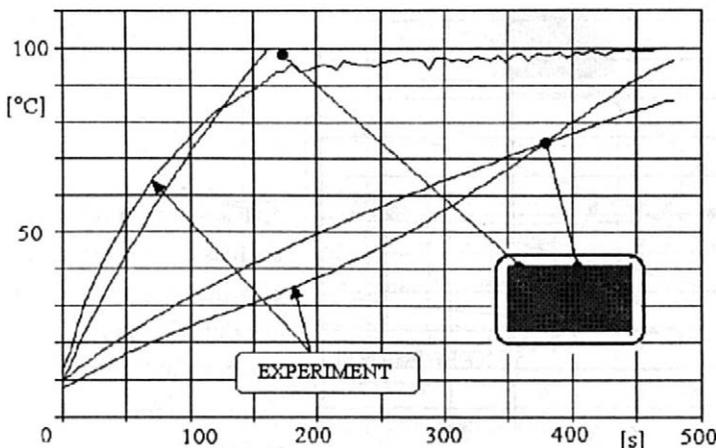
Parameter	Units	Value	Parameter	Units	Value
Microwave power	W	850	surrounding temperature		
			– upper	°C	30
			– side	°C	30
Diameter	mm	185	– bottom	°C	30
Height	mm	40	SHTC upper	W/m <sup>2</sup> K	20
Grid spacing radial	mm	1.25	SHTC side	W/m <sup>2</sup> K	20
axial	mm	1.25	SHTC bottom	W/m <sup>2</sup> K	20
Density	kg/m <sup>3</sup>	1 035	time of calculation	s	480
Specific heat capacity	J/kgK	3 800	time of post-process delay	s	600
Thermal conductivity	W/mK	0.48	power distribution		
Penetration depth	m	0.01	upper surface – $k_u$	–	1
Initial temperature	°C	10	side (wall) surface – $k_w$	–	2
			bottom surface – $k_b$	–	0.5



2. Local temperature distribution in a sample of mashed potatoes (185 mm diameter, 40 mm height of sample) heated by microwaves – 6. min of heating, microwave power (incident value) 850 W

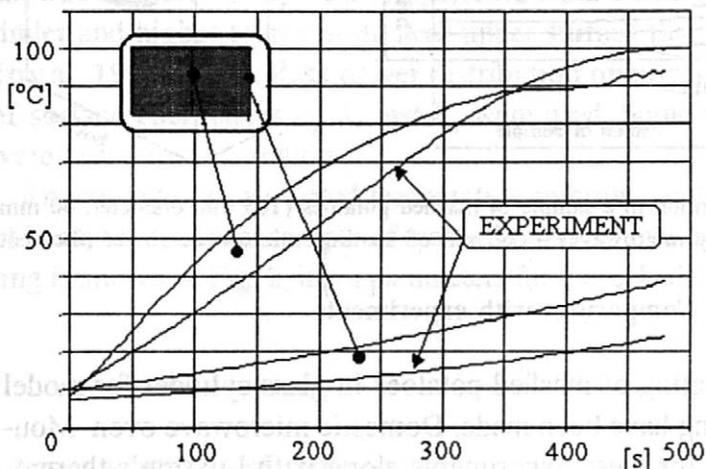
### Comparison with experiments

Experiments with heating of mashed potatoes in glass cylinder for model testing and its improving have been made. Domestic microwave oven Moulinex 850 W was used for these experiments along with Luxtron's thermometric system with four fiberoptic probes for local temperature monitoring. For comparison with computation 36 points in left half of vertical cross section of cylinder (sample) were selected for probe installation (4 points in each of 9 levels). Monitoring of temperature was provided during 8 min of heating and 10 min of post-processing for each position of probes. (More information on experimental method and results is available in Houšová et al., 1994.)



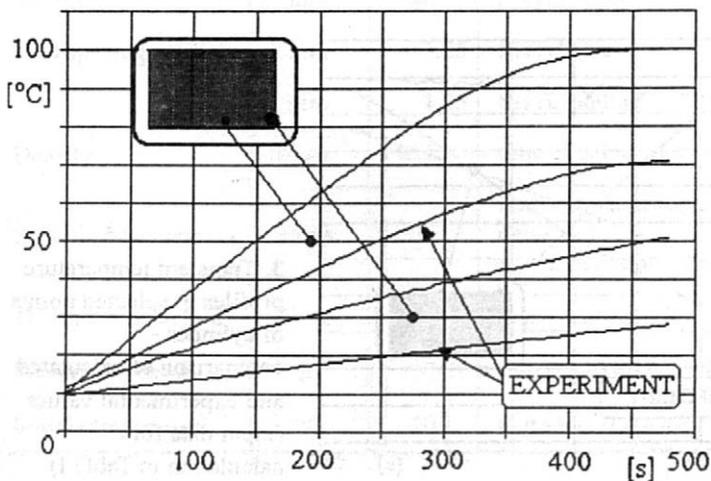
3. Transient temperature profiles in selected points of cylinder – comparison of calculated and experimental values (input data for calculation in Table I)

Comparison of experimental estimated and by model predicted temperature distribution during the heating of mashed potatoes samples is given in Figs. 3–8. The model calculation was provided in this case for 850 W as input microwave power, distribution of microwave power between upper, side and bottom part of cylinder's surface in ratio 0.5 : 1 : 0.2, penetration depth 0.008 m and 20 W/m<sup>2</sup>K as surface heat transfer coefficient.



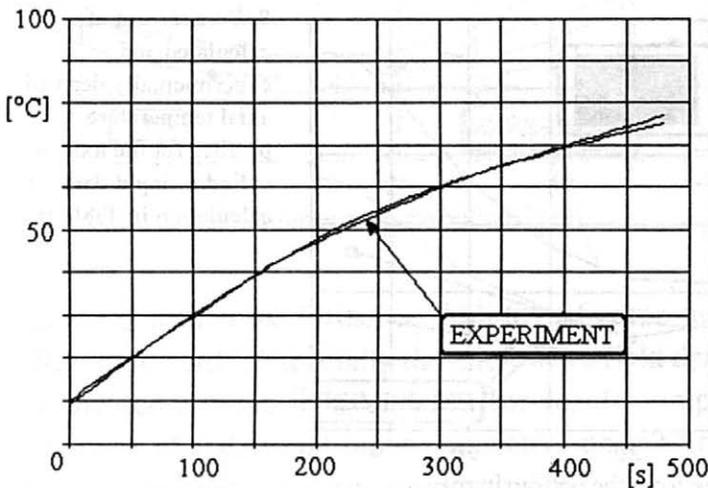
4. Transient temperature profiles in selected points of cylinder – comparison of calculated and experimental values (input data for calculation in Table I)

As concerns the local temperatures, the model predictions were relatively similar to the experimental results only in some positions – in a layer near upper surface, except points near axis, where predicted temperatures were lower, and in the middle layer (Figs. 3 and 4). Difference between calculated and experimental temperatures in the center of cylinder was to 3 °C during the first two minutes of heating and about 10 °C at the 8th minute. In other



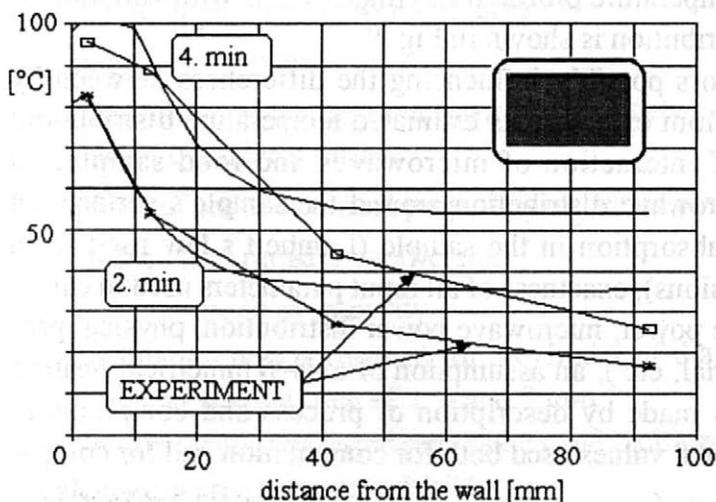
5. Transient temperature profiles in selected points of cylinder – comparison of calculated and experimental values (input data for calculation in Table I)

places – especially in the layer at the bottom of cylinder – the predicted and experimental estimated temperatures were different (Fig. 5). The predicted values in all places in this layer were higher than experimental ones and their difference increased during the heating. One possibility for this difference explanation is a too high value of microwave power flux for this part of sample surface used in calculation (unreal power density distribution).



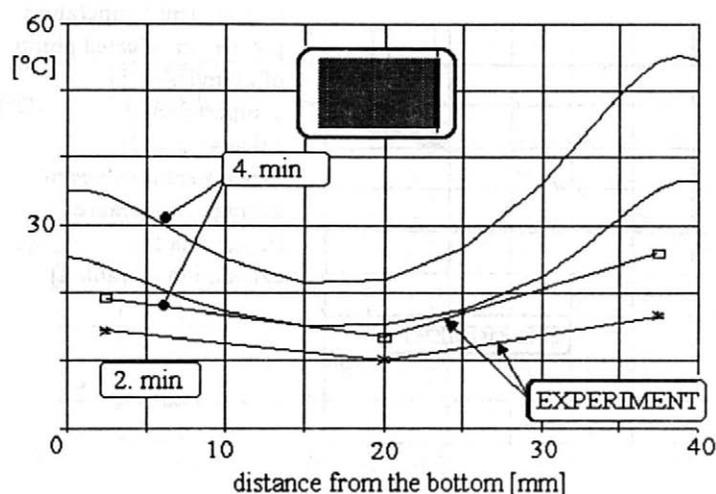
6. Transient temperature profiles in selected points of cylinder – comparison of calculated and experimental values of average temperature (input data for calculation in Table I)

Predicted values of average temperature of heated samples were very close to the values derived from experiments for the whole time of heating (Fig. 6). A relative good agreement between predicted and from experiments derived values of average temperatures can be influenced also by the calculation of average values.



7. Comparison of calculated and experimentally derived radial temperature profiles for the upper layer of cylinder (input data for calculation in Table I)

The axial and radial profiles from predicted temperatures have a decreasing tendency from surface to the center of cylinder like the profiles from experimental values but the differences there are both in their shape and in individual values of temperature. Radial profiles (experimental and predicted) for the upper layer of cylinder are shown in Fig. 7, axial profiles for the axis of cylinder in Fig. 8.

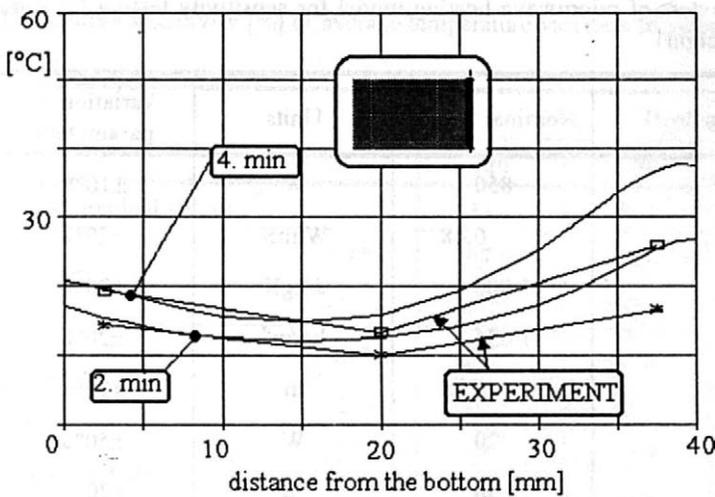


8. Comparison of calculated and experimentally derived axial temperature profiles for the axis of cylinder (input data for calculation in Table I)

Non-uniformity in microwave power distribution over the upper cylinder's surface could be one of the possibilities for explanation of differences in upper layer temperature distribution (constant value of microwave power flux was assumed in model prediction) and other power flux density distribution between upper, side and bottom part of surface as a possibility for explanation of axial profile differences.

A change of axial temperature profile for cylinder's axis with variation of power flux density distribution is shown in Fig. 9.

There are many factors possibly influencing the differences between by model calculated and from experiments estimated temperature distribution: simple assumption of interaction of microwaves and food sample, an assumption of the microwave distribution around the sample's surface, an assumption of power absorption in the sample (Lambert's law used for a body with finite dimensions), exactness of all input parameters used in calculation (total microwave power, microwave power distribution, physical properties of heated material, etc.), an assumption of axis-symmetrical heating and other assumptions made by description of process and computation. Exactness of experimental values used both for computation and for compa-



9. A change of axial temperature profiles for different microwave distribution: upper 0.4 – side 2 – bottom 0.1 (rest of input data for calculation in Table I)

risson has also some influence. Validity of some mentioned factors is very difficult to verify. Especially the microwave field density distribution around the heated sample in oven used for result comparison. To find out an influence of individual input parameters on exactness of temperature prediction sensitivity analyses were provided.

#### Sensitivity analysis of temperature prediction by model

The variation in the response of predicted temperatures (local, average) by the model due to changes in the selected input parameters was calculated. As tested input parameters were selected:

- microwave power,
- distribution of incident microwave power between upper, side and bottom part of cylinder's surface,
- physical and dielectrical properties of heated material,
- surface heat transfer coefficient,
- temperature in oven cavity.

Calculation was performed for a cylinder of diameter 185 mm, height of 40 mm and heating time of 2, 4 and 8 min.

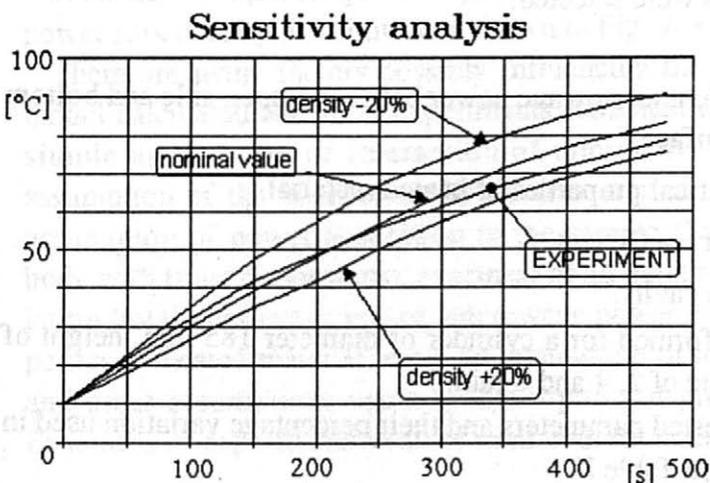
Nominal values of tested parameters and their percentage variation used in calculation are shown in Table II.

## II. Variation in input parameters of microwave heating model for sensitivity testing (cylinder 185 mm diameter, 40 mm height)

Model parameters	Nominal values	Units	Variation of parameters
Microwave power	850	W	±10%
Thermal conductivity	0.48	W/mK	±20%
Specific heat	3 800	J/kgK	±20%
Density	1 035	kg/m <sup>3</sup>	±20%
Penetration depth	0.01	m	±20%
SHTC	20	W	±50%
Surrounding temperature	30	°C	±20%
<b>Distribution of microwave power</b>			
Upper surface	$h = 1$	–	1.3; 0.7
Side surface	$b = 1$	–	1.3; 0.7
Bottom surface	$s = 1$	–	1.3; 0.7

Results of sensitivity testing for the case of average temperature of heated sample are shown in Table III (heating time of 2 min) and response in the average temperature of heated sample is shown in Fig. 10.

Relative sensitivity (RS) was used in Table II as an index to determine the influence of tested parameters on local and average temperatures of heated



10. Influence of density variation on the value of average temperature of mashed potatoes sample (input data for calculation in Table I)

## III. Relative sensitivity [%] of average temperature variation to variation of selected model parameters

		Heating time			
		120	240	360	480
$T_m$ at nominal values		33.4	54.5	70.6	81.7
Power	+10%	67.6	68.0	53.8	33.0
	-10%	-67.6	-73	-60.5	-47.5
Density	+20%	-57	-62.1	-53.7	-44.4
	-20%	85.1	82.9	65.3	43.5
Heat capacity	+20%	-57	-62.1	-53.7	-44.4
	-20%	85.1	82.9	65.3	43.5
Thermal conductivity	+20%	3.3	3.4	4.4	6.1
	-20%	-2.5	-3.4	-4.8	-7.3
Penetration depth	+20%	2.2	6.8	11.2	13.2
	-20%	-3.9	-10.3	-14.1	-19.2
Surrounding temperature	+20%	3.6	3.4	2.5	1.3
	-20%	-3.6	-3.4	-2.5	-1.3
SHTC	+50%	-0.6	-2.1	-2.3	-1.7
	-50%	0.6	2.3	2.4	1.2

$T_m$  – average value calculated from local temperatures

samples (Lin et al., 1995). RS was calculated as percent variation of the temperature response to the percent variation of the model parameter.

#### Following conclusion results from sensitivity testing

The prediction of temperature distribution and heating rate by the model is very sensitive to the change of incident microwave power and density and specific heat of heated material. The change of these parameters very influenced both local and average temperatures of sample during heating. Tested variation of thermal conductivity, depth of penetration and incident microwave power distribution influenced the response in some local temperatures. An increase in the value of penetration depth entailed – for example – an increase in local temperatures near cylinder's surface and on the contra-

ry the decrease of temperatures in a centre of cylinder. The response in average temperature of heated sample was smaller.

Effect of surface heat transfer coefficient and air temperature variation was very small on response in both average and local temperatures.

All these conclusions are related to the cylinder with 185 mm as its diameter and 40 mm as its height.

### Conclusions

By using the finite difference method, thermal energy equation and Lambert's law for microwave attenuation within material a simplifield computer model to predict temperatures in material of cylindrical shape heated by microwaves was developed.

The model can be used for prediction of temperature distribution and local heating rate for heating of solid or semi-solid food of cylindrical geometry and for analysis of process parameters influence on variation of temperature response. Homogeneity of composition and known thermo-physical and dielectric properties of heated material are assumed. Certain limitation was made for the ratio of dimensions of cylindrical sample (diameter, height) and penetration depth because of Lambert's law using.

With this model the asymmetrical heating observed during experiments can be predicted. The description of microwave power density distribution around the food surface has to be made in this case.

Exactness of the prediction by the model is very much influenced by the values of total microwave power, density and specific heat capacity used as input parameters for computation. According to sensitivity analysis also the thermal conductivity, penetration depth and distribution of microwave power density around the surface of heated food have influence on the distribution of local temperatures in heated material.

### References

- AMBROS, F.: Fyzikální vlastnosti bramborové kaše. [Zpráva.] Praha, ČVUT 1993.  
AYPPA, K. G. – DAVIS, H. T. – CRAPISTTE, G. – DAVIS, E. A. – GORDON, J.: Microwave heating: An evaluation of power formulations. *Chemical Engng Sci.*, 46, 1991: 1005–1016.

- DATTA, A. – PROSETYA, H. – HU, W.: Mathematical modeling of batch heating of liquids in a microwave cavity. *J. Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 27(1), 1992.
- HOUŠOVÁ, J. – HOKE, K. – TOPINKA, P.: Distribution and profiles of local temperatures in homogeneous liquid materials during microwave heating. *Potrav. Vědy*, 12, 1994: 393–406.
- HOUŠOVÁ, J.: Přehled a charakteristika publikovaných modelů mikrovlnného ohřevu potravin. *Potrav. Vědy*, 13, 1995: 485–492.
- CHEN, S. D. – SINGH, R. K. – HAGHIGHI, K. – NELSON, P. E.: Finite element analysis of temperature distribution in microwaved cylindrical potato tissue. *J. Food Engng*, 18, 1993, 351–368.
- KENT, M.: *Electric and Dielectric Properties of Food Materials*. London, Science and Technology Publ. 1987.
- KIRK, D. – HOLMES, A. W.: The heating of foodstuffs in a microwave oven. *Journal of Food Technol.*, 10, 1975: 375–384.
- LIN, Y. E. – ANANTHESWARAN, R. C. – PURI, V. M.: Finite element analysis of microwave heating of solid foods. *J. Food Engng*, 25, 1995: 85–112.
- NYKVIST, W. E. – DECAREAU, R. W.: Microwave meat roasting. *J. Microwave Power*, 11(1), 1976: 3–24.
- OHLSSON, T.: In-flow microwave heating of pumpable foods. [Přednáška.] Intern. Congr. Food and Engineering, Chiba, Japan, May 23–27, 1993.
- OHLSSON, T. – BENGSTON, N. E.: Microwave heating profiles in food. *Microwave Energy Appl. Newsl.*, 4, 1971: 1–8.
- OHLSSON, T. – RISMAN, P. O.: Temperature distribution in microwave oven heating – The influence of different cavity modes. ICFE. Chiba, Japan 1993.
- RISMAN, P. O. – OHLSSON, T. – LINGNERT, H.: Model substances and their use in microwave heating studies. SIK-Rapport, Nr.588, Göteborg, Sweden 1993.
- TONG, C. H. – LUND, D. B.: Microwave heating of baked dough products with simultaneous heat and moisture transfer. *J. Food Engng*, 19, 1993: 319–339.
- Microwave and high frequency heating, Proc. Int. Conference, Cambridge, September 1995.

Received March 7, 1996

### Matematický model distribuce teploty v potravinách při mikrovlnném ohřevu

Mikrovlnný ohřev představuje progresivní technologii zpracování řady materiálů včetně potravinářských. Přináší řadu výhod pro individuální i profesionální aplikaci, ale i problém nerovnoměrného ohřevu. Ten představuje, především při tepelné úpravě potravin, potenciální riziko poklesu finální kvality.

Předpověď rozložení a vývoje teplot materiálu při jeho ohřevu je důležitá pro optimalizaci teplotního zásahu, volbu adekvátní doby ohřevu a dalších parametrů procesu.

Pokus o předpověď průběhu mikrovlnného ohřevu materiálů modelového složení a jednoduchých geometrických tvarů pomocí matematické simulace procesu byla předmětem řady publikovaných prací. V tomto příspěvku je popsán vývoj zjednodušeného matematického modelu pro mikrovlnný ohřev homogenního materiálu tuhé konzistence válcového tvaru. Model byl řešen jako dvojrozměrná úloha nestacionárního vedení tepla s uvažováním vnitřního zdroje energie a s konvektivní výměnou tepla mezi povrchem materiálu a okolním vzduchem. Je předpokládána platnost Lambertova vztahu pro vyjádření postupného poklesu energie mikrovln při průchodu materiálem a řada dalších zjednodušujících předpokladů. K numerickému řešení byla použita metoda konečných diferencí. Vstupními parametry pro řešení jsou: celkový mikrovlnný výkon a jeho rozdělení na jednotlivé části povrchu válce, hustota, měrná tepelná kapacita, teplotní vodivost a penetrační hloubka ohřivaného materiálu, průměr a výška vzorku, součinitel přestupu tepla a teplota vzduchu, obklopujícího ohřivaný materiál, doba ohřevu a následující vyrovnávací prodlevy, krok sítě.

Testování bylo prováděno pro parametry srovnávacích experimentů (bramborová kaše jako ohřivaný materiál, mikrovlnná trouba pro domácnost bez rotačního talíře se štítkovým výkonem 850 W, doba ohřevu 8 min, doba prodlevy 10 min).

Jsou uvedeny příklady počítačově zjištěného rozložení teplot v ohřivaném vzorku daného materiálu i příklady porovnání výsledků počítačové předpovědi a výsledky experimentů s diskusí rozdílů.

Provedená analýza citlivosti modelu specifikovala významnost vlivu jednotlivých vstupních parametrů pro řešení na přesnost předpovědi teplot. Mezi parametry s největším vlivem na přesnost předpovědi jak lokálních, tak průměrných teplot patří (pro uvažované rozměry materiálu 185 mm průměr, 40 mm výška): celkový mikrovlnný výkon, hustota a měrná tepelná kapacita ohřivaného materiálu. Minimální vliv má použitá hodnota součinitele přestupu tepla a teplota vzduchu okolo materiálu. Teplotní vodivost materiálu, penetrační hloubka a event. nerovnoměrné rozložení mikrovlnného výkonu ovlivňují v určité míře lokální rozložení teplot, v malé míře průměrnou teplotu materiálu.

mikrovlnný ohřev; matematický model; rozložení teplot

---

*Contact address:*

Ing. Jiřina Hořová, CSc., Výzkumný ústav potravinářský Praha, Radiová 7,  
102 31 Praha 10, Česká republika,  
tel.: 02/702 331, fax: 02/701 983, e-mail: vupp@vupp.anet.cz

## MODELOVÁNÍ TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ RÝŽE\*

## Modelling of Thermal Processing of Rice

Karel KÝHOS, Marian CIGÁŇÍK, Milan HOUŠKA

*Food Research Institute Prague, Prague, Czech Republic*

**Abstract** This work deals with experimental modelling of thermal processing of rice with the aim to prepare the so called five-minute rice, e.g. the instant rice which is prepared only by adding the hot water and standing for rehydration for 5 minutes. The processing procedure was optimized. The influence of the time of washing and temperature of washing water on the weight loss of rice grains was studied. The sensory evaluation of prepared samples and comparison with commercially delivered instant rice was done. The hardness of prepared samples was measured by compression of individual grains between parallel plates of universal testing machine Instron 1140. We also dealt with correlation between sensory and instrumental evaluation of hardness of cooked rice. Results of measurement together with standard deviations are summarized in Table I. Experimental set-up is shown in Fig. 1. The rice was washed in water having various temperature for different processing time. Correlation between sensory and mechanical hardness is shown in Figs. 2 and 3 (the figures differ only by the relative deformation at which the mechanical hardness – force was measured). The influence of temperature and time product on the relative mass of grains (compared with outgoing mass of grains) is shown in Fig. 4. It is apparent that the relative mass of the grains decreases with increasing product of time and temperature of processing. Mechanical and sensory hardness of prepared rice decreases with increasing product of time and temperature of processing (Figs. 5 and 6). The scatter of mechanical hardness data from linear dependence is greater than for sensory hardness (Fig. 6). This work provided the physical method of washing for production of the instant rice (“five-minute rice”). The optimum temperature of washing solution is 85 °C together with the time of processing about 30 up to 35 minutes. The rice should be washed properly by washing solution. This request can be fulfilled by pulsatile mixing the rice in the metal mesh basket. The higher temperature should be avoided because of the cooking of starch released into the washing solution and intensive foaming. Drying of the rice should be in a fluidized bed at 45 °C of the air. The drier should be equipped with the tool for desintegration of rice agglomerates. We found that the loss of the rice mass can

\* Práce byla vykonána s podporou Grantové agentury ČR (grant č. 510/93/0805).

achieve about 37% of the input raw material. The loss mass can be utilized as a good quality rice starch suspension or dried.

instant rice; thermal processing; sensory and mechanical hardness; relative mass of grains; modelling

**Abstrakt:** Práce se zabývá experimentálním modelováním tepelného opracování rýže za účelem její instantizace (tzv. pětiminutová rýže). Byl optimalizován technologický postup přípravy a zkoumán vliv teploty a doby praní na úbytek hmotnosti zrn a na výslednou kvalitu předvařené rýže. Byl také zkoumán vztah mezi senzorickým a přístrojovým hodnocením tvrdosti rýže připravené ke konzumaci a porovnání kvality námi připravené rýže se zahraničními výrobky.

rýže instantní; teplota; čas; tvrdost; modelování procesu

Tepelné opracování zrnitých potravin, jako jsou luštěniny nebo rýže, je předmětem dlouhodobého výzkumu, neboť při jejich přípravě v domácnosti je zpravidla třeba delšího času a velkého množství energie. Aby průmysl zvýšil prodejnost těchto výrobků a vyšel vstříc potřebám zákazníků, vyvinul se velmi rozmanitý sortiment předem tepelně zpracovaných produktů např. předvařených (Reifenstuel, 1989). Jsou známy různé stupně tepelného zpracování, jako rýže předvařená nebo vařená i se slupkou v páře (parboiled) (Ferrero, 1991).

Jedním z velmi efektních druhů, i když vzhledem k dovozu velmi nákladným, je rýže instantního typu, tzv. pětiminutová (dodavatel Bask Roudnice nad Labem). Je to rýže, která nevyžaduje vaření (Chakrabarty, Dwarakanath, 1980). Postačí její zalití vřelou vodou s následným pětiminutovým působením tepla a vody. Za tuto dobu zrna rýže nasají vodu, změkknou a ohřejí se natolik, že je možné rýži přímo podávat ke konzumaci. Bobtnání je natolik efektivní, že k přípravě čtyř porcí postačí množství o poloviční hmotnosti v porovnání s nepředvařenou rýží (uvedeno v návodu na obalu pětiminutové rýže dodávané firmou Bask).

Vzhledem k tomu, že detailní technologie přípravy této rýže není známa, pokusili jsme se modelovat tento proces. Vyšli jsme z předpokladů čistě fyzikálního působení na rýži, předem jsme vyloučili postup enzymatický, který je možná používán v zahraničí, ale v našich podmínkách ho považujeme za nákladný. Navíc fyzikálně odloučený škrob není enzymaticky rozložen a lze

ho jako plnohodnotný produkt dále využívat. Ekonomika takového postupu je tedy násobena využitím druhotného produktu.

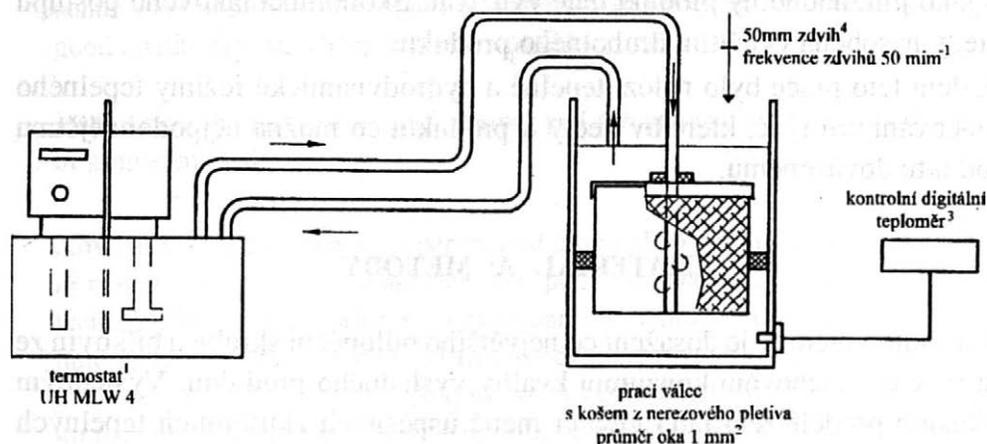
Cílem této práce bylo nalézt tepelné a hydrodynamické režimy tepelného opracování zrn rýže, které by vedly k produktu co možná nejpodobnějšímu produktu dováženému.

## MATERIÁL A METODY

Podstatou metody je dosažení co největšího odloučení škrobu a bílkovin ze zrn rýže při zachování konzumní kvality výsledného produktu. Výsledným pokusům předcházela řada více či méně úspěšných zkušebních tepelných i fyzikálních opracování (i v ultrazvukové lázni), kterými byly eliminovány problémy tepelného rozkladu vyloučeného škrobu, slučování změkklých zrn, obtékání všech zrn v daném zařízení včetně udržení všech zrn ve vznosu apod. Dalším problémem bylo následné sušení produktu, neboť musel být nalezen způsob, který by zaručil výsledný produkt ve formě suchých jednotlivých zrn (zabránil tvorbě hrudek).

K experimentům bylo zakoupeno větší množství téhož druhu běžné neupravené rýže (loupané), dovážené do obchodní sítě pod názvem RISO DEL TAGLIERE, RISERIA MONFERRATO srl, Villanova Monferrato, Itálie (energetická hodnota 1 436 kJ/kg, uhlohydráty 77,8 g, bílkovina 6,8 g, dietní vláknina 0,8 g, tuky 0,5 g ve 100 g rýže). Výsledkem těchto předběžných pokusů byl následující postup:

Byla sestavena aparatura (obr. 1), ve které se rýže opracovává proudem teplé vody z termostatu. Rýže je umístěna v drátěném koši, který se pohybuje jako píst v nádobě s vodní lázní. Koš byl v nádobě těsněn gumovou manžetou. Zdvih koše byl 50 mm. Oka síťky 1 x 1 mm zajišťovala dokonalý průtok vody kolem zrn. Vzhledem k velikosti koše a bobtnavosti rýže byla zvolena jako optimální náložka 50 g. Zrna byla vůči proudící vodě dokonale fixována. Objem vody v nádobě byl cca 1 500 cm<sup>3</sup> a počet zdvihů byl optimalizován na 50 za minutu. Stálost teploty vody zajišťoval termostat UH MLW 4, který za pomoci odstředivého čerpadla zajišťoval cirkulaci vody v promývací nádobě. Propojení nádoby s termostatem bylo zajištěno klasickými potravinářskými hadicemi o vnitřním průměru 9 mm a délce 1 800 mm. Celkový objem vody v okruhu byl cca 6 000 cm<sup>3</sup>. Do koše s rýží se voda přiváděla středovou trubicí opatřenou osmi tryskami o průměru 2,5 mm. Tímto uspořádáním jsme zajistili dokonalou cirkulaci a oplach zrn již od počátku poku-



<sup>1</sup>thermostat; <sup>2</sup>washing cylinder with a drum made of stainless meshes (mesh diameter 1 mm);  
<sup>3</sup>control digital thermometer; <sup>4</sup>50mm stroke; <sup>5</sup>frequency of 50 strokes per min

1. Schéma experimentální aparatury – A diagram of experimental apparatus

su, kdy rýže není ještě nabobtnalá a zaujímá pouze jednu třetinu objemu koše.

Po vymytí škrobu z rýže byla zrna rozprostřena v tenké vrstvě na plastové polokulové síto a sušena v proudu vzduchu (tvořeného ventilátorem) o teplotě 45 °C. Vyšší teplota vzduchu byla zkoušena při sušení v horkovzdušném sterilátoru (50–70 °C). Vzhledem k tomu, že v tomto zařízení nebylo možné zajistit samovolnou cirkulaci zrn, docházelo ke spékání zrn a k nedokonalému prosušení. Dokonalost sušení byla kontrolována vážením zvoleného počtu zrn. Vzhledem k nedokonalému zařízení trvala výroba jedné šarže (50 g) cca 6 hodin. Odebraná pěna a prací voda byla podrobena lyofilizaci a sušina analyzována na obsah škrobu a bílkovin.

### Postup práce

Vybraný druh rýže jsme přesušili v laboratorní sušárně při teplotě 40 °C po dobu 60 minut. Vzhledem ke kvalitě zrn nešlo použít vyšší teploty. Z takto upraveného zrna bylo naváženo 50 g na laboratorních vahách Mettler AE 200, které bylo nasypáno do drátěného koše. Po dosažení požadované teploty prací vody byl koš ponořen na zvolenou dobu do válce. Po dobu praní se koš pohyboval vertikálním pohybem po dráze 50 mm s frekvencí 50 zdvihů za minutu. Po 10 minutách se z otvoru termostatu počala odebírat pěna obsahu-

jící vyloužené substance (škrob, bílkoviny). Prací voda se průběžně zbavovala těchto substancí a byla nadále schopná rozpouštět další látky ze zrn rýže. Tímto způsobem se podařilo odstranit cca 70 % vyloučených substancí. Po ukončení praní se koš s rýží vyjmul z teplé lázně a prudce se ochladil tekoucí vodou (15–19 °C). Ochlazení bylo nutné pro další manipulaci se zrn, neboť se zmenší vzájemná přilnavost zrn. Sušení proběhlo na tenké sílonové síti s oky o světlosti 1 × 1 mm v proudu vzduchu vyvozeném ventilátorem Elko 30 W. Zde se rýžová zrna sušila cca 6 hodin. Vzduch byl ohříván topnou spirálou na teplotu cca 45 °C. Mezi 5. a 6. hodinou sušení byla hmotnost zrn již stejná. Celkové množství zpracované rýže se po vysušení zvažilo a vypočítal se úbytek, tvořený pravděpodobně škrobem, bílkovinami a ostatními látkami (lipidy). Takto zpracovaná rýže byla uložena v hermeticky uzavřených vzorkovnicích a skladována při teplotě 4 °C po dobu 100 dní.

### Hodnocení kvality

Po skladování byly vzorky rýže podrobeny hodnocení kvality včetně srovnání se vzorky dovážené komerčně dodávané rýže Bask. V rámci hodnocení kvality se hodnotila textura vyjádřená senzorickou tvrdostí rýže (ISO 11340) na vzorcích, které byly standardním způsobem připraveny ke konzumaci. Před hodnocením byli hodnotitelé poučeni o způsobu hodnocení a provedeno orientační hodnocení běžného druhu rýže o různé době vaření. Výsledky hodnocení intenzity tvrdosti byly zaznamenávány na nestrukturovanou úsečku o délce 100 mm, u níž byly označeny pouze krajní body.

#### Hodnocení tvrdosti rýže

měkká

tvrdá

Všechny vzorky byly zaznamenány na jednom formuláři. Hodnotitelé před hodnocením označili tvrdost standardní rýže Bask do středu stupnice a ostatní vzorky hodnotit proti tomuto standardu jako více nebo méně tvrdé. Po celou dobu hodnocení bylo možné vzájemně srovnávat dosud hodnocené vzorky.

Současně se senzorickým hodnocením tvrdosti rýže byla měřena síla potřebná ke stlačení jednotlivých zrn ze stejných vzorků, které byly předkládány k senzorickému hodnocení. K měření bylo použito 11–15 zrn. Zrna byla stlačována rychlostí 50 mm za minutu mezi dvěma paralelními deskami přístroje Instron 1140. Přístroj nejprve stanovil výšku každého zrna (dotek

s horní deskou přístroje) a poté deformoval zrno o 10 a 50 % původní výšky a stanovil hodnoty sil při těchto deformacích (označujeme je  $F_{10}$  a  $F_{50}$ ).

### Příprava rýže k hodnocení kvality

Od každého zkoumaného vzorku rýže bylo odebráno množství 30 g zrn do laboratorní kádinky. Zrna byla zalita 100 ml vroucí vody a poté sušena po dobu 5 minut v laboratorní sušárně s teplotou vzduchu 100 °C. Po uplynutí této doby se voda slila a zrna rýže se ochladila zalitím studenou vodou z vodovodu. Po jedné minutě chlazení se voda opět slila a rýže byla ponechána k odkapání na síť opět po dobu jedné minuty. Takto připravený vzorek byl podáván k sensorickému hodnocení tvrdosti 10 osobám současně a rovněž byla měřena mechanická tvrdost na přístroji Instron. Při podávání vzorků byla kádinka se vzorkem pečlivě přikrývána k zamezení osychání zrn.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

V rámci experimentů byl mapován vliv teploty a doby praní na úbytek hmotnosti zrn a na výslednou kvalitu předvařené rýže po její rehydrataci uvedeným postupem.

Výsledky všech měření jsou uvedeny v tab. I, v níž jsou uvedeny i odchylky naměřených hodnot sensorického hodnocení a naměřených výsledků sil na přístroji Instron.

V rámci této práce jsme se zabývali rovněž vztahem sensorického a přístrojového hodnocení tvrdosti rýže připravené ke konzumaci. Vzájemná korelace mezi sensorickou tvrdostí a silou při 50% deformaci zrn je uvedena na obr. 2a. Je patrné, že závislost je nelineární, což je způsobeno tím, že smysly mají limitovaný práh vnímání tvrdosti. Hodnotitelé jsou ochotni volit údaje kolem nuly, přestože ve skutečnosti síla není nulová. Podobný tvar má závislost pro sílu při 10% deformaci (obr. 2b). Zde však došlo k větší odchylce jednoho bodu od regresní křivky, neboť síla při malé deformaci rýže vykazuje velkou chybu měření.

Vliv součinu teploty a doby tepelné úpravy na relativní hmotnost upravených zrn je graficky vyjádřen na obr. 3. Je zřejmé, že relativní hmotnost zrn nelineárně klesá s rostoucím součinem doby působení a teploty lázně. Z obr. 3 a z údajů uvedených v tab. I vyplývá, že nejmenší relativní hmotnosti zrn (největšího úbytku) bylo dosaženo pro nejdelší zkoumané době působení (35 minut) a nejvyšší ještě přípustnou teplotu působení (85 °C). Na obr. 4 je

## I. Hodnoty naměřené při zpracování rýže – Values measured during rice processing

Druh a původ vzorku <sup>1</sup>	Číslo vzorku <sup>5</sup>	Teplota <sup>6</sup> [°C]	Doba působení teploty <sup>7</sup> [min]	Hmotnost suchého zrna po zpracování <sup>8</sup> [g]	% hmotnosti po zpracování rýže vzhledem k vstupní navážce <sup>9</sup> 50 g	Odpad škrobu, bílkovin a ostatních látek <sup>10</sup> [g]	% hmotnosti odpadních látek vzhledem k vstupní navážce <sup>11</sup> 50 g
Pětiminutová rýže <sup>2</sup> Bask Roudnice n. L.	1	–	–	–	–	–	–
RISO DEL TAGLIERE konstantní doba vaření <sup>3</sup>	2	85	35	31,4	62,8	18,6	37,2
	3	80	35	42,5	85,0	7,5	15,0
	4	70	35	48,2	96,4	1,8	3,6
	5	60	35	48,6	97,2	1,4	2,8
RISO DEL TAGLIERE konstantní teplota <sup>4</sup>	6	85	30	41,7	83,4	8,3	16,6
	7	85	25	44,7	89,4	5,3	10,6
	8	85	20	46,9	93,8	3,1	6,2

<sup>1</sup>sample kind and origin; <sup>2</sup>five-minute rice (packing plants); <sup>3</sup>constant time of cooking; <sup>4</sup>constant temperature; <sup>5</sup>sample no.; <sup>6</sup>temperature; <sup>7</sup>time of dry grain action after processing; <sup>8</sup>% of weight of dry grains after processing; <sup>9</sup>weight after rice processing in relation to output weight; <sup>10</sup>waste of starch, proteins and other substances; <sup>11</sup>% of weight of waste substances in relation to output weight

zobrazena závislost mechanické tvrdosti (síly  $F_{50}$ ) na součinu teploty a doby úpravy. Je zřejmé, že tato závislost vykazuje poměrně značný rozptyl hodnot. S rostoucí hodnotou součinu klesá mechanická tvrdost. Zde je třeba upozornit na skutečnost, že srovnávací vzorek č. 1 vykázal hodnotu síly 1,9 N. Této hodnotě se blíží námi připravený vzorek č. 2 (opět nejdelší doba působení a nejvyšší teplota).

Z obr. 5 je patrná závislost senzorické tvrdosti na součinu teploty prací lázně a doby úpravy. Senzorická tvrdost klesá s rostoucím součinem těchto veličin lineárně. Závislost vykazuje menší rozptyl než mechanická tvrdost uvedená na obr. 4.

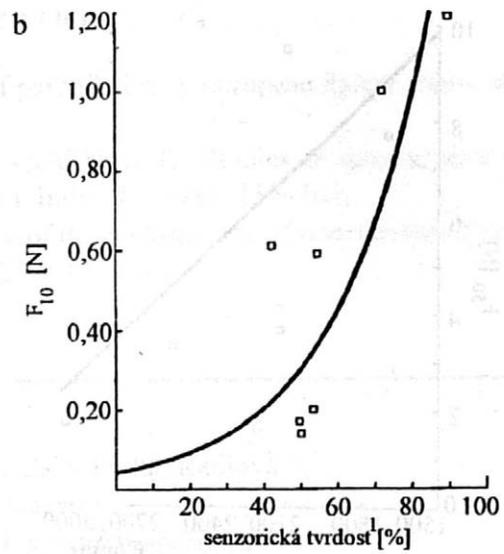
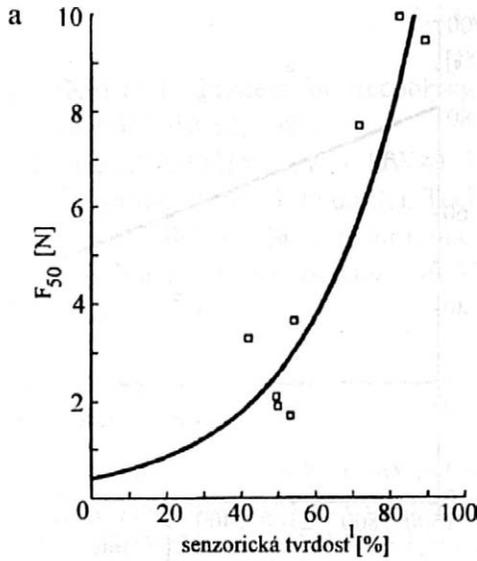
Zajímavé byly i poznámky hodnotitelů a poznatky z diskuse s nimi. Vzorek č. 2 byl některými hodnotiteli hodnocen jako velmi měkký až rozbředlý

Pokračování tab. I - Table I to be continued

Číslo vzor- ku <sup>5</sup>	Senzorické hodnocení tvrdosti (10 osob) <sup>12</sup>			Textura předvařené rýže na Instronu <sup>15</sup>			
	průměrná hodnota <sup>13</sup> [%]	odchylka <sup>14</sup>	odchylka [%]	$F_{10}$ [N] [%]	$F_{50}$ [N] [%]	$h$ [mm] [%]	počet měřených zrn <sup>16</sup>
1	50,0	0,0	0,0	0,14 27	1,90 39	2,5 8	12
2	53,3	18,4	34,5	0,20 39	1,71 21	2,4 17	11
3	49,5	20,4	40,9	0,17 78	2,10 52	2,6 16	11
4	83,0	7,1	8,5	1,41 72	9,95 48	1,9 9	11
5	89,7	4,0	4,5	1,19 55	9,45 30	1,9 5	15
6	42,1	14,7	34,9	0,61 37	3,30 31	2,0 6	15
7	54,5	15,1	27,7	0,59 37	3,66 54	2,1 7	15
8	72,0	13,7	19,0	1,00 43	7,70 37	2,1 10	15

<sup>12</sup>sensory evaluation of hardness (10 assessors); <sup>13</sup>average value; <sup>14</sup>deviation; <sup>15</sup>results of measurements of precooked rice texture on Instron apparatus; <sup>16</sup>number of measured grains

a jinými jako poměrně tvrdý. Podle mechanické síly  $F_{50}$  byl hodnocen jako méně tvrdý než standard od firmy Bask. Jako celkem přijatelný a velmi podobný standardu byl sensoricky hodnocen vzorek č. 6 (druhý nejvyšší úbytek hmotnosti). Přitom sensorická tvrdost tohoto vzorku vyšla v průměru menší než zadaný vzor. Zde se ukázala pravděpodobně též rovnoměrnost zpracování jednotlivých zrn, která na základě diskuse s hodnotiteli byla nejlepší u vzorku č. 6. Z těchto výsledků lze tedy učinit závěr, že optimální doba působení je mezi 30 až 35 minutami při teplotě 85 °C. Vyšší teplota praní byla zkoušena při předběžných pokusech, avšak prací voda enormně pěnila a získaný škrob byl prakticky rozvařen (nesedimentuje).

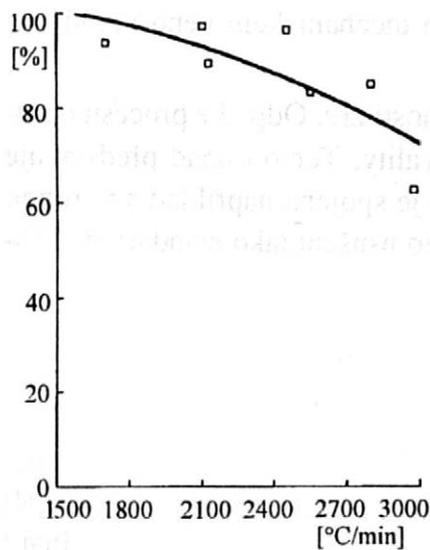


<sup>1</sup>sensory hardness [%]

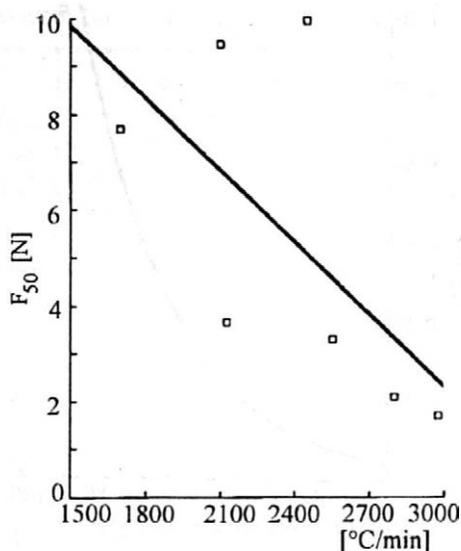
2. Korelace mechanické a senzorní textury předvařené rýže – Correlations of mechanical and sensory texture of precooked rice

## Závěry

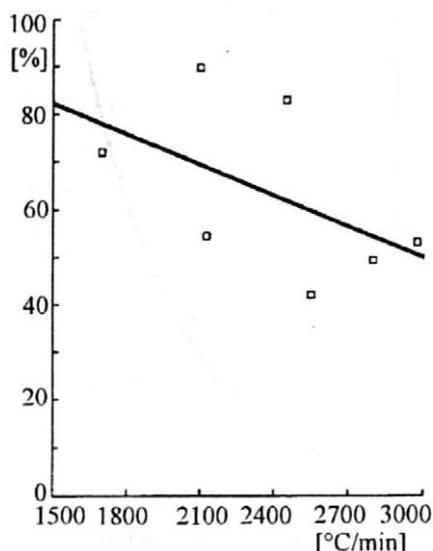
Podářilo se nalézt fyzikální metodu přípravy instantní pětiminutové rýže, kterou lze připravit ke konzumaci pouhým přelitím suchého produktu horkou vodou bez vaření.



3. Závislost relativní hmotnosti zrn [%] na součinu teploty a doby úpravy [°C/min] – Relation of the relative grain weight [%] to the product of processing temperature and time of rice grains [°C/min]



4. Závislost mechanické tvrdosti  $F_{50}$  na součinu teploty a doby úpravy [°C/min] – Relation of the mechanical hardness to the product of processing temperature and time of rice grains [°C/min]



5. Závislost senzorké tvrdosti [%] na součinu teploty a doby úpravy [°C/min] – Relation of sensory hardness [%] to the product of processing temperature and time [°C/min]

Optimální teplotou prací lázně je teplota 85 °C s dobou působení 30 až 35 minut. Produkt musí být dokonale omýván prací lázní, což lze zajistit při pulzačním míchání rýže v drátěném koši. Vyšší teploty nelze použít, neboť dochází k mazovatění škrobu vymývaného do prací lázně.

Sušení rýže je optimální při teplotě 45 °C v silném proudu vzduchu ve vlnosu (fluidní sušení), nejlépe při šetrném mechanickém nebo aerodynamickém rozrušování vznikajících hrudek.

Při výrobě lze získat až 37% úbytek hmotnosti zrn. Odpad z procesu obsahuje převážně rýžový škrob velmi dobré kvality. Tento odpad představuje produkt použitelný přímo ve výrobě, pokud je spojena například s výrobou hotových pokrmů (polévky, omáčky) nebo po usušení jako standardní rýžový škrob.

### Seznam symbolů

$F_{10}$	síla při 10% deformaci –	[N]
$F_{50}$	síla při 50% deformaci	[N]
$h$	výška zrna rýže	[mm]

## Literatura

FERRERO, F.: Process for precooking of parboiled rice. European Patent Application, EP 0405018A2, 1991.

CHAKRABARTHY, T. K. – DWARAKANATH, K. R.: Studies on some aspects of instantization of rice. J. Food Sci. Technol. India, 17, 1980: 159–161.

REIFENSTUEL, G.: Process for reduction of the cooking time of rice. German Federal Republic Patent Application, DE 3742261A1, 1989.

Došlo 2. 2. 1996

---

### *Kontaktní adresa:*

Karel Kýhos, Výzkumný ústav potravinářský Praha, Radiová 7,

102 31 Praha 10-Hostivař, Česká republika,

tel.: 02/702 331, fax: 02/701 983, e-mail: vupp@vupp.anet.cz

# **Euro Food Chem IX**

## **Conference on Authenticity and Adulteration of Food – the Analytical Approach September 24-26, 1997 Interlaken, Switzerland**

Proof of authenticity and prevention of fraud of a whole range of foods are very important topics in food chemistry. This is the area of activity for many food chemists, be they engaged in compositional research, in food law enforcement, compliance work, quality control or in the research and development of analytical methodology.

The selection of these topics is meant to encourage contributions demonstrating the applications of a wide range of analytical techniques. Authoritative lectures by well known experts in these field will lay the ground for the discussions, encouraged by a series of short papers and a wide range of posters.

### **Invited lectures:**

1. Legal aspects and the role of food analysis (M. Walsh, IRL)
2. Authenticity of Meat, Adulteration of Meat Products (G. Wijngaards, NL)
3. Adulteration of Milk and Dairy Products (P. Resmini, I)
4. Plant Products; Adulteration of Spices, Flavours and Aromas  
(A. Mosandl, D)
5. Authenticity of Olive Oil (M. Lees, F)
6. Fruit Juice Adulteration (S. Page, USA)
7. Chromatography of Carbohydrates in the Detection of Adulterations  
(J. Prodolliet, CH)
8. Chemotaxonomy as a key to authenticity testing (F. Lambein, B)

### **Call for papers**

Contributions from the whole field of food analysis with relevance to the conference theme are invited. Posters and oral presentations are considered to be of equal status. The final decision on oral papers/posters will be made by the Scientific Committee in January 1997. Authors will be informed by March 1997.

**One-page abstracts, containing a summary of the experimental work and the results, should be submitted before 31 December 1996 to**

Prof. Dr. Werner Pfannhauser  
Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie  
Technische Universität Graz, Petersgasse 12/2  
A-8010 Graz, Austria

If you would like to receive the second circular (to appear in spring '97), please contact

Dr. Reto Battaglia, Migros Laboratories,  
P.O. Box 266, CH-8031 Zürich, Switzerland;  
Phone +41 1 277 3140, Fax +41 1 277 3170,  
E-Mail: Reto.Battaglia@mgb.migros.inet.ch

**MECHANICKÉ A SENZORICKÉ VLASTNOSTI SÝRŮ  
EMENTÁLSKÉHO TYPU V PRŮBĚHU ZRÁNÍ\***

**Mechanical and Sensorical Properties of Hard Cheese  
of Emental Type during Ripening**

*Milan HOUŠKA, Vladimír DRÁB<sup>1</sup>, Marian CIGÁNÍK, Karel KÝHOS*

*Food Research Institute Prague, Prague; <sup>1</sup>Dairy Research Institute, Tábor,  
Czech Republic*

**Abstract:** Mechanical and rheological properties of hard cheese change rapidly during ripening. If the ripening of emental type of hard cheese is too rapid and mass of the cheese is too hard, the gas evolution causes the breakage of the cheese. This work describes the changes of mechanical and sensory properties of this type of cheese during ripening up to the stage of consumer acceptance including the quantitative evaluation of the breakage length on the cut surface. The obtained data sets are correlated by the multiple correlation method between various parameters and also between various stages of the ripening (basic ripening, hot storage, ripened cheese). It is shown that the dry matter of cheese does not correlate with mechanical and sensory properties in any stage of ripening. On the other hand the good correlation was found between mechanical and sensory properties in the stage after hot storage and for ripened cheese. Basically ripened cheese showed not very well correlation between those properties. Highest correlation coefficient was achieved for hardness evaluated between fingers and hardness evaluated on the Instron 1140 instrument (compression between parallel plates). Scheme of sample preparation is shown in Fig. 1. Diameter of the cylinder was 15 mm and height was 20 mm. Typical compression curves are shown in Fig. 2. Evaluation of Hencky deformation and stress was made using equations 1–6. The sensory profile consisted in evaluation of acceptance of the whole texture, hardness in the mouth, graininess, greasiness, cohesivity, elasticity between fingers, elasticity during chewing, chewiness, hardness between fingers. The basic composition of cheese during ripening and length of breakage on the cut of ripened cheese was determined. Resulting correlation matrix is shown in Table I. Parameters 1–8 are valid for cheese after basic ripening, parameters 9–16 are given for cheese after hot storage (eyes are developed) and parameters 17–30 are valid for ripened cheese. The length of breakage was not possible to evaluate for all samples, therefore it has the different number of experimental points and diffe-

\* Práce byla uskutečněna za podpory Grantové agentury ČR (č. grantu 101/93/0625).

rent value of critical coefficient of correlation. On the basis of inspection of Table 1 we can conclude that parameters of cheese obtained after basic ripening only seldom correlate with parameters determined at other stages of ripening. We therefore cannot expect that we can find any method to predict the final quality of cheese in the stage of basic ripening. The biochemical changes are during further ripening so great that even dry matter of basically and finally ripened cheese does not correlate too much, parameters 4 and 25,  $r = 0.502$ ). Much better correlation exists between parameters of cheese after hot storage and finally ripened, see parameters Nr. 9–16 and Nr. 17–30 (Table I). The correlation between the length of the breakage of ripened cheese and hardness of cheese after hot storage ( $r = 0.379$ ) is statistically significant on the significance level 0.05. This result indicates that the length of the breakage increases with increasing hardness of ripened cheese (Fig. 6). It is apparent that the dependence has a great scatter caused by other influencing parameters (we can hope to find the deterministic model of the effect). Figs 3–5 contain other dependences of various mechanical properties measured at all three ripening stages as a function of the breakage length. Typical examples of correlation of sensorical and mechanical properties valid for ripened cheese are shown in Figs. 7–9. By inspection of Table I we can conclude that the correlation between the same parameters at the stage after hot storage and ripened is very good. This supports the meaning that the mechanical properties do not change too much between hot storage and final ripening.

hard cheese; mechanical properties; sensory properties; fault of cheese quality; breakage; correlation

**Abstrakt:** Mechanické a reologické vlastnosti tvrdých sýrů se mění v průběhu zrání sýra ve zralou syrovou hmotu. U sýrů typu ementál dochází vlivem souhry nevhodných mechanických vlastností těsta za současné tvorby plynu v průběhu zrání k vzniku prasklin. Sledovali jsme změny mechanických a sensorických vlastností těchto sýrů v průběhu zrání až do stadia konzumní zralosti včetně kvantitativního vyhodnocení prasklin pomocí jejich délky na řezu. Získaná data jsou vzájemně korelována samostatně v daných stadiích zralosti i navzájem mezi různými stadii. Ukazuje se, že sušina sýrů nekoreluje s mechanickými ani sensorickými vlastnostmi sýrů v žádném stadiu zralosti. Naopak velmi dobře korelují sensorické a jim odpovídající mechanické vlastnosti (kromě stadia základního zrání, tj. korelace jsou mezi stadiem po kvasném sklepečí a stadiem sýrů zralých). Vůbec nejvyššího stupně korelace dosáhla tvrdost hodnocená stlačováním mezi prsty s tuhostí hodnocenou na přístroji Instron 1140 (při počátečním ne-destruktivním stlačení).

tvrdé sýry; mechanické vlastnosti; sensorické vlastnosti; vady; praskliny; korelace

Mechanické a reologické vlastnosti sýrů se dramaticky mění v průběhu přeměny mléka ve zralou sýrovou hmotu (Fóx, 1993; Lavanchy et al., 1993). Každý zralý sýr je typický nejen svým aromatem a chutí, ale i texturou. Textura je tedy velmi citlivým měřítkem zralosti sýrů a je využívána k senzoričkému hodnocení jejich kvality. Najdeme-li souvislost mezi senzoričnými a reologickými nebo mechanickými vlastnostmi sýrů v průběhu jejich zrání a podaří-li se nám definovat rozsah těchto přístrojově měřených parametrů, v němž hodnotitelé považují daný produkt za vyhovující, máme jeden z objektivních nástrojů k hodnocení zralosti sýrů (Rohm et al., 1992a, b).

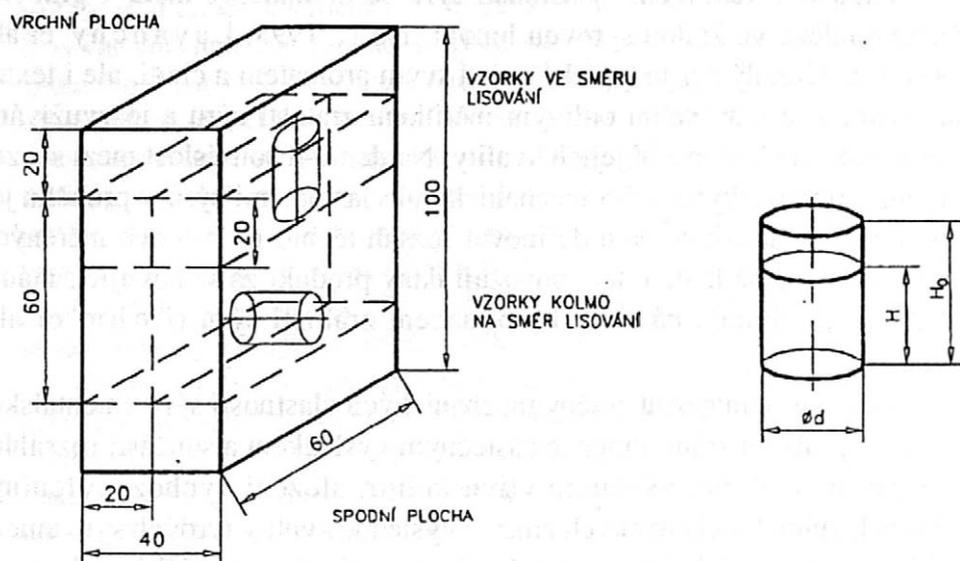
Snažili jsme se mapovat změny mechanických vlastností sýrů ementálského typu v průběhu zrání. Práce je částečným výsledkem a součástí rozsáhlého experimentálního výzkumu vlivu kultur, složení výchozí sýřeniny, podmínek zrání, biochemických změn a výsledné kvality tvrdých sýrů ementálského typu, který byl proveden Výzkumným ústavem mlékárenským ve spolupráci s Ústavem chemie a analýzy potravin FPBT – VŠCHT Praha a VÚP Praha s podporou mezinárodního grantu PECO-EU, kontrakt č. CIPE CT 92 6132 (Dráb, Houška, 1994, 1995).

Cílem této práce je prezentovat získané výsledky z oblasti sledování mechanických vlastností sýrů v průběhu zrání a ověřit existenci korelací mezi mechanickými a texturními vlastnostmi během tohoto děje. Dále je cílem ověřit existenci korelací mezi ostatními důležitými parametry zralých sýrů (existence prasklin) a mechanickými parametry stanovenými v průběhu zrání.

## MATERIÁL A METODY

### Měření mechanických vlastností

Vzorky byly po dodání skladovány v chladničce. Před vlastním měřením byly ponechány cca dvě hodiny v místnosti s teplotou  $23 \pm 2$  °C. Vzorky sýrů byly vykrojeny ve tvaru kvádrů z centra bochníku a dále krájeny podle schématu (obr. 1). Nejprve byla odkrojena vrchní a spodní část bochníku o tloušťce cca 20 mm. Poté byl vzniklý kvádr rozříznut svisle strunou na dva plátky silné 20 mm. Z těchto plátků byly vykrajovány korkovrtem vzorky válečků o průměru 15 mm kolmo na směr lisování. U vzorků základního stupně zralosti (před kvasným sklepem) byly vykrajovány vzorky válečků ještě ve směru lisování tak, že z jednoho plátku byly vykrájeny kvádříky o výšce 20 mm (obr. 1).



vrchní plocha – upper surface; vzorky ve směru lisování – samples in the direction of compression; vzorky kolmo na směr lisování – samples perpendicularly to the direction of compression; spodní plocha – lower surface

1. Schéma přípravy vzorků sýrů pro stlačování mezi dvěma deskami – A scheme of preparation of cheese samples for compression between two plates

Stlačování válečků se provádělo na univerzálním zkušebním přístroji Instron 1140 (High Wycombe, Velká Británie) mezi dvěma paralelními deskami mírně mazanými silikonovým olejem, aby se zabránilo vlivu adheze čel válečků na získávané výsledky. Rychlost stlačování pohyblivé horní desky byla volena 100 mm za minutu. Při stlačování se měřila síla působící na horní pohyblivou se desku od okamžiku kontaktu desky se vzorkem. Maximální relativní stlačení vzorku bylo zvoleno 80% tak, aby se dosáhlo destrukce vzorku. Naměřené hodnoty sil a relativních deformací byly zpracovány do tzv. zatěžovací křivky. Typický příklad této křivky je uveden na obr. 2. Na křivce se vyhodnocovaly charakteristické údaje: maximální síla  $F_{\max}$ , relativní deformace  $D_{\max}$ , při níž je dosaženo maximální síly, plocha pod křivkou do dosažení maxima  $A_{\max}$ , příkon  $P_{\max}$  a tuhost  $\tan \alpha$ . Z tuhosti se pak vyhodnotila další veličina – zdánlivý modul pružnosti  $E$ . Vztahy použité k vyhodnocení těchto veličin:

$$D = \frac{H_0 - H}{H_0} \cdot 100 \quad [1]$$

$$P_{\max} = \frac{A_{\max}}{t_{\max}} \quad [2]$$

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{\pi d^2/4} \quad [3]$$

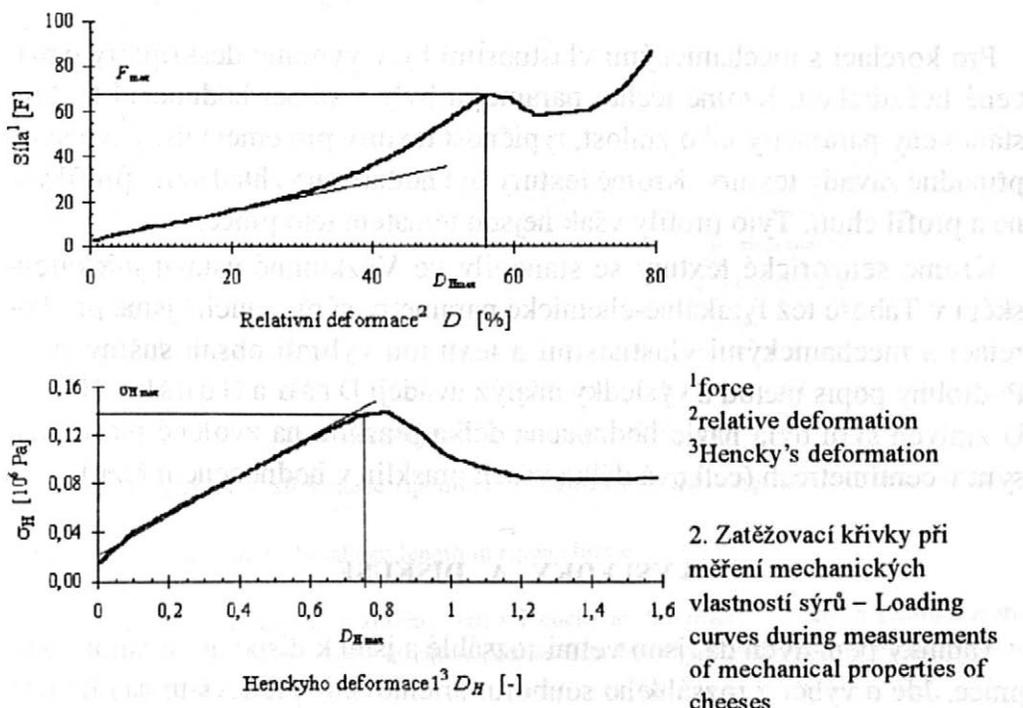
$$E = \frac{tg \alpha}{\pi d^2/4} \quad [4]$$

Alternativně byly z těchto údajů vyhodnoceny parametry Henckeho (maximální napětí podle Henckeho) a deformace podle Henckeho (transformací zdrojových dat síla – relativní deformace) podle vztahů:

$$\sigma_H = \frac{4F}{\pi d^2} (1 - D/100) \quad [5]$$

$$D_H = -\ln(1 - D/100) \quad [6]$$

Paralelně s hodnocením mechanických vlastností bylo prováděno senzorké hodnocení texturních vlastností sýrů v senzorké laboratoři FPBT VŠCHT. Použitá místnost odpovídala požadavkům normy ISO 8589/88



a byla vybavena šesti hodnotitelskými kóji s okénky pro podávání vzorků. Soubor hodnotitelů prošel školením v délce šest měsíců a měl šestiměsíční praxi v hodnocení. Vzorky byly připraveny a podávány v souladu s normou ISO 6658/85. Až do sensorického hodnocení byly skladovány při teplotě 4 °C. Byly předkládány v randomizovaných blocích, nejvýše dva vzorky při jednom hodnocení, na bílých porcelánových talířcích opatřených čtyřmístným číselným kódem. Plocha vzorku byla nejméně 200 cm<sup>2</sup>, aby bylo možné dostatečně vyhodnotit nepravidelnosti barvy a tvorby ok.

K hodnocení byl vytvořen profil textury. Použili jsme nestrukturované grafické stupnice s úsečkami 100 mm dlouhými. Při hodnocení textury byly hodnoceny tyto deskriptory:

přijatelnost textury celkově	0 výborná, 100 špatná
tvrdost v ústech <sup>*)</sup>	0 velmi měkký, 100 velmi tvrdý
zrnatost	0 neznatelná, 100 velmi nápadná
mazlavost	0 nepatrná, 100 velmi silná
soudržnost	0 silně drobivý, 100 zcela soudržný
elasticita mezi prsty <sup>*)</sup>	0 nepatrná, 100 velmi silná
elasticita při žvýkání <sup>*)</sup>	0 nepatrná, 100 velmi silná
žvýkatelnost <sup>*)</sup>	0 velmi houževnatý, 100 snadno žvýkatelný
tvrdost mezi prsty <sup>*)</sup>	0 velmi měkký, 100 velmi tvrdý

Pro korelaci s mechanickými vlastnostmi byly vybrány deskriptory označené hvězdičkou. Kromě těchto parametrů byly v rámci hodnocení textury stanoveny parametry jako zralost, typičnost textury pro ementálský typ sýra, případně závady textury. Kromě textury byl hodnocen vzhled sýrů, profil vůně a profil chuti. Tyto profily však nejsou tématem této práce.

Kromě sensorické textury se stanovily ve Výzkumné ústavu mlékárenském v Táboře též fyzikálně-chemické parametry sýrů, z nichž jsme pro korelaci s mechanickými vlastnostmi a texturou vybrali obsah sušiny sýra. Podrobný popis metod a výsledky analýz uvádějí D r á b a H o u š k a (1994). U zralých sýrů byla navíc hodnocena délka prasklin na zvolené ploše řezu sýra v centimetrech (celková délka všech prasklin v hodnoceném řezu).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

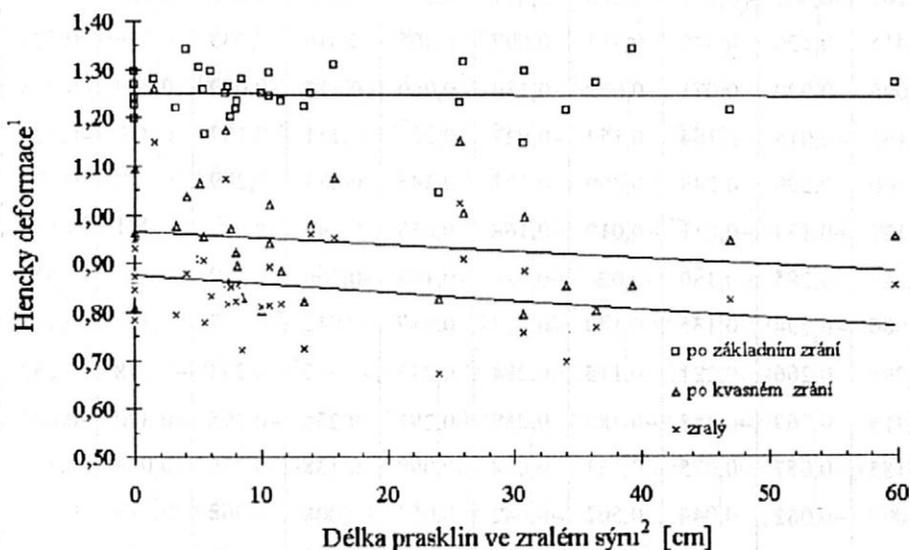
Tabulky použitých dat jsou velmi rozsáhlé a jsou k dispozici u autorů této práce. Jde o výběr z rozsáhlého souboru, orientovaný především na cíle této

práce. Inspekci hodnot a odchylek mechanických vlastností sýrů po základním zrání se dá prokázat, že maximální napětí ani Henckeho deformace při prasknutí nezávisí na směru, v němž byl vzorek odebrán, resp. že tento rozdíl nelze statisticky prokázat (výsledky K – kolmo na směr lisování, L – ve směru lisování).

Závislosti sledovaných parametrů na době zrání sýrů byly již zpracovány (D ráb, H o u š k a, 1995), a proto se jimi nebudeme zabývat. Velmi důležité je sledovat vzájemné souvislosti mezi parametry v průběhu zrání. Pokud by takové souvislosti existovaly, bylo by možné víceméně přesně predikovat na základě parametrů počátečních stadií konečné hodnoty parametrů. Za tímto účelem je provedena následující analýza získaných dat.

K analýze dat a stanovení vzájemné souvislosti jednotlivých parametrů byla použita metoda lineární korelace. Vizuální inspekci grafů všech zkoumaných závislostí bylo ověřeno, že není v datech skryta nelineární závislost, která by mohla zůstat neodhalena metodou lineární korelace.

Výsledná korelační matice je uvedena v tab. I. Parametry 1–8 jsou zde uvedeny pro sýry po základním zrání, parametry 9–16 jsou uvedeny pro sýry po



po základním zrání – after basic ripening; po kvasném zrání – hot storage; zralý – ripened cheese

<sup>1</sup>Hencky's deformation; <sup>2</sup>breakage length in ripen cheese

3. Korelace délky prasklin ve zralém sýru s Henckeho deformací v různých stadiích zrání – Correlations of breakage length in ripen cheese with Hencky's deformation in the particular stages of ripening

I. Korelace mechanických a senzorických vlastností zralých sýrů s mechanickými vlastnostmi  
nical properties during ripening

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,000									
2	0,259	1,000								
3	0,949	0,011	1,000							
4	0,333	-0,127	0,350	1,000						
5	0,296	0,987	0,060	-0,114	1,000					
6	0,958	0,363	0,902	0,341	0,398	1,000				
7	0,977	0,452	0,880	0,278	0,487	0,965	1,000			
8	0,956	0,083	0,989	0,361	0,130	0,918	0,900	1,000		
9	0,298	-0,030	0,282	0,284	-0,066	0,314	0,268	0,269	1,000	
10	0,417	0,256	0,303	0,289	0,255	0,382	0,444	0,307	0,317	1,000
11	-0,085	-0,231	-0,008	-0,006	-0,262	-0,047	-0,130	-0,020	0,616	-0,536
12	0,253	-0,017	0,242	0,664	-0,015	0,242	0,218	0,285	0,203	0,207
13	0,394	0,298	0,270	0,222	0,295	0,353	0,432	0,281	0,267	0,967
14	0,267	-0,007	0,231	0,265	-0,051	0,255	0,244	0,228	0,926	0,441
15	0,415	0,126	0,340	0,311	0,097	0,405	0,410	0,333	0,869	0,729
16	-0,096	-0,090	-0,071	-0,059	-0,130	-0,060	-0,113	-0,059	0,569	-0,478
17	0,165	-0,015	0,164	0,154	-0,033	0,221	0,151	0,137	0,470	-0,028
18	0,400	0,290	0,243	0,209	0,298	0,345	0,433	0,249	0,207	0,901
19	-0,127	-0,154	-0,031	-0,012	-0,168	-0,053	-0,148	-0,049	0,201	-0,559
20	-0,223	-0,285	-0,160	-0,026	-0,288	-0,196	-0,266	-0,197	0,077	-0,520
21	0,080	-0,294	0,135	0,140	-0,314	0,087	0,012	0,077	0,356	-0,198
22	0,298	0,206	0,221	0,113	0,214	0,236	0,312	0,253	-0,178	0,252
23	-0,315	0,269	-0,358	-0,384	0,259	-0,291	-0,235	-0,295	-0,370	-0,086
24	0,155	0,057	0,075	0,153	0,058	0,099	0,138	0,056	0,084	0,518
25	0,007	-0,062	0,044	0,502	-0,042	0,053	-0,008	0,062	0,018	0,031
26	0,363	0,242	0,219	0,197	0,257	0,287	0,390	0,227	0,148	0,867
27	0,199	0,097	0,157	0,152	0,096	0,215	0,204	0,137	0,371	0,141
28	0,347	0,126	0,257	0,222	0,115	0,364	0,348	0,233	0,500	0,473
29	-0,134	-0,090	-0,054	-0,038	-0,097	-0,072	-0,141	-0,068	0,127	-0,532
30	-0,148	-0,034	-0,097	-0,172	-0,027	-0,043	-0,131	-0,147	0,264	-0,177

během zrání – Correlations of mechanical and sensory properties of ripen cheeses with mecha

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11	1,000									
12	-0,019	1,000								
13	-0,548	0,169	1,000							
14	0,468	0,189	0,445	1,000						
15	0,162	0,221	0,682	0,899	1,000					
16	0,935	-0,082	-0,447	0,522	0,173	1,000				
17	0,387	0,265	-0,112	0,276	0,306	0,210	1,000			
18	-0,546	0,066	0,913	0,374	0,614	-0,425	-0,136	1,000		
19	0,603	0,158	-0,624	-0,041	-0,163	0,402	0,785	-0,702	1,000	
20	0,451	0,163	-0,580	-0,124	-0,242	0,286	0,527	-0,617	0,725	1,000
21	0,426	0,209	-0,296	0,142	0,121	0,227	0,648	-0,342	0,638	0,821
22	-0,339	0,070	0,263	-0,047	0,030	-0,200	-0,255	0,402	-0,408	-0,551
23	-0,195	-0,232	0,006	-0,209	-0,279	-0,004	-0,511	0,028	-0,340	-0,529
24	-0,375	0,171	0,462	0,167	0,347	-0,322	0,057	0,545	-0,317	-0,341
25	-0,041	0,667	-0,006	-0,005	0,013	-0,133	0,290	-0,131	0,262	0,256
26	-0,566	0,078	0,899	0,331	0,547	-0,441	-0,163	0,977	-0,698	-0,610
27	0,175	0,234	0,108	0,268	0,323	0,070	0,844	0,089	0,560	0,303
28	0,008	0,249	0,411	0,434	0,596	-0,076	0,819	0,436	0,297	0,134
29	0,519	0,139	-0,562	-0,073	-0,201	0,354	0,748	-0,655	0,951	0,655
30	0,379	-0,251	-0,255	0,061	0,074	0,208	0,187	-0,257	0,267	0,372

Pokr. tab. I – Table I to be continued

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21	1,000									
22	-0,377	1,000								
23	-0,823	0,255	1,000							
24	-0,106	0,624	-0,070	1,000						
25	0,268	-0,031	-0,285	0,088	1,000					
26	-0,356	0,403	0,042	0,531	-0,085	1,000				
27	0,423	-0,118	-0,413	0,190	0,359	0,141	1,000			
28	0,379	-0,010	-0,441	0,388	0,221	0,407	0,836	1,000		
29	0,534	-0,383	-0,278	-0,290	0,343	-0,606	0,678	0,315	1,000	
30	0,396	-0,585	-0,274	-0,294	-0,050	-0,327	-0,039	0,004	0,158	1,000

## Vysvětlivky k tab. I – Explanation to Table I

počet vzorků – number of samples = 40

kritická hodnota koeficientu korelace – critical value of correlation coefficient  $r_{0,05} = 0.312$ ;  $r_{0,01} = 0.402$ 

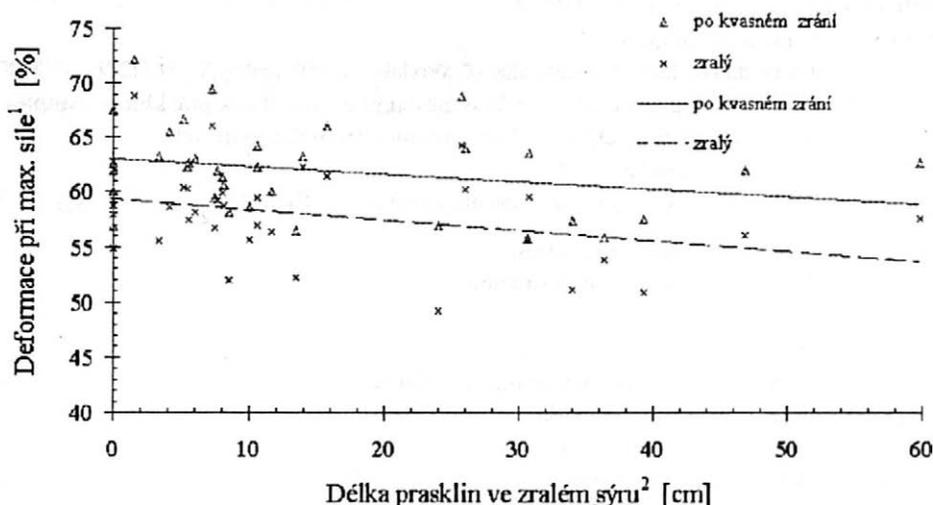
\*ze základního souboru jsou vyřazeny vzorky s nestanovenou délkou prasklin – samples in which breakage lengths were not determined are excluded from the basic set

počet vzorků – number of samples = 34

kritická hodnota koeficientu korelace – critical value of correlation coefficient  $r_{0,05} = 0.333$ ;  $r_{0,01} = 0.429$ 

1. skutečné max. napětí – actual max. stress
2. Henkyho deformace – Hencky's deformation
3. tuhost – toughness
4. sušina – dry matter
5. deformace pro max. sílu – deformation for max. force
6. práce deformační – deformation work
7. maximální napětí – maximum stress
8. modul pružnosti – module of elasticity
9. skutečné max. napětí – actual max. stress
10. Henkyho deformace – Hencky's deformation
11. tuhost – toughness
12. sušina – dry matter
13. deformace pro max. sílu – deformation for max. force
14. práce deformační – deformation work
15. maximální napětí – maximum stress
16. modul pružnosti – module of elasticity
17. skutečné max. napětí – actual max. stress
18. Henkyho deformace – Hencky's deformation
19. tuhost – toughness
20. tvrdost mezi prsty – hardness between fingers
21. tvrdost v ústech – hardness in the mouth
22. elasticita mezi prsty – elasticity between fingers
23. žvýkatelnost – chewiness
24. elasticita při žvýkání – elasticity during chewing
25. sušina – dry matter
26. deformace pro max. sílu – deformation for max. force
27. práce deformační – deformation work
28. maximální napětí – maximum stress
29. modul pružnosti – module of elasticity
30. praskliny – breakage

zrání v kvasném sklepeč (mají již vytvořena oka), parametry 17–30 jsou uvedeny pro zralé sýry. V tabulce jsou uvedeny i kritické hodnoty koeficientu korelace pro zvolenou hladinu významnosti. Parametr 30, tj. délku prasklin na řezu, nebylo možné vyhodnotit u pěti z 40 měřených vzorků. Proto byly korelace s tímto parametrem provedeny samostatně a uvádí se odlišné kritické hodnoty koeficientu korelace.



po základním zrání – after basic ripening; po kvasném zrání – hot storage; zralý – ripened cheese

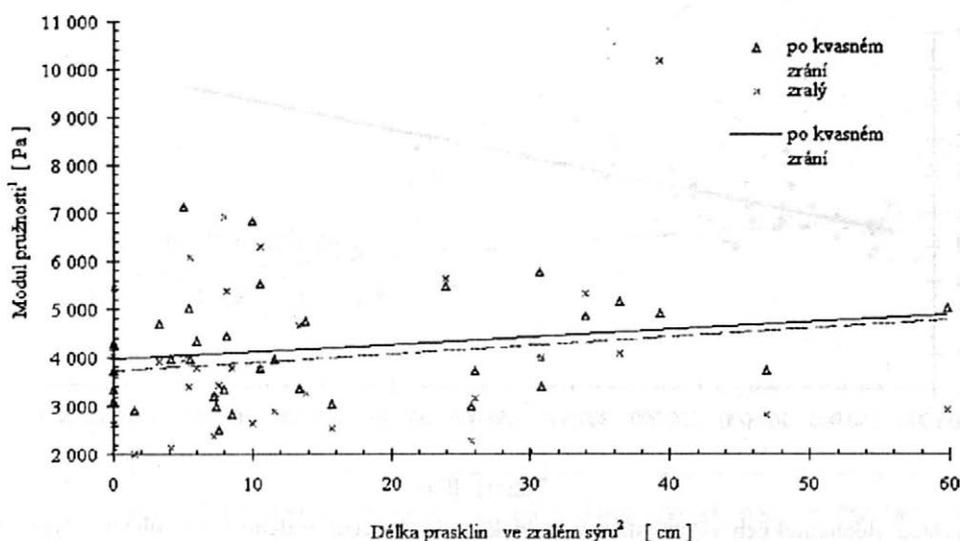
<sup>1</sup>deformation at maximum force; <sup>2</sup>breakage length in ripen cheese

4. Korelace délky prasklin ve zralém sýru s relativní deformací v různých stádiích zrání – Correlations of breakage length in ripen cheese with relative deformation in the particular stages of ripening

Na základě inspekce této tabulky je možné konstatovat, že parametry sýrů po základním zrání velmi málo korelují s parametry sýrů po kvasném zrání a se zralými sýry. Z tohoto důvodu nelze očekávat možnost predikce finální kvality sýrů na základě základního zrání. V průběhu dalšího zrání dochází k tolika biochemickým změnám (proteolýza bílkovin, tvorba ok v důsledku tvorby CO<sub>2</sub> atd.), že neexistuje jednoznačná korelace mezi mechanickými vlastnostmi sýrů po základním zrání a zralými sýry. Tento závěr lze dokumentovat i na poměrně nízké vzájemné korelaci obsahu sušiny sýrů (veličina 4 a 25,  $r = 0,502$ ).

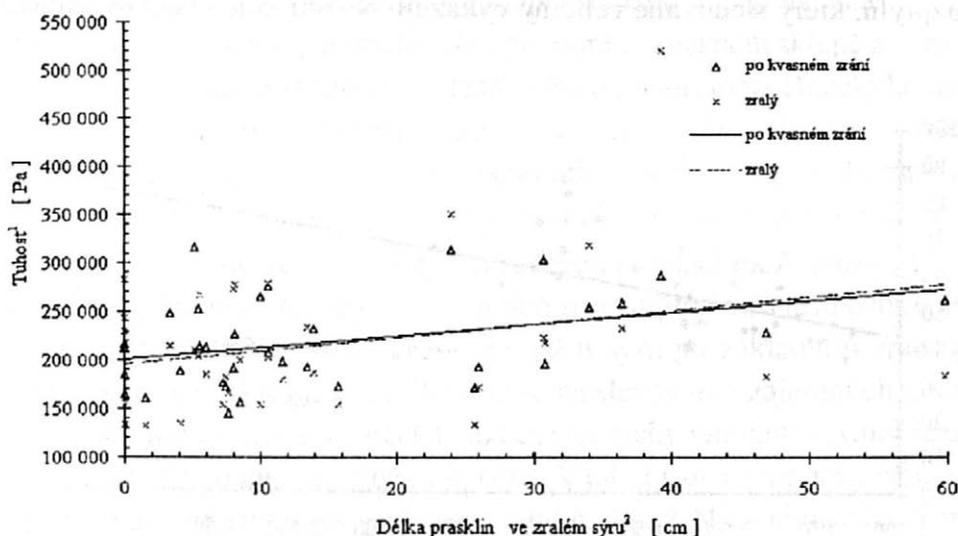
Mnohem lepší korelace (než u sýrů po základním zrání) dosahují parametry sýrů po zrání v kvasném sklepeč s parametry sýrů zralých. To dokumentují korelační koeficienty mezi veličinami č. 9 až 16 a č. 17 až 30.

Zde se jako extrémně zajímavá jeví vzájemná korelace mezi délkou prasklin a tuhostí (0,379), která je statisticky významná na hladině významnosti 0,05. Tento výsledek znamená, že s rostoucí tuhostí sýra po kvasném sklepeč roste délka prasklin ve zralém sýru. Závislost je uvedena na obr. 6, z něhož je patrné, že závislost vykazuje velký rozptyl způsobený řadou dalších parametrů.



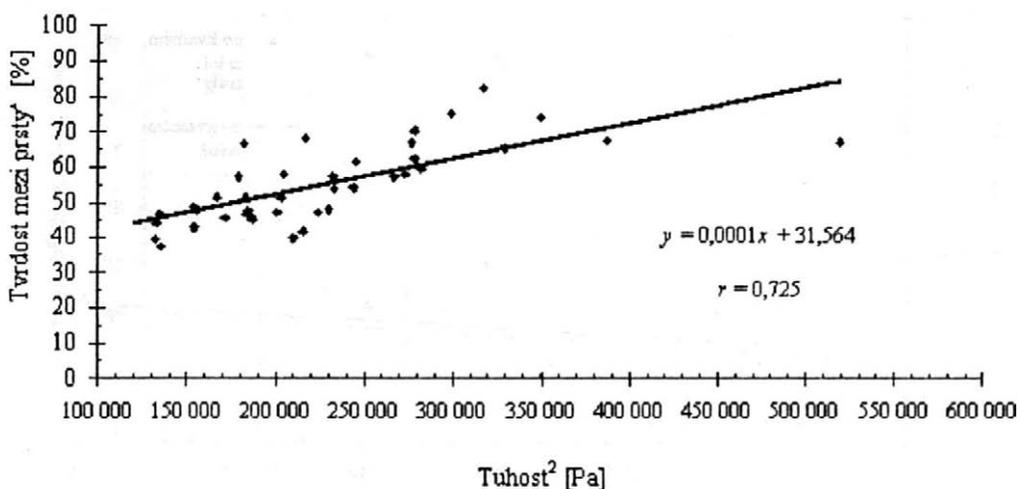
po základním zrání – after basic ripening; po kvasném zrání – hot storage; zralý – ripened cheese  
<sup>1</sup>modulus of elasticity; <sup>2</sup>breakage length in ripen cheese

5. Korelace délky prasklin ve zralém sýru s modulem pružnosti v různých stadiích zrání – Correlations of breakage length in ripened cheese with the modulus of elasticity in the particular stages of ripening



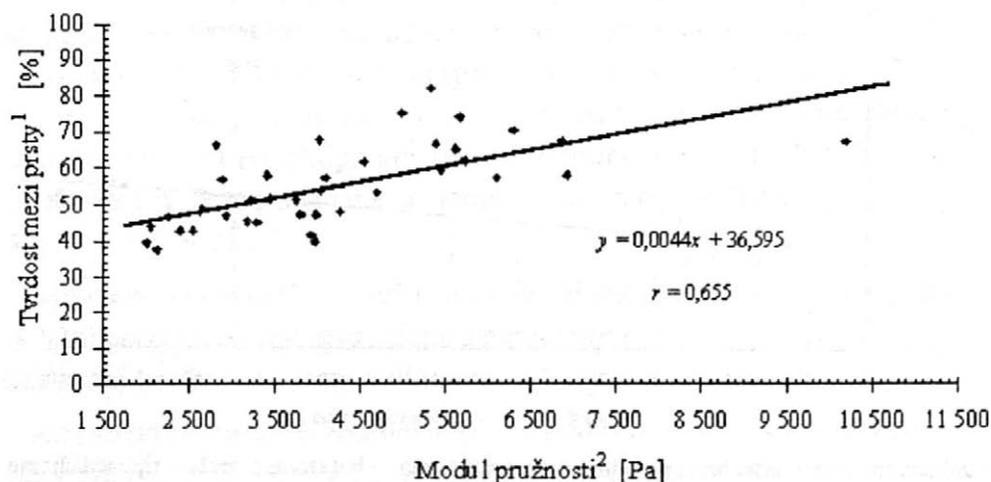
po základním zrání – after basic ripening; po kvasném zrání – hot storage; zralý – ripened cheese  
<sup>1</sup>toughness; <sup>2</sup>breakage length in ripen cheese

6. Korelace délky prasklin ve zralém sýru s tuhostí v různých stadiích zrání – Correlations of breakage length in ripened cheese with toughness in the particular stages of ripening

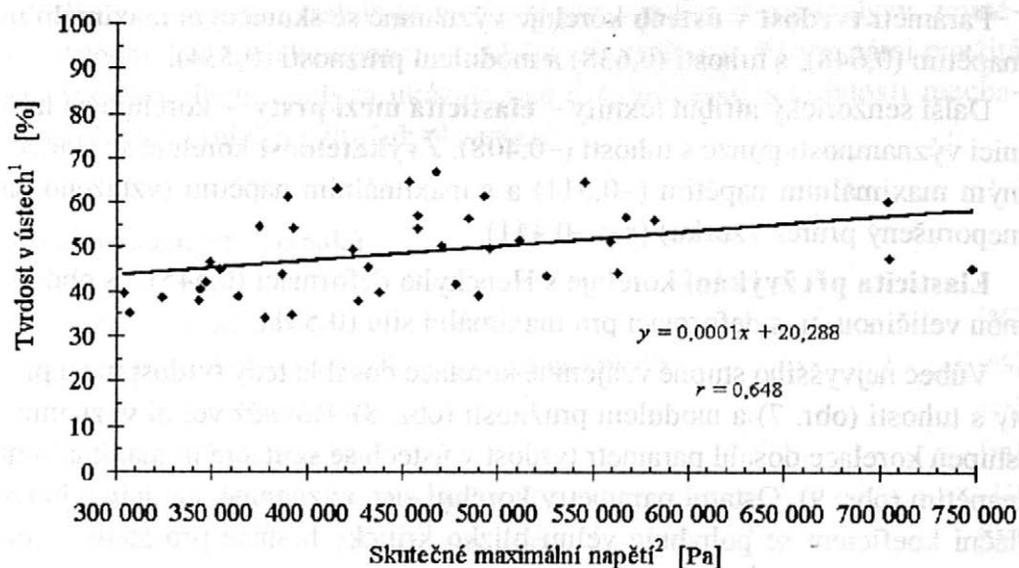


7. Korelace mechanických vlastností a senzoričkého hodnocení zralého sýra: tuhost – tvrđost mezi prsty – Correlations of mechanical properties and sensory evaluation of ripened cheese: toughness – hardness between fingers

Na obr. 3 až 5 jsou uvedeny závislosti dalších mechanických vlastností sýrů po zrání v kvasném sklepě na délce prasklin. Z obr. 3 a 4 je patrný pokles délky prasklin s rostoucí deformací, pro stadium po zrání v kvasném sklepě nebo u zralých sýrů. Závislosti nejsou statisticky průkazné vzhledem k rozptylu, který sledované veličiny vykazují. Na obr. 5 je uvedena závislost



8. Korelace mechanických vlastností a senzoričkého hodnocení zralého sýra: modul pružnosti – tvrđost mezi prsty – Correlations of mechanical properties and sensory evaluation of ripened cheese: modulus of elasticity – hardness between fingers



9. Korelace mechanických vlastností a sensorického hodnocení zralého sýra: skutečné maximální napětí – tvrdost v ústech – Correlations of mechanical properties and sensory evaluation of ripened cheese: actual maximum stress – hardness in the mouth

modulu pružnosti sýrů na délce prasklin. S rostoucím modulem pružnosti roste délka prasklin, avšak závislost je opět statisticky neprůkazná.

Mezi mechanickými parametry sýrů po zrání v kvasném sklepe a sýrů zralých existují v řadě případů velmi těsné vztahy, např. mezi Henkyho deformacemi ( $r = 0,901$ ), deformacemi pro maximální sílu ( $r = 0,899$ ) a maximálními napětími ( $r = 0,596$ ) nebo tuhostmi ( $r = 0,603$ ). To znamená, že po zrání v kvasném sklepe se již mechanické vlastnosti příliš nemění.

Dále se zaměříme na stanovení vzájemných korelací mezi sensoricky stanovenými parametry textury sýrů a jejich mechanickými vlastnostmi. Přestože byla sledována textura sensoricky již u sýrů po základním zrání a po zrání v kvasném sklepe, zaměřili jsme se na sledování vzájemných korelací jen u zralých sýrů. Lze totiž očekávat, že sensoricky vnímaná textura je u nezralých sýrů tímto faktem silně ovlivněna. V tab. I jsou sensoricky stanovené parametry textury uvedeny pod položkami č. 20 až 24. S nimi více či méně korelují parametry č. 17 až 19 a č. 26 až 29. Nejvyšších stupňů korelace dosahuje parametr **tvrdost mezi prsty** se skutečným maximálním napětím ( $r = 0,525$ ), s Henkyho deformací ( $-0,617$ ) a zejména s tuhostí ( $0,725$ ). Dále tento sensorický parametr koreluje s deformací při maximální síle ( $-0,610$ ) a modulem pružnosti ( $0,655$ ).

Parametr **tvrdost v ústech** koreluje významně se skutečným maximálním napětím (0,648), s tuhostí (0,638) a modulem pružnosti (0,534).

Další sensorický atribut textury – **elasticita mezi prsty** – koreluje na hranici významnosti pouze s tuhostí (-0,408). **Žvýkatelnost** koreluje se skutečným maximálním napětím (-0,511) a s maximálním napětím (vztaženo na neporušený průřez vzorku) ( $r = -0,441$ ).

**Elasticita při žvýkání** koreluje s Henckeho deformací (0,545) a s obdobnou veličinou, tj. s deformací pro maximální sílu (0,531).

Vůbec nejvyššího stupně vzájemné korelace dosáhla tedy tvrdost mezi prsty s tuhostí (obr. 7) a modulem pružnosti (obr. 8). Rovněž velmi významný stupeň korelace dosáhl parametr tvrdost v ústech se skutečným maximálním napětím (obr. 9). Ostatní parametry korelují sice významně, ale jejich korelační koeficient se pohybuje velmi blízko kritické hranice pro statistickou významnost.

Velmi zajímavým faktem je, že sušina zralého sýra nesouvisí statisticky významně s žádným parametrem (velmi málo s prací do maxima a s modulem pružnosti). To znamená, že v rozvoji sensorické textury a mechanických vlastností zralých sýrů nehraje sušina významnou roli. To platí i pro celý průběh zrání (tab. I), při němž parametr sušina koreluje vždy pouze se sušinou z jiného stadia výroby.

## Závěry

Prokázali jsme souvislost tuhosti sýrů ve stadiu zrání po kvasném sklepeč s důležitým parametrem kvality a to délkou prasklin zralých sýrů. Stupeň korelace není vysoký a je snižován dalšími vlivy působícími v průběhu zrání. Tento fakt by mohl být využit k predikci, které sýry je možné vyloučit z dalšího zrání (a zpracovat jinak), neboť budou mít tendenci k prasklinám. Je však nutné vytvořit prediktivní model zahrnující vlivy dalších parametrů.

Mechanické vlastnosti sýrů po prvním stadiu zrání nekorelují s parametry sýrů po kvasném sklepeč a sýrů zralých.

Byly prokázány statisticky významné korelace mezi sensoricky stanovenými atributy textury zralých sýrů a jejich mechanickými vlastnostmi měřenými přístrojově.

Sušina sýrů v průběhu celého zrání nekoreluje statisticky významně s mechanickými vlastnostmi ani se sensoricky stanovenými atributy textury u zralých sýrů.

Získaný soubor dat zasluhuje další podrobné zpracování a analýzy, zejména metodou hlavních komponent a shlukovou analýzou. Přesto námi použitá klasická korelační analýza ukázala některé zajímavé souvislosti mechanických, texturních a užitných vlastností.

### Seznam použitých symbolů

$D$	relativní deformace	[%]
$D_{\max}$	relativní deformace při dosažení maximální síly	[%]
$H_0$	původní výška válečku	[m]
$H$	okamžitá výška válečku	[m]
$A_{\max}$	práce na deformaci do maximální síly	[J]
$P_{\max}$	příkon na deformaci do maximální síly	[W]
$t_{\max}$	doba k dosažení maximální síly	[s]
$d$	průměr válečku	[m]
$E$	zdánlivý modul pružnosti	[Pa/%]
$\alpha$	úhel sklonu zatěžovací křivky v počátku	[deg]
$\sigma_H$	napětí podle Henckyho	[Pa]
$\sigma$	napětí v tlaku	[Pa]
$D_H$	deformace podle Henckyho	[-]
$r$	korelační koeficient	[-]

### L i t e r a t u r a

DRÁB V. – HOUŠKA, M.: Finding of influence of technological interventions and cultures selection on the final cheese quality determined by sensory, physical and chemical methods. Final report, Contract No. CIPE CT 92 6132, Dairy Research Institute, Food Research Institute, Prague 1994.

DRÁB V. – HOUŠKA, M.: Vliv rheologických vlastností na tvorbu prasklin v těstě tvrdých sýrů. In: Sbor. Konf. SYROTECH95, Žilina 1995: 99–106.

FOX, P. F. (Ed.): Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Vol. 1 and 2, 2nd. ed., London etc., Chapman and Hall 1993.

LAVANCHY, P. – BÉRODIER, F. – ZANNONI, M. – NOL, Y. – ADAMO, C. – SQUELLA, J. – HERRERO, L.: L'Evaluation sensorielle de la texture des fromages à pâte dure ou semi-dure, etude interlaboratoires, Lebensm.-Wissenschaft u. Technol., 26, 1993: 59–68.

ROHM, H. – LEDERER, H. – GINZINGER, W.: Relationship between rheological properties and composition of Emmental cheese. 2. Principal component regression. *Milchwissenschaft*, 47, 1992a: 620–624.

ROHM, H. – LEDERER, H. – GINZINGER, W.: Relationship between rheological properties and composition of Swiss-type cheese. 1. Multiple regression analysis. *Lebensm.-Wissenschaft u. Technol.*, 25, 1992b: 253–260.

Došlo 22. 2 1996

---

*Kontaktní adresa:*

Ing. Milan Houška, CSc., Výzkumný ústav potravinářský Praha, Radiová 7,  
102 31 Praha 10-Hostivař, Česká republika,  
tel.: 02/702 331, fax: 02/701 983, e-mail: vupp@vupp.anet.cz

## REOLOGICKÉ VLASTNOSTI PEKTINOVÝCH DŽEMŮ\*

## Rheological Properties of Fruit Pectin Jam

Milan HOUŠKA, Jarmila OUHRABKOVÁ, Dagmar PÁTKOVÁ, Marian CIGÁNIK,  
Karel KÝHOS

*Food Research Institute Prague, Prague, Czech Republic*

**Abstract:** This work contains the results of research on rheological properties of fruit jams with large pieces (fruit preparation for yoghurt). As a rheological parameter the yield stress measured with vane mixer was used. The yield stress was studied as a function of sort of fruit added, dose of pectin, pH and refractometric dry matter. Four types of fruit were used – strawberries, bilberries, sour cherries and pine-apple. The gels exhibit the maximum yield stress at pH = 3–3.1. The absolute value of the yield stress is influenced by an amount of pectin. The higher dose of pectin, the higher yield stress of the gel. The yield stress is slightly influenced also by the dry matter of the gel and by the sort of fruit added. Composition of fruit–sugar solution used for producing the gels is given in Table I. The evaluation of yield stress was made using torque  $M_k$  and equations [1]–[3]. Resulting data are given in Tables II–V for all studied fruits. The procedure for cooking the gel was the same as in modelled full scale vacuum cooker but no aroma or colour was used. Genu pectin 150 SAG (BA King) was used in experiments. Sugar solution with fruit lumps was heated up to 90 °C and solution of pectin was added. After mixing the pectin the mass was poured into the glass jars of 370ml volume. The citric acid solution or sodium citrate was added to adjust the requested pH value of the resulting gel. After mixing the jar was placed into the vacuum chamber and subjected to the vacuum cooling to 50 °C. The refractometric dry matter of the mass was measured after the cooling. Further cooling and gelling was achieved at the room temperature. Measurement of the yield stress was done next day after cooking. The 1cm layer of the gel was removed and vane mixer was pushed into the gel. Two independent measurements were done at the top and at the bottom of the jar (Fig. 11). The results were subjected to regression procedure and models have been received (equations [4]–[7]). The dependence of the yield stress of gels on pH exhibits the maximum (Figs. 1, 3, 5, 7). It is apparent from Figs. 2, 4, 6, 8 that the predicted and measured values of the yield stress are in very good agreement. Figs. 10 and 11 describe the vane mixer geometry. Fig. 12 describes the dependence of the relative pH value of the resulting gels on the

\* Práce byla uskutečněna ze podpory Grantové agentury ČR (č. grantu 101/93/0625).

amount of citric acid added. It is apparent from this figure that every sort of fruit has its own dependence. Fig. 9 describes maximum yield stress at optimum pH as a function of pectin added. It is apparent that the yield stress increases with increasing mass of the added pectin. We can conclude that the vane mixer is a convenient tool for evaluation of consistency of fruit preparations produced using pectin as a gelling agent. The sort of fruit and dose of pectin influence the absolute value of the yield stress of the resulting gel. The yield stress as a function of pH exhibit maximum. The received dependences can serve for changing the consistency of the resulting product after the request of the customer.

jam; fruit preparation for yogurt; yield stress; pH; pectin; dry matter; fruit

**Abstrakt:** V práci jsou uvedeny výsledky výzkumu meze toku pektinových džemů obsahujících velké kusky ovoce. Jsou uvedeny závislosti meze toku na provozních parametrech a druhu ovoce. Výsledný produkt slouží při vhodné konzistenci jako ovocná složka do jogurtů. Meze toku byly zkoumány jako funkce dávky vysoce esterifikovaného citrusového pektinu, kyselosti vyjádřené pH, refraktometrické sušiny a pro čtyři druhy ovoce (jahody, borůvky, višně, ananas). K měření meze toku bylo použito křídlové míchadlo instalované na rotačním reometru a zasouvané do gelu ve směru osy rotace tak, aby nedocházelo k porušení gelu před měřením. Ve zkoumané oblasti parametrů bylo nalezeno maximum meze toku při určité optimální kyselosti džemu  $\text{pH} = 3\text{--}3,1$ . Výše maxima je ovlivněna dávkou pektinu a druhem ovocné složky. Současně byla získána závislost pH džemů na přídatku kyseliny citronové.

džem; mez toku; pH; pektin; refraktometrická sušina; ovoce

V poslední době klesá spotřeba konzumního mléka a spotřebitelská poptávka je zaměřena spíše na zakysané mléčné výrobky. Díky zavedení výroby jogurtů s kusovitým ovocem podstatně vzrostla spotřeba jogurtů. Tyto výrobky se vyznačují příjemným aromatem, barvou a prodlouženou trvanlivostí. Donedávna se ovocná složka pro tento druh jogurtů převážně dovážela ze zahraničí, nyní je však na velmi dobré úrovni vyráběna i u nás. U této složky je důležitým parametrem konzistence, neboť každý výrobce jogurtů má jiné výrobní a plnicí zařízení a vyrábí buď jogurt s ovocnou složkou promíchanou, nebo s ovocnou složkou na dně kelímku. Těmto různým požadavkům je výrobce ovocné složky nucen přizpůsobovat konzistenci produktu.

K výrobě ovocné složky se používá buď škrob ve spojení s karagenany nebo dalšími hydrokoloidy jako pojistkou jeho případné retrogradace, nebo pektin.

Pektin má velkou přednost v tom, že tvoří součást vlákniny a že má kladný vliv na lidské zdraví. Jeho nevýhodou je, že je snadněji tepelně a mechanicky degradovatelný. Existují dnes však takové druhy pektinů (Anonymus), které umožňují připravit ovocné jogurtové složky mající tixotropní vlastnosti, tj. po čerpání jsou schopny opět zvýšit svoji konzistenci a tak produkt ponechaný v klidu zahustit (dno kelímku).

Cílené ovlivnění reologických vlastností u průmyslově vyráběných pektinových džemů není snadnou záležitostí a vyžaduje značné praktické zkušenosti platné pravděpodobně vždy pro dané výrobní zařízení. Podle provozních zkušeností s aseptickým zařízením AV-630, jehož výrobcem je VÚPP, bylo zjištěno, že nejlépe se regulují reologické vlastnosti pektinových džemů za jinak stejných podmínek (rychlost chlazení, druh pektinu, způsob a doba jeho přidání) pomocí regulace hodnoty pH a samotnou velikostí přídavku pektinu.

Cílem této práce bylo zjištění vlivu obou těchto technologických parametrů na reologické vlastnosti pektinových džemů s kusovitým ovocem.

## MATERIÁL A METODY

Postup výroby byl laboratorně modelován s využitím znalosti receptur průmyslově vyráběného kusového ovoce. Výsledné džemy se však lišily tím, že do nich nebylo přidáváno ani aroma ani barva. Dávky těchto složek jsou však relativně velmi malé, takže lze očekávat malé ovlivnění výsledných reologických vlastností produktů.

### Použité suroviny

1. 50% roztok kyseliny citronové.
2. 6% suspenze GENU HM pektinu 150 SAG firmy The Copenhagen Pektin Factory Denmark (BA King). Suspenze byla připravována při každém varu čerstvým rozpuštěním práškovitého pektinu ve vodě teplé 80 °C (mícháno 1 min šlehačem). Druh pektinu byl takový, jaký se běžně užívá ve výrobní praxi modelovaného provozu.
3. 50% roztok citranu sodného.
4. Kouskovité ovoce rozvařené s cukrem (meziprodukt z výroby v závodě Brilliant Horní Počernice). V tab. I jsou uvedeny hodnoty pH a refraktometrické sušiny jednotlivých druhů včetně obsahu vápníku stanoveného metodou atomové spektrální analýzy.

## I. Použité výchozí suroviny k modelování – Original raw materials used for modelling

Ovoce <sup>1</sup>	RS [%]	pH <sub>0</sub> [-]	Ca [mg/kg]
Jahody <sup>2</sup>	63,4	3,30	181
Ananas <sup>3</sup>	66,5	3,84	88
Višně <sup>4</sup>	67,3	3,36	128
Borůvky <sup>5</sup>	68,2	3,10	36

<sup>1</sup>fruit; <sup>2</sup>strawberry; <sup>3</sup>pine-apple; <sup>4</sup>sour cherries; <sup>5</sup>blueberries

### Pracovní postup

1 200 g suroviny bylo ve vodní lázni za stálého míchání zahřáto na 90 °C. Pak bylo přidáno vypočtené množství roztoku pektinu tak, aby jeho výsledná koncentrace byla 0,4 0,6 a 0,8 %. Směs byla prohřívána za stálého míchání dvě minuty. Poté byla ovocná hmota rozvážena po 400 g do sklenic o obsahu 370 ml a byl přidán roztok kyseliny citronové nebo citranu sodného tak, aby bylo dosaženo škály pH v rozmezí 2,5–3,4. Byly odebrány vzorky pro měření refraktometrické sušiny a pH. Džemy byly vakuově ochlazeny na 50 °C a odvzdušněny ve vakuovaném exikátoru. Další chlazení probíhalo při teplotě místnosti.

Refraktometrická sušina byla měřena na refraktometru Carl Zeiss Jena a pH na pH-metru Radiometer Copenhagen. Po 24 hodinách byly měřeny reologické vlastnosti džemů. Nejprve byla odstraněna svrchní vrstva gelu o tloušťce cca 1 cm a poté aplikovány reologické metody.

První metodou byla penetrometrie. Při tomto způsobu měření byl do neporušeného gelu vpichován kužel penetrometru vyrobený z plastu (silon) a odečítána hloubka vpichu po 5 sec vnikání. Toto měření bylo však velmi citlivé na přítomnost kousků na hladině gelu a vykazovalo značný rozptyl hodnot. Proto výsledky těchto měření nebudeme dále uvádět.

Reologické vlastnosti džemů byly nadále (vzhledem k existujícím kouskům ovoce) měřeny rotačním křídlovým míchadlem (Castel-Perez et al., 1991). Rozměry míchadla jsou patrné z obr. 10. Z reologických vlastností gelů je vhodné stanovit statickou mez toku. Míchadlo bylo zasunuto do vzniklého gelu shora tak, aby nedošlo k jeho poškození. Poté byla spuštěna rotace míchadla velmi pomalými otáčkami (4b, tj. 1,5 ot/min) a zaznamenáván průběh krouticího momentu na liniovém zapisovači TZ 4200 (Laboratorní přístroje Praha). Jako krouticí moment na mezi toku byla odečtena

hodnota odpovídající maximu na záznamu. Toto maximum odpovídá okamžiku prokrojení gelu hranami křídel míchadla. Po provedení prvního měření bylo míchadlo zasunuto hlouběji do sklenice s džemem (obr. 11) a měření bylo opakováno. Byly tak získány dvě hodnoty meze toku pro daný vzorek džemu, tj. hodnota u hladiny (vrch) a hodnota u dna (dno). K měření krouticího momentu a k pohonu míchadla byl použit rotační reometr Rheotest 2 (Prüfgerätewerk Medingen, SRN).

Pro křídlová míchadla platí vztah (Castel-Perez et al., 1991):

$$\tau_0 = \frac{2M_k}{\pi D^3 [H/D + 1/3]} \quad [1]$$

kam můžeme dosadit za rozměry míchadla z obr. 10 a za krouticí moment pro rozsah I  $M_k = 9,65 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha$  a pro rozsah II  $M_k = 95,32 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha$  a získáme dva vztahy pro dva rozsahy krouticího momentu přístroje Rheotest 2:

$$\tau_0^I = 2,625 \cdot \alpha \quad [2]$$

$$\tau_0^{II} = 25,914 \cdot \alpha \quad [3]$$

kde  $\alpha$  je výchylka přístroje Rheotest 2 v dílcích stupnice

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Naměřené hodnoty mezí toku jsou spolu s hodnotami technologických parametrů uvedeny v tab. II–V postupně pro jahodové, ananasové, višňové a borůvkové džemy. Z tabelárních dat je patrné, že se meze toku u hladiny a u dna příliš neliší. Dále je patrné, že mez toku v závislosti na pH vykazuje určité maximum.

Vzhledem k tomu, že cílem práce bylo stanovení vlivu jednotlivých technologických parametrů na reologické vlastnosti, tj. na mez toku, byl hledán matematický model meze toku jako funkce těchto parametrů. Vynesením naměřených dat mezí toku jako funkce pH pro danou sušinu a dávku pektinu PE bylo zjištěno, že tato závislost je přibližně parabolická. Pro vystižení závislosti meze toku na obsahu pektinu byla zvolena mocninová funkce. Pro vystižení vlivu refraktometrické sušiny na mez toku byla zvolena lineární funkce.

## II. Naměřené hodnoty mezí toku pro jahodové džemy – The measured values of yield stress for strawberry jams

Č. měření <sup>1</sup>	RS [%]	pH	Přídavek kyseliny <sup>2</sup> [%]	PE	τ <sub>0</sub> [Pa]	
					vrch <sup>3</sup>	dno <sup>4</sup>
1	63,0	2,80	0,98	0,5	165	252
2	63,0	2,90	0,60	0,5	311	492
3	63,0	3,10	0,30	0,5	265	389
4	63,0	3,29	0,00	0,5	2,1	2,1*
5	63,0	2,80	0,80	0,5	152	200
6	67,5	3,05	0,68	0,36	7,9	6,3*
7	64,9	2,85	0,55	0,6	33	29
8	65,3	2,90	0,55	0,8	263	287
9	62,1	3,20	0,12	0,7	739	674
10	61,9	3,05	0,26	0,7	972	790
11	61,7	2,90	0,51	0,7	874	816
12	61,4	2,65	1,01	0,7	505	635

\* gel nevznikl – no gel was created

<sup>1</sup>measuring no.; <sup>2</sup>acid addition; <sup>3</sup>pitch; <sup>4</sup>bottom

Nelineární regresí metodou nejmenších čtverců byly stanoveny konkrétní hodnoty parametrů matematického modelu pro daný druh džemu.

Konkrétní získané vztahy spolu s rozsahy platnosti a vypočtenou chybou funkce, tj. střední odchylkou naměřených a z modelu vypočtených mezí toku, jsou následující:

### Jahody

$$\tau_0 = -39\,025 \cdot PE^{-0,0557} + 23\,892 \cdot PE^{-0,0286} \cdot pH - 4\,067 \cdot PE^{0,0594} \cdot pH^2 + 91,2 \cdot RS$$

Vztah platí v rozsahu RS = 61,4–63 %, pH = 2,65–3,29, PE = 0,36–0,7 %. Chyba funkce činí  $s_f = 43$  Pa.

## III. Naměřené hodnoty mezi toku pro ananasové džemy – The measured values of yield stress for pine-apple jams

Č. měření <sup>1</sup>	RS [%]	pH	Přídavek kyseliny <sup>2</sup> [%]	PE	τ <sub>0</sub> [Pa]	
					vrch <sup>3</sup>	dno <sup>4</sup>
1	60,7	2,80	1,31	0,8	2332	2190
2	60,5	2,71	1,74	0,8	2229	1801
3	60,2	2,57	2,16	0,8	1892	1335
4	60,4	2,53	2,79	0,8	1633	2073
5	61,5	3,12	0,66	0,8	1995	2332
6	62,3	3,43	0,22	0,8	54	38
7	64,5	3,34	0,34	0,6	453	440
8	63,8	3,21	0,50	0,6	1555	1840
9	63,7	3,14	0,68	0,6	1814	2358
10	62,7	3,06	0,81	0,6	1697	2021
11	62,9	2,97	1,01	0,6	1814	2086
12	62,1	2,74	2,05	0,6	959	1049
13	65,5	3,43	0,35	0,4	207	165
14	65,3	3,28	0,51	0,4	609	648
15	65,3	3,16	0,70	0,4	816	713
16	65,2	3,12	0,84	0,4	790	1024
17	65,5	3,07	1,04	0,4	829	959
18	65,2	2,75	2,11	0,4	220	479

<sup>1</sup>measuring no.; <sup>2</sup>acid addition; <sup>3</sup>pitch; <sup>4</sup>bottom

## Ananas

$$\tau_0 = -56\,841 \cdot PE^{-0,0708} + 43\,164 \cdot PE^{-0,0755} \cdot pH - 7\,725 \cdot PE^{0,1833} \cdot pH^2 + 8,65 \cdot RS$$

Vztah platí v rozsahu RS = 60,2-65,5 %, pH = 2,53-3,43, PE = 0,4-0,8 %.

Chyba funkce činí  $s_f = 148$  Pa.

## IV. Naměřené hodnoty mezi toku pro višňové džemy – The measured values of yield stress for sour cherry jams

Č. měření <sup>1</sup>	RS [%]	pH	Přídavek kyseliny <sup>2</sup> [%]	PE	τ <sub>0</sub> [Pa]	
					vrch <sup>3</sup>	dno <sup>4</sup>
1	60,7	3,16	0,33	0,8	1 892	1 529
2	60,7	3,11	0,48	0,8	2 177	1 943
3	60,5	3,05	0,66	0,8	2 138	1 684
4	60,6	3,00	0,79	0,8	2 306	1 762
5	62,0	2,95	0,98	0,8	2 280	1 503
6	60,7	2,76	1,95	0,8	1 865	1 607
7	63,8	3,33	0,00	0,6	155	207
8	63,8	3,19	0,23	0,6	855	739
9	63,6	3,00	0,79	0,6	907	764
10	64,1	2,94	1,12	0,6	1 037	972
11	62,6	2,81	1,68	0,6	920	752
12	62,3	2,70	2,33	0,6	881	713
13	64,8	3,29	0,12	0,4	518	337
14	64,7	3,14	0,47	0,4	674	466
15	64,9	3,03	0,81	0,4	570	544
16	64,6	2,90	1,39	0,4	531	622
17	64,0	2,79	2,29	0,4	441	259
18	64,2	2,66	2,96	0,4	264	207

<sup>1</sup>measuring no.; <sup>2</sup>acid addition; <sup>3</sup>pitch; <sup>4</sup>bottom

## Višně

$$\tau_0 = -144\,753 \cdot PE^{-2,208} + 101\,001 \cdot PE^{-2,263} \cdot pH - 17\,156 \cdot PE^{2,276} \cdot pH^2 + 13 \cdot RS$$

Vztah platí v rozsahu RS = 60,5–65 %, pH = 2,70–3,33, PE = 0,4–0,8 %. Chyba funkce činí  $s_f = 130$  Pa.

V. Naměřené hodnoty mezi toku pro borůvkové džemy – The measured values of yield stress for bilberry jams

Č. měření <sup>1</sup>	RS [%]	pH	Přídavek kyseliny <sup>2</sup> [%]	PE	τ <sub>0</sub> [Pa]	
					vrch <sup>3</sup>	dno <sup>4</sup>
1	62,5	2,77	0,72	0,8	1 425	1 814
2	62,2	2,84	0,54	0,8	1 594	1 373
3	62,4	2,90	0,36	0,8	1 918	1 788
4	61,6	3,08	0,00	0,8	1 296	1 140
5	61,4	3,28	0,06*	0,8	363	389
6	61,8	3,34	0,14*	0,8	26	26
7	63,8	2,72	0,68	0,6	713	790
8	63,8	2,78	0,54	0,6	790	850
9	63,7	2,85	0,38	0,6	907	850
10	63,2	2,96	0,16	0,6	855	752
11	63,2	3,05	0,00	0,6	713	726
12	63,1	3,17	0,07*	0,6	311	389
13	64,8	2,79	0,56	0,4	311	279
14	64,7	2,82	0,45	0,4	422	427
15	64,9	2,86	0,34	0,4	446	378
16	64,6	2,98	0,11	0,4	215	233
17	64,0	3,04	0,00	0,4	205	202
18	64,2	3,29	0,11*	0,4	8	13**

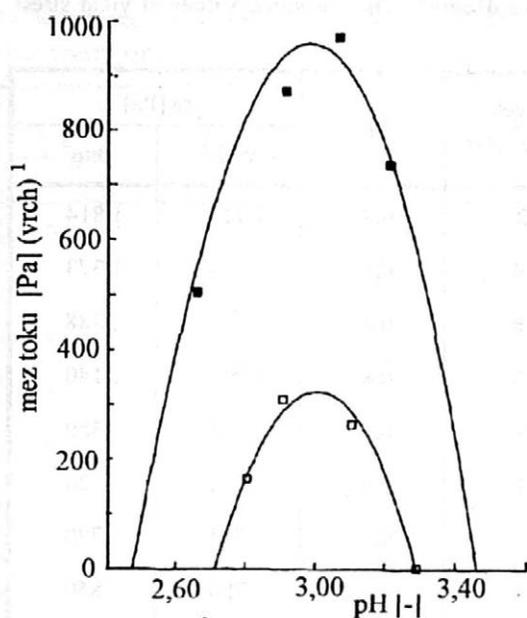
\*citrán sodný – sodium citrate; \*\*gel nevznikl – no gel was created

<sup>1</sup>measuring no.; <sup>2</sup>acid addition; <sup>3</sup>pitch; <sup>4</sup>bottom

### Borůvky

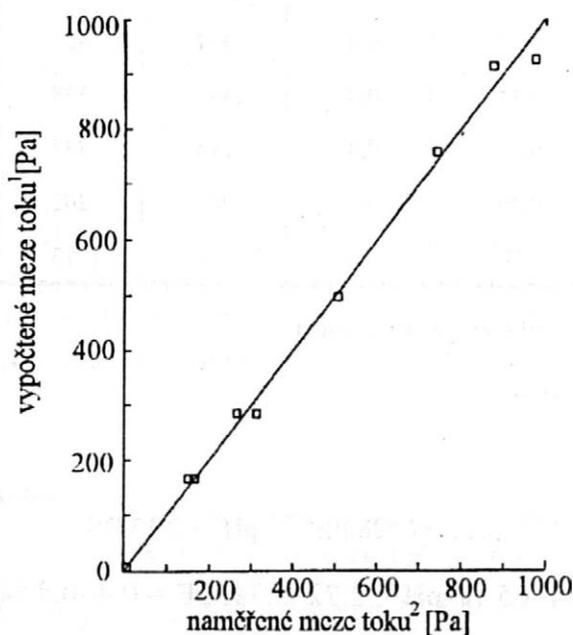
$$\tau_0 = -150\,104 \cdot PE^{-2,75} + 103\,276 \cdot PE^{-2,680} \cdot pH - 17\,428 \cdot PE^{2,609} \cdot pH^2 + 2,15 \cdot RS$$

Vztah platí v rozsahu RS = 61,4–65 %, pH = 2,72–3,34, PE = 0,4–0,8 %.  
Chyba funkce činí  $s_f = 109$  Pa.



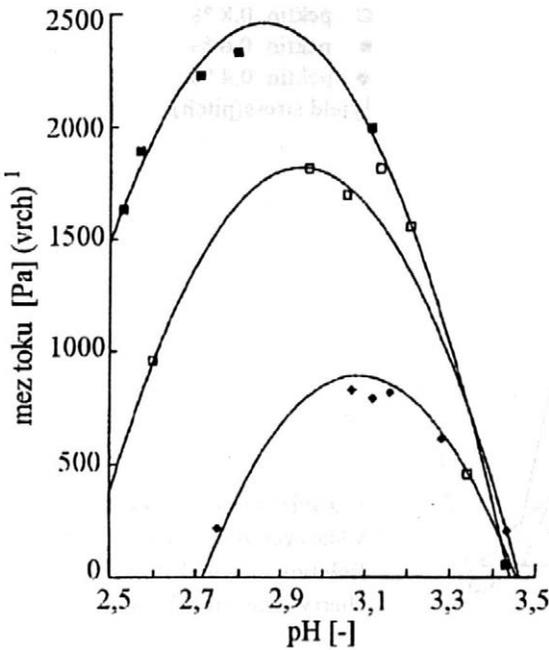
1. Závislost meze toku jahodových džemů na pH – Relation of yield stress of strawberry jams on pH values

Parabolický průběh naměřených hodnot mezí toku v závislosti na pH je patrný z obr. 1 pro jahody, z obr. 3 pro ananas, z obr. 5 pro višně a z obr. 7 pro borůvky, přičemž obsah pektinu je parametrem. Z obrázků je patrné, že



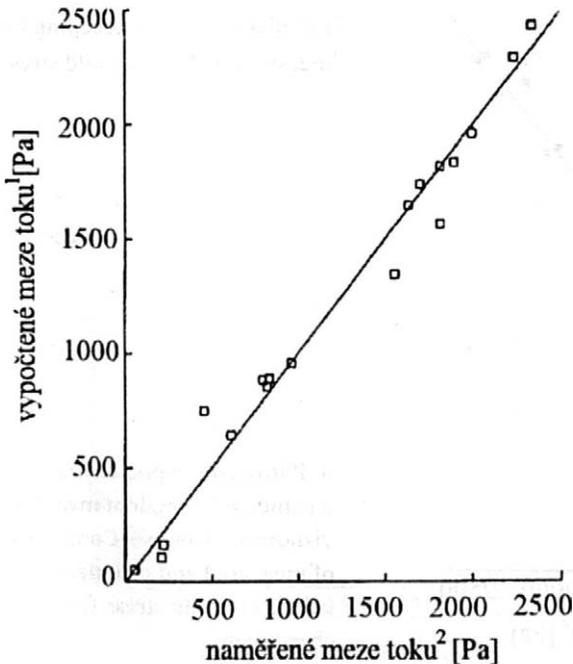
1calculate values of creeping limit; 2measured values of yield stress

2. Porovnání vypočtených a naměřených hodnot mezí toku jahodového džemu – Comparison of measured and calculated values of yield stress for strawberry jams



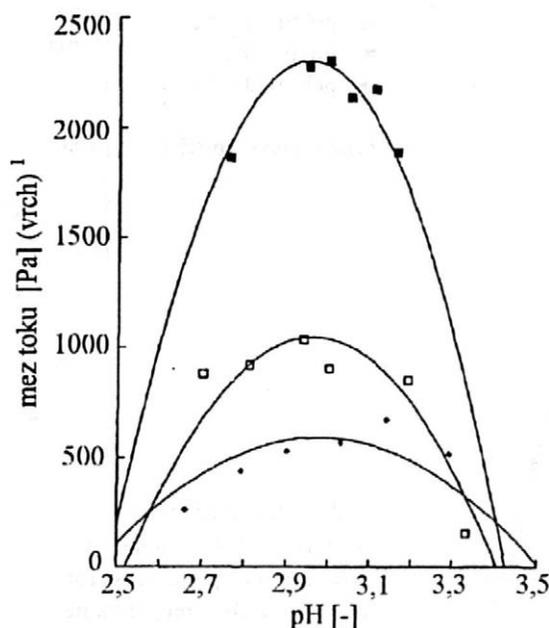
3. Závislost meze toku ananasových džemů na pH – Relation of yield stress for pine-apple jams on pH value

závislosti vykazují zřetelné maximum meze toku pro pH v rozsahu pH = 3 až 3,1. Při vyšší i nižší kyselosti mez toku klesá. Při pH větším než 3,4 často nevznikne za 24 hodin od přípravy džemu gel. U ananasu se pH, při němž nastává maximum meze toku, posouvá s rostoucím obsahem pektinu směrem k nižším hodnotám (obr. 3).



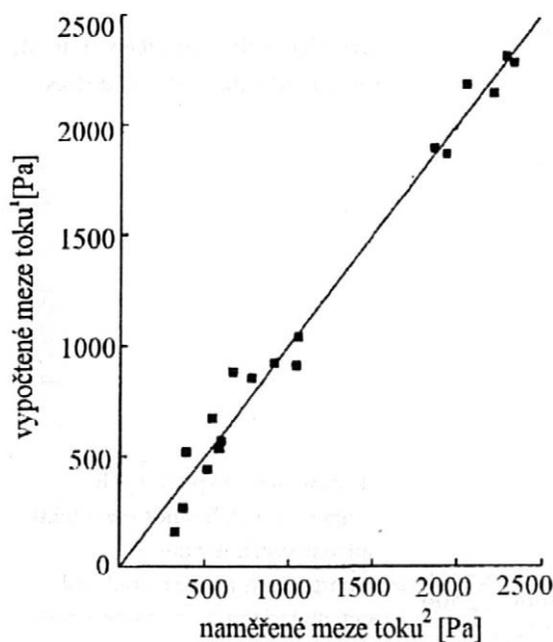
1calculate values of creeping limit;  
2measured values of yield stress

4. Porovnání vypočtených a naměřených hodnot meze toku ananasových džemů – Comparison of measured and calculated values of yield stress for pine-apple jams



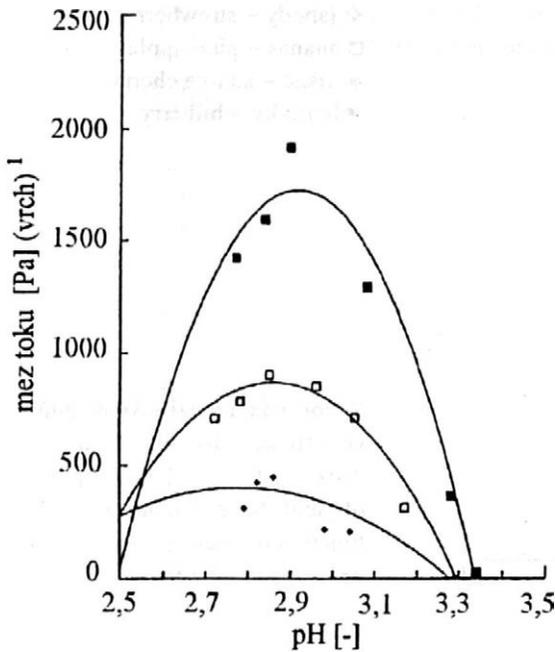
5. Závislost meze toku višňových džemů na pH – Relation of yield stress for sour cherry jams on pH value

Závislosti meze toku pro optimální pH na obsahu pektinu pro jednotlivé druhy džemů jsou uvedeny na obr. 9. Je patrné, že s rostoucím obsahem pektinu mez toku džemů roste, avšak absolutní hodnoty se u jednotlivých druhů ovoce liší. Důvodem může být fakt, že i samo ovoce nese určité množství

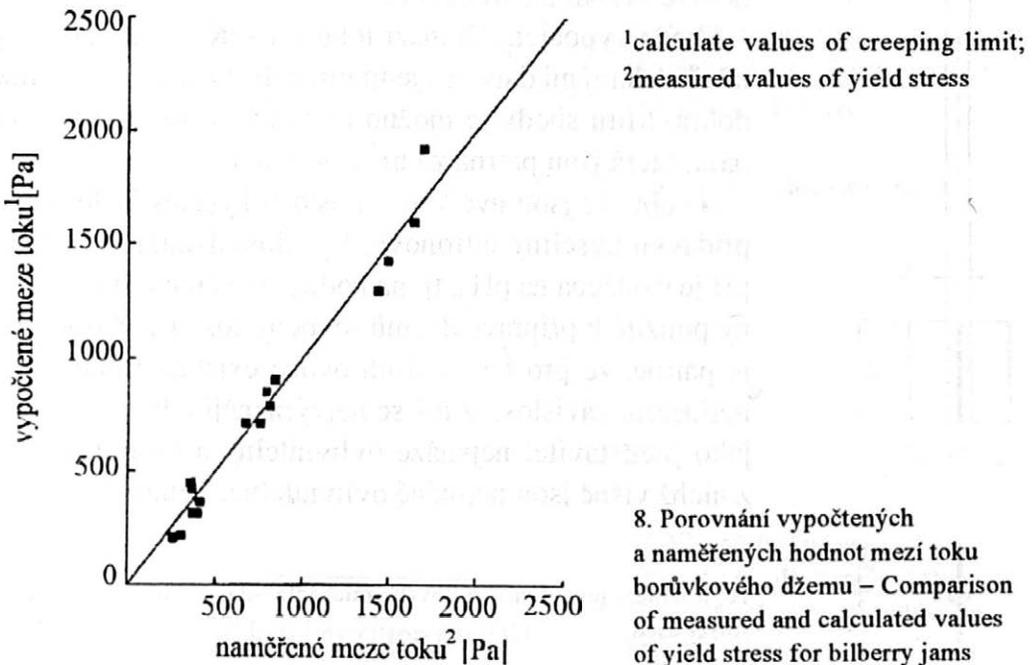


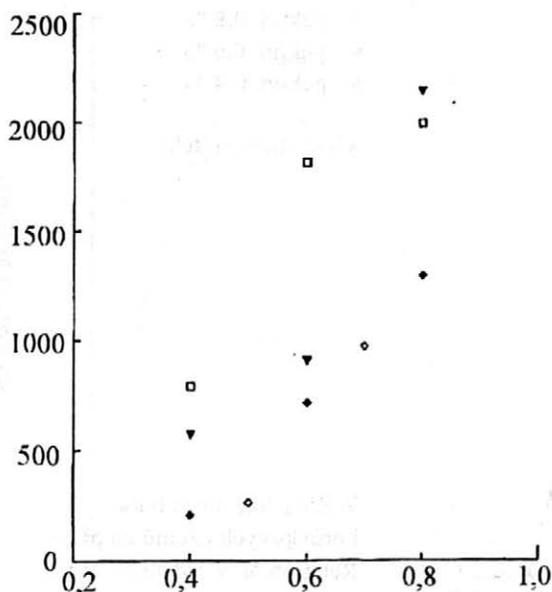
<sup>1</sup>calculate values of creeping limit;  
<sup>2</sup>measured values of yield stress

6. Porovnání vypočtených a naměřených hodnot meze toku višňového džemu – Comparison of measured and calculated values of yield stress for sour cherry jams

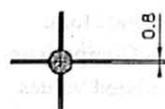
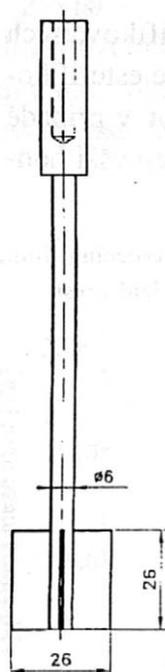


pektinu nebo vápníku. Vápník pomáhá tvořit gel u nízkoesterifikovaných pektinů a má mít malý význam u námi použitého pektinu vysoce esterifikovaného (BA King). Údaje v tab. I a na obr. 9 to potvrzují, neboť v případě velkého vlivu vápníku by musely jahodové džemy vykazovat nejvyšší hod-





9. Porovnání mezi toku džemů jako funkce obsahu pektinu (pH = 3,00–3,15) – Comparison of yield stress of jams as a function of pectine content (pH = 3,00–3,15)



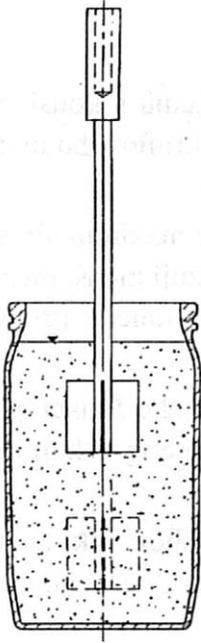
noty meze toku při dané kyselosti a obsahu pektinu. Vzhledem k tomu, že jahodové džemy vykazují spolu s borůvkovými nejmenší hodnoty meze toku, přítomností vápníku želírovací schopnost použitého druhu pektinu nebyla významně ovlivněna.

Shoda vypočtených mezí toku z modelů s experimentálně získanými daty pro jednotlivé druhy džemů je velmi dobrá. Míru shody je možno graficky posoudit z porovnání, která jsou patrná z obr. 2, 4, 6 a 8.

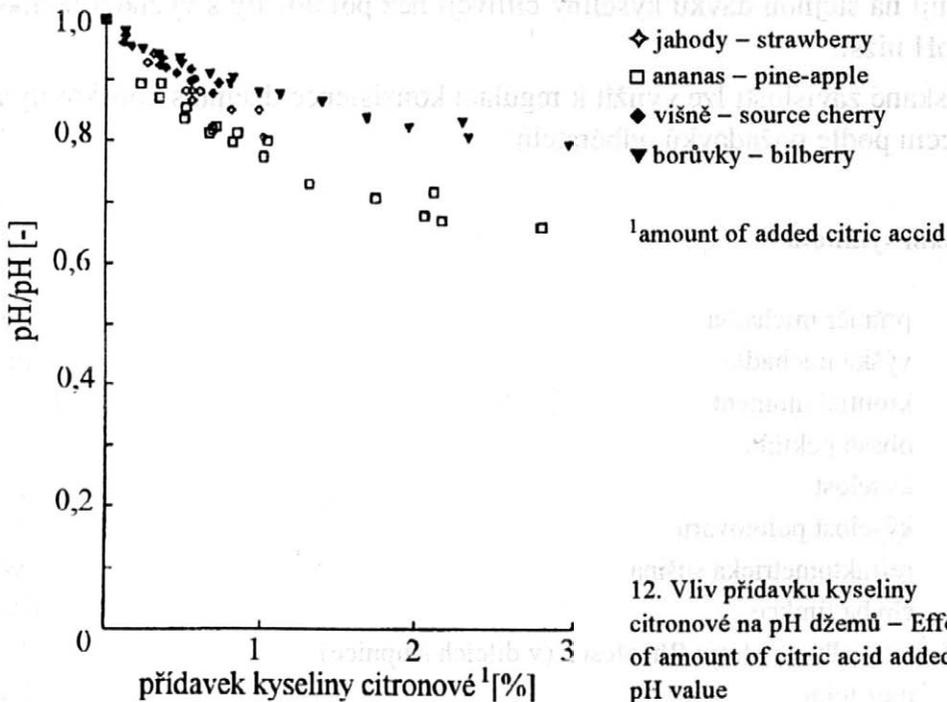
Na obr. 12 jsou uvedeny závislosti kyselosti džemů na přidavku kyseliny citronové. Kyselost džemů vyjádřená pH je vztažena na  $pH_0$ , tj. na hodnotu pH původní suroviny použité k přípravě džemů (ovocný rozvar). Z obrázku je patrné, že pro každý druh ovoce existuje samostatná nelineární závislost, z níž se nejvýrazněji odlišují ananas jako představitel nejsnáze ovlivnitelný a ostatní druhy, z nichž višně jsou nejméně ovlivnitelné. Tento efekt sou-

10. Rozměry použitého křídlového míchadla – Dimension of the vane stirrer used

## 11. Uspořádání měření meze toku ovocných džemů – Layout of measurements of fruit jam yield stress



visí zřejmě s obsahem kyselin obsažených ve vlastním ovoci nebo přidávaných při výrobě polotovaru (borůvkový polotovar kompotovaný byl pravděpodobně okyselen v průběhu výroby).



## Závěry

Vhodným parametrem pro sledování konzistence džemů s kouskovitým ovocem je mez toku. Metoda měření meze toku pomocí křídlového míchadla se osvědčila.

Mez toku džemů v závislosti na pH vykazuje výrazné maximum v oblasti pH kolem 3,0–3,1. Džemy kyselější a méně kyselé vykazují menší mez toku. Džemy kyselější však mají sklon k synerezi vody. S rostoucím přídatkem pektinu roste mez toku džemů.

Byly získány matematické modely meze toku džemů jako funkce pH, refraktometrické sušiny a obsahu pektinu, které velmi dobře vystihují experimentální data.

Nejnižší mez toku vykazují džemy vyrobené z jahod a borůvek, vyšší mez toku vykazují džemy višňové a ananasové pro jinak shodné technologické parametry (pH a obsah pektinu).

Různý obsah vápníku v surovině neovlivňuje významně mez toku džemů pro použitý druh vysoce esterifikovaného pektinu BA King 150 SAG.

Ovlivnitelnost pH přídatkem kyseliny citronové je specifická pro daný druh ovoce i použitým polotovarem. Méně kyselé polotovary jako ananas reagují na stejnou dávku kyseliny citlivěji než polotovary s výchozí hodnotou pH nižší.

Získané závislosti lze využít k regulaci konzistence džemů s kouskovitým ovocem podle požadavků odběratelů.

## Seznam symbolů

$D$	průměr míchadla	[m]
$H$	výška míchadla	[m]
$M_k$	krouticí moment	[N.m]
PE	obsah pektinu	[%]
pH	kyselost	[-]
$pH_0$	kyselost polotovaru	[-]
RS	refraktometrická sušina	[%]
$s_f$	chyba funkce	[Pa]
$\alpha$	výchylka přístroje Rheotest 2 (v dílcích stupnice)	[-]
$\tau_0$	mez toku	[Pa]

## Literatura

ANONYMUS: Handbook for the Fruit. Processing Industry, Copenhagen Pektin Fabrik, DK-4623 Lille Skensved Denmark.

CASTEL-PEREZ, E. – STEFFE, J. F. – MOREIRA, R. G.: Simple determination of power law flow curves using a paddle type mixer viscometer. J. Texture Stud., 22, 1991: 303–316.

Došlo 22. 2. 1996

---

### *Kontantní adresa:*

Ing. Milan Houška, CSc., Výzkumný ústav potravinářský Praha, Radiová 7,  
102 31 Praha 10-Hostivař, Česká republika,  
tel.: 02/702 33, fax: 02/701 983, e-mail: vupp@vupp.anet.cz

**Nejnovější informace o nových poznatcích vědy a výzkumu  
z oblasti zemědělských a potravinářských věd  
přinášejí vědecké časopisy ČAZV**

Ústav zemědělských a potravinářských informací Praha vydává z pověření České akademie zemědělských věd a za podpory Ministerstva zemědělství ČR 10 vědeckých časopisů, které uveřejňují původní vědecké práce, vědecká pojednání, studie a přehledy zahraniční literatury z odvětví zemědělství, potravinářství a lesnictví. Časopisy jsou určeny především pracovníkům výzkumu, vysokých škol, vedoucím pracovníkům, odborníkům ve šlechtitelství a semenářství, plemenářství, ochraně rostlin, veterinářství, vývojových pracovišť zemědělské techniky, zemědělských staveb aj.

Časopis	Periodicita
Rostlinná výroba (Plant Production)	12
Živočišná výroba (Animal Production)	12
Zemědělská ekonomika (Agricultural Economics)	12
Lesnictví – Forestry	12
Veterinární medicína (Veterinary Medicine – Czech)	12
Potravinářské vědy (Food Sciences)	6
Zemědělská technika (Agricultural Engineering)	4
Ochrana rostlin (Plant Protection)	4
Genetika a šlechtění (Genetics and Plant Breeding)	4
Zahradnictví (Horticultural Science)	4

**Uvedené časopisy objednávejte na adrese:**

**Ústav zemědělských a potravinářských informací  
Slezská 7  
120 56 Praha 2**

## ŽIVOTNÍ JUBILEA

### 60. narozeniny Ing. Ctibora Perlína, CSc.

Dne 7. 9. 1996 se dožil šedesáti let Ing. Ctibor Perlín, CSc. – výrazná osobnost našeho potravinářství. V letech 1954–1957 absolvoval obor konzervace potravin a technologie masa na Fakultě potravinářské technologie VŠCHT v Praze. Prošel pak několika pracovišti potravinářského průmyslu (Výzkumné pracoviště drůbežářského průmyslu, Stanice velkovýrobní techniky a technologie drůbeže, Výzkumný ústav tukového průmyslu, Vědecké pracoviště ČSAV). Delší čas pracoval ve Vojenském ústavě hygieny, epidemiologie a mikrobiologie, kde se zabýval příjmem vitaminů při stravování vojáků. Z tohoto výzkumu vycházela i jeho kandidátská disertační práce. Nejdéle působil ve Výzkumném ústavu ekonomiky zemědělství a výživy, kde zkoumal různé problémy ekonomiky výživy. Z této výzkumné činnosti vyšlo mnoho vědeckých a odborných publikací. Touto dlouholetou praxí na různých pracovištích získal Ing. Perlín velký rozhled po celé problematice potravinářského průmyslu, souvislostech se zemědělstvím, obchodem a celým národním hospodářstvím.

Teprve změny po roce 1989 umožnily Ing. Perlínovi dosažení vyšších odborných funkcí a většího uplatnění v odborných a vědeckých organizacích. Stal se nejprve vedoucím Střediska technických informací potravinářského průmyslu a po jeho sloučení s Ústavem vědeckotechnických informací pro zemědělství byl Ing. Perlín jmenován ředitelem nově založeného Ústavu zemědělských a potravinářských informací. V této funkci působí dodnes. Pod jeho vedením vydalo toto pracoviště řadu odborných studií. Pod přímým vedením ředitele Perlína byly vydány dva díly tabulek složení potravin.

Velmi rozsáhlá je činnost Ing. Perlína v ČSAZ a v její nástupkyni vzniklé po rozdělení ČSFR, tj. v České akademii zemědělských věd (ČAZV). Podílel se již na přípravách k jejímu založení a pak se stal jejím místopředsedou. V poslední době byl zvolen také předsedou Odboru pro jakost potravin a výživu obyvatelstva při ČAZV. V těchto funkcích prosazuje moderní koncepci výzkumu v zemědělství a potravinářství a nové metody řešení zemědělské a výživové politiky v našem státě.

Další oblastí činnosti Ing. Perlína je práce v České potravinářské společnosti, kde nyní zastává funkci předsedy. Nastoupil ve velmi obtížné době, kdy se staré struktury ČSVTS začaly rozpadat a v transformujícím se potravinářském průmyslu nebylo dosti porozumění pro všeobecně prospěšnou odbornou činnost v nově vznikajících specializovaných společnostech. Hlavní úsilí proto zaměřil na konsolidaci a obnovení činnosti podnikových poboček a navázání styků s příbuznými organizacemi jiných průmyslových odvětví. Navázal také spolupráci s příbuzně zaměřenými domácími i zahraničními odbornými společnostmi.

Důležitou funkcí byl ředitel Perlín pověřen ve Společnosti pro výživu – stal se předsedou redakční rady časopisu Výživa a potraviny a významně přispěl k jeho zdokonalení a rozšíření. Důsledné recenzování článků zvýšilo jejich úroveň. Kromě toho byl zvolen členem výkonného výboru a představenstva Společnosti pro výživu. V těchto funkcích se podílel na pořádání konferencí a seminářů zaměřených na výrobu a jakost potravin. V rámci řešení úkolů mezinárodní akce COST 99 se zapojil do problematiky budování národní databáze složení potravin.

Během posledních let vypracoval Ing. Perlín řadu koncepcí rozvoje potravinářských oborů i celého zemědělského resortu. Tato činnost je daleko náročnější, než by se mohlo na prvý pohled zdát, a vyžaduje velký rozhled a organizační schopnosti. Realizace těchto koncepcí by přispěla k pokroku a rozvoji naší zemědělské a potravinářské výroby a ke zlepšení výživy našeho obyvatelstva.

Ing. Perlín je neobyčejně aktivní a činorodou osobností, zabývající se plněním řady důležitých a časově náročných úkolů. Rozsah jeho zájmů je obdivuhodný a svědčí o tom, že stárne opravdu jen podle úředního kalendáře, kdežto jeho duch zůstává mladý a průbojný. Do dalších let mu přejeme, aby svou aktivitu zachoval a ještě rozšířil a dále úspěšně přispíval k rozkvětu našeho zemědělství a potravinářství.

*prof. Ing. Jan Pokorný, DrSc.*

## Instructions for authors

**Manuscripts** in duplicate should be addressed to: RNDr. Marcela Braunová, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2, Czech Republic.

Manuscript should be typed with a wide margin, double spaced on standard A4 paper. Articles on **floppy disks** are particularly welcome. Please indicate the editor programme used.

### Text

Full research manuscript should consist of the following sections: Title page, Abstract, Keywords, a short review of literature (without "Introduction" subtitle), Materials and Methods, Results, Discussion, References, Tables, Legends to figures. A title page must contain the title, the complete name(s) of the author(s), the name and address of the institution where the work was done, and the telephone and fax (e-mail) numbers of the corresponding author. The Abstract shall not exceed 120 words. It shall be written in full sentences and should comprise base numerical data including statistical data. As a rule, it should not give an exhaustive review of literature. In the chapter Materials and Methods, the description of experimental procedures should be sufficient to allow replication of trials. Organisms must be identified by scientific name. Abbreviations should be used if necessary. Full description of abbreviation should follow the first use of an abbreviation. The International System of Units (SI) and their abbreviations should be used. Results should be presented with clarity and precision. Discussion should interpret the results. It is possible to combine Results and Discussion in one section. References in the text to citations comprise the author's name and year of publication. If there are more than two authors, only the first one should be named in the text, followed by the phrase "et al.". References should include only publications quoted in the text. They should be listed in alphabetical order under the first author's name, citing all authors, full title of an article, abbreviation of the periodical, volume number, year, first and last page numbers.

### Tables and Figures

Tables, figures and photos shall be enclosed separately. The text must contain references to all these annexes. Figures should be referred solely to the material essential for documentation and for the understanding of the text. Duplicated documentation of data in figures and tables is not acceptable. All illustrative material must be of publishing quality. Figures cannot be redrawn by the publisher. All figures should be numbered. Photographs should exhibit high contrast. Both line drawings and photographs are referred to as figures. Each figure should contain a concise, descriptive legend.

**Offprints:** Forty offprints of each paper are supplied free of charge to the author.

Authors have full responsibility for the contents of their papers. The board of editors of this journal will decide on paper publication, with respect to expert opinions, scientific importance, contribution and quality of the paper.

## OBSAH

Mašková E., Rysová J., Fiedlerová V., Holasová M., Vavreinová S.: Stability of selected vitamins and minerals during culinary treatment of legumes – Stabilita vybraných vitaminů a minerálních látek při kulinární úpravě luštěnin .....	321
Houšová J., Topinka P., Hoke K.: Mathematical model of temperature distribution in food materials heated by microwaves – Matematický model distribuce teploty v potravinách při mikrovlnném ohřevu .....	329
Kýhos K., Cigáník M., Houška M.: Modelování tepelného zpracování rýže – Modelling of thermal processing of rice .....	347
Houška M., Dráb V., Cigáník M., Kýhos K.: Mechanické a senzorické vlastnosti sýrů ementálského typu v průběhu zrání – Mechanical and sensorical properties of hard cheese of emental type during ripening .....	359
Houška M., Ouhrabková J., Pátková D., Cigáník M., Kýhos K.: Reologické vlastnosti pektinových džemů – Rheological properties of fruit pectin jam .....	377
ŽIVOTNÍ JUBILEA	
Pokorný J.: 60. narozeniny Ing. Ctibora Perlína, CSc. ....	395

---

Vědecký časopis POTRAVINÁŘSKÉ VĚDY ♦ Vydává Česká akademie zemědělských věd – Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha ♦ Redakce: Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/251 098, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz ♦ Sazba a tisk: ÚZPI Praha ♦ © Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha 1996

Rozšiřuje Ústav zemědělských a potravinářských informací, referát odbytu, Slezská 7, 120 56 Praha 2