

CHANGES OF TEMPERATURE INDUCED IN SELECTED SAMPLES BY PRONOUNCED PRESSURE VARIATIONS

J. Heller*

Summary: *The changes of temperature induced in selected samples by pronounced pressure variations have been studied with the aim to optimize the relevant food processing. Models of energy and heat transfer have been elaborated a precision of which can increase with increasing number of the relevant experiments. In this contribution, the starting relation, experimental curves of a time evolution of temperature during the pressure cycles and the results of computational procedures based on the IAPWS water thermodynamic parameters have been presented.*

1. Úvod

Požadavky na úroveň produktů vedou v průmyslu k zavádění technologií, které byly v minulosti pokládány za výjimečné. Mezi ně patří i technologie, pracující s tlaky na úrovni stovek MPa, které mohou měnit nejen tvar, ale i strukturu a vlastnosti materiálů. Tyto technologie se rozšiřují i v odvětvích, kde je třeba ošetřit citlivé látky (potraviny, ...) tak, aby si dlouhodobě uchovaly své užité vlastnosti. K žádoucímu efektu dochází po několika-minutovém účinku vysokého tlaku. Se změnami tlaku souvisí i sledované změny teplot, které se mohou pohybovat v desítkách stupňů. Úspěšnost technologických postupů je proto podmíněna důkladnou analýzou, řadou experimentů realizovaných s podporou energetických a tepelných modelů a návaznými technickými opatřeními.

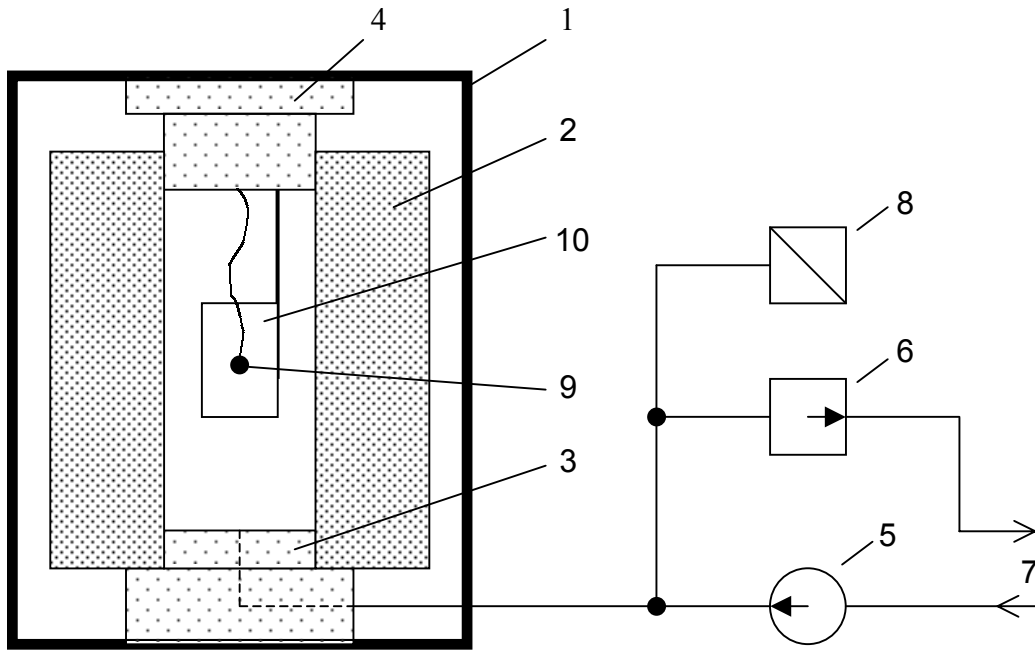
2. Vztahy charakterizující změny teplot vzorků při změnách tlaku

Při ošetřování vzorků v komoře vysokotlakého zařízení multiplikátorového typu (obr. 1), dochází v průběhu základního cyklu

- k relativně rychlému nárůstu tlaku (dán přítokem kapaliny z multiplikátoru)
- k prodlevě na tlakové hladině
- k relativně rychlému poklesu tlaku (dán odtokem kapaliny přes dekompresní ventil),

a ke změnám jejich teploty.

* Ing. Josef Heller, CSc.: Fakulta strojní ČVUT v Praze; Horská 3, 128 00 Praha 2;
e-mail: hellerj@fsih.cvut.cz

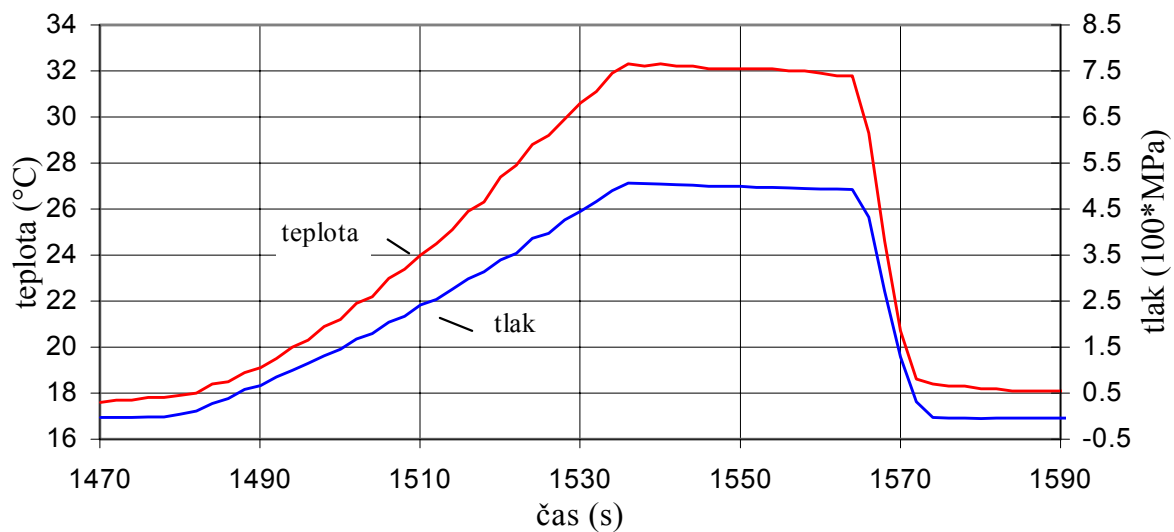


Obr. 1. Schéma vysokotlakého zařízení multiplikátorového typu

1 – lamelový rám, 2 – plášť komory. 3 – dolní víko, 4 – horní víko s průchodkou pro plášťové termočlánky, 5 – multiplikátorový zdroj, 6 – dekompresní ventil, 7 – napojení na uzavřený okruh pracovní kapaliny (vody), 8 – tlakový snímač, 9 – termočlánek, 10 – vzorek fixovaný na závitové tyči

Z průběhu teploty při cyklu s minimální prodlevou (obr. 2) je patrné, že nejvýraznější změna, daná změnou tlaku, může být blízká změně izoentropické. Pak lze na tuto změnu teploty usuzovat ze vztahu

$$(dT)_s = (T/c_p) * (\partial v / \partial T)_p * dp . \quad (1)$$



Obr. 2. Záznam průběhu tlaku a související změny teploty vody

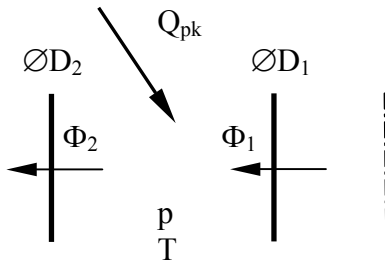
Na změny teplot, zahrnující i výraznější sdílení tepla, bylo, v souvislosti s přípravou experimentů, usuzováno ze vztahu

$$dT = [(-p * dv) / c_v + dq / c_v] * \{ 1 - [(\partial u / \partial v)_T / (du / dv)] \}, \quad (2)$$

který plyne z totálního diferenciálu vnitřní energie a z první věty termodynamické.. Pro jeho přímé využití sice není dostatek podkladů, ale o uvedenou formulaci se opírají vztahy zjednodušené, které sledují dílčí změny ve vymezených intervalech.

3. Vztahy pro využití ve výchozích tepelných modelech sestav se vzorky potravin

Za daných podmínek (nutnost rozhodnout v dohledném termínu, rozsah dostupných podkladů, vazba na řízený technologický proces probíhající v předepsaném čase, požadavek na nekomplikovanou práci s modely, ...) byla přijata modifikace vztahu (2), spočívající v náhradě obecných změn superpozicí idealizovaných změn dílčích, tj. izochorické (index v) a izoentropické (index s) a v zavedení funkcí a součinitelů, nahrazujících reálné vztahy a korigujících data, stanovená za normálních podmínek (index 0).



Obr. 3. Zavedená vrstva

Q_{pk} – přítok, odtok pracovní kapaliny

Φ_1, Φ_2 – vstupní, výstupní tepelný tok

p, T – tlak, teplota

V návaznosti na uvedená zjednodušení vyplyne změna teploty sledované vrstvy rotačně-symetrického modelu (obr. 3), po změnách v blízkosti sledovaného pracovního bodu (index pb) nebo ve vymezeném intervalu, ze změn dílčích

$$(\Delta T)_s = (\Delta A_{def} / m_0 * c_{v0}) * (k_{nahr})_s \quad (3)$$

$$(\Delta T)_v = [\int (\Delta \Phi / m_0 * c_{v0}) * dt] * (k_{nahr})_v, \quad (4)$$

kde $(k_{nahr})_s \cong \{ 1 - [(\Delta u / \Delta v)_T / (\Delta u / \Delta v)_s] \} * c_{v0} / c_v$

$$\Delta \Phi = \Phi_1 - \Phi_2$$

$$(k_{nahr})_v \cong \{ 1 - [(\Delta u / \Delta v)_T / (\Delta u / \Delta v)_v] \} * c_{v0} / c_v.$$

Jako účelné a dostatečně přesné se ukázalo zavedení náhradní závislosti mezi tlakem a poměrným stlačením ve tvaru

$$p = (k_{of} + k_{1f}) * \Delta V / V_0, \quad (5)$$

kde $V_0 = 0,25 * \pi * H * [(D_2)^2 - (D_1)^2]$

$$m_0 = \rho * V_0,$$

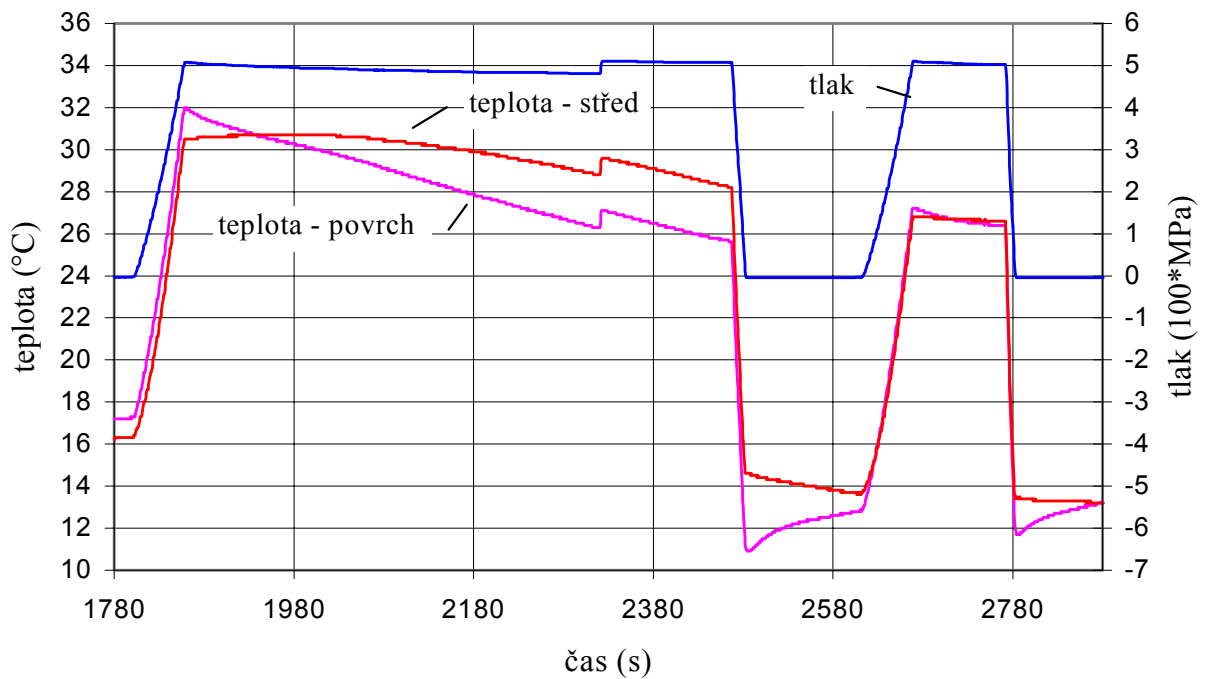
což, po úpravě a integraci ($p * \Delta V$), vede ke vztahu pro přírůstek deformační práce

$$\Delta A_{def} / V_0 = \{ (-k_{1f} * p) / (k_{of} + k_{1f} * p) + \ln [(k_{of} + k_{1f} * p) / k_{of}] \} * k_{of} / (k_{1f})^2 \quad (6)$$

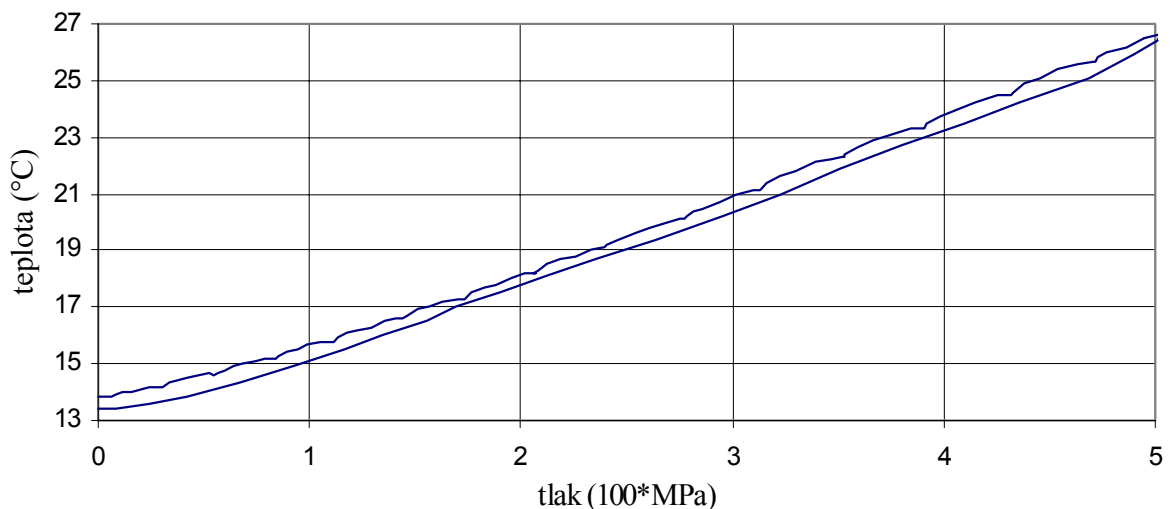
Ke konkretizaci zavedených náhradních funkcí, podílu přírůstků vnitřní energie a měrných objemů a součinitelů jsou využívány dostupné podklady a výsledky cílených experimentů.

4. Identifikační měření a jejich výsledky

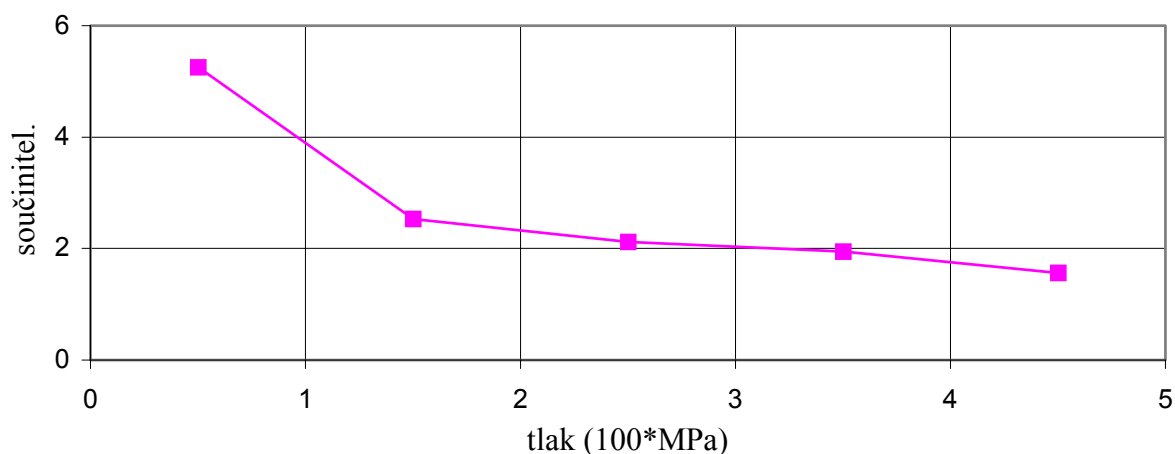
Identifikační měření byla prováděna v komoře vysokotlakého zařízení multiplikátorového typu CYX 6/0103 – ŽĐAS (komora $\varnothing 80$ mm, H = 320 mm, vzorky v ose komory, snímač tlaku DMS – NOVA WERKE AG, plášťové termočlánky typu K, multikanálový měřič HP, měřič HMG 2020 - HYDAC). Z naměřených průběhů (obr. 4) a z odměřených objemů pracovní kapaliny, odpovídajících poklesu tlaku v komoře, byly vyhodnoceny změny teplot vzorků v závislosti na tlaku (obr. 5) a s pomocí následně zavedené funkce $f = 2,3 \cdot 10^9 + 3,0 \cdot p$ i orientační průběhy deformační práce A_{def} a součinitele $(k_{\text{nahr}})_s$ pro vodu.



Obr. 4. Záznam měření se vzorkem mrkve ($\varnothing 32$ mm)



Obr. 5. Závislost teploty na tlaku, vyhodnocená z výsledků měření (obr. 4)

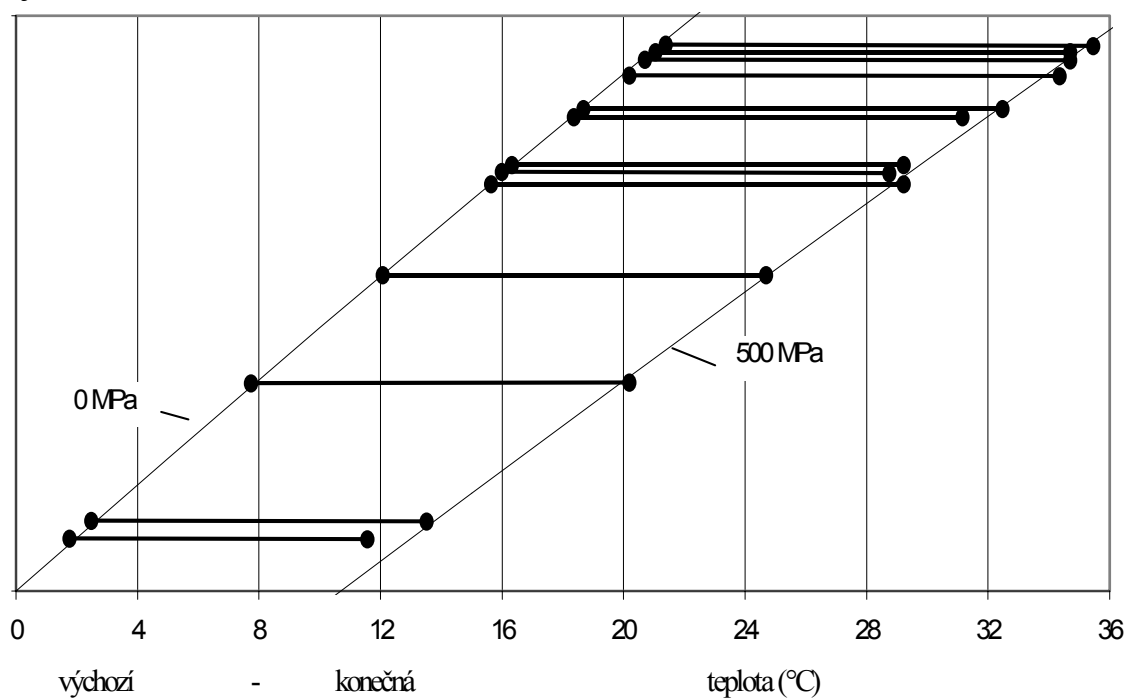


Obr. 6. Předběžné vymezení hodnot součinitele $(k_{\text{nahr}})_s$

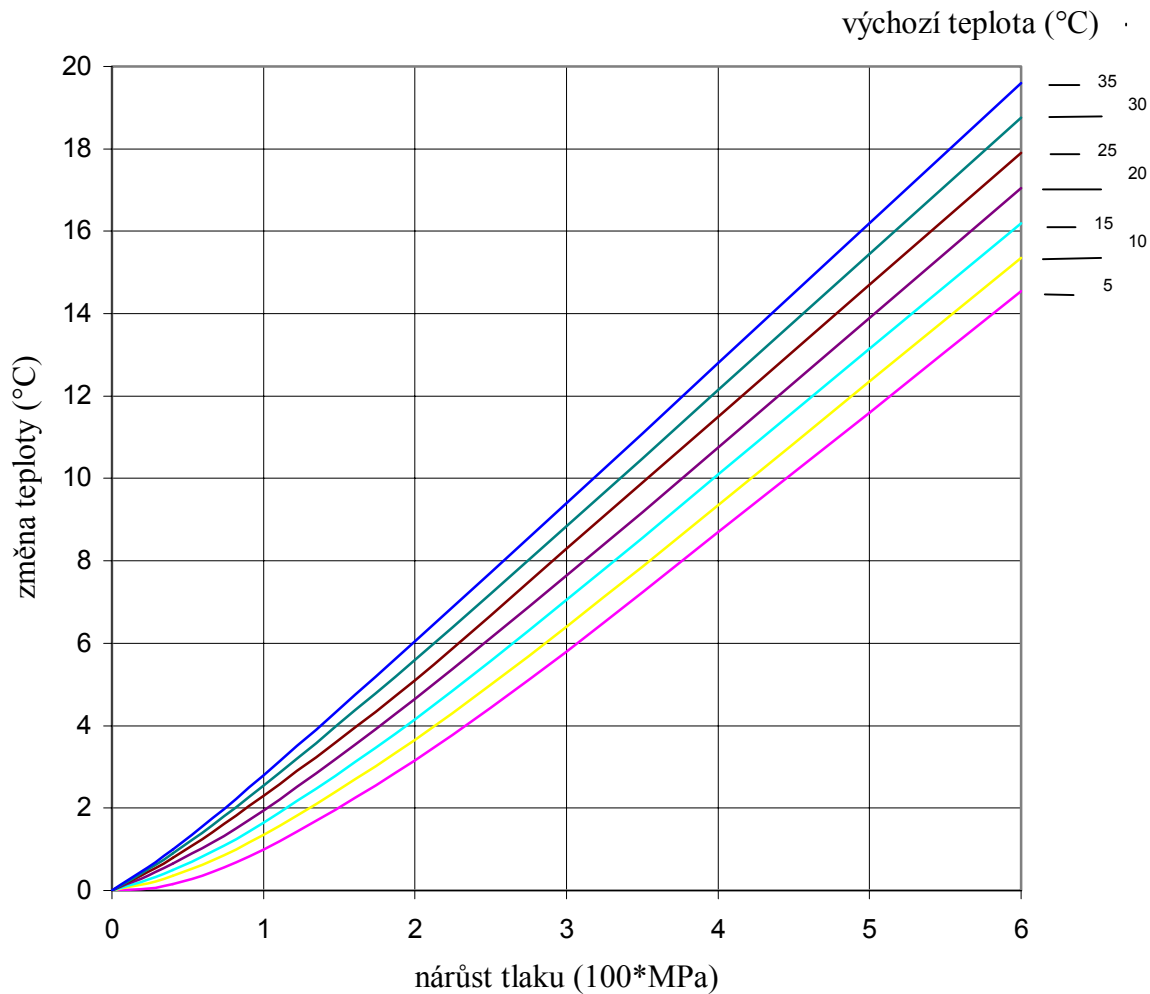
Blízkost výsledků řady měření, provedených s vodou a se vzorky s vysokým obsahem vody, byla podnětem pro systematické využití tabelovaných termofyzikálních vlastností vody.

5. Využití tabelovaných termodynamických vlastností vody

Údaje v dostupných tabulkách (Šifner & Klomfar, 1996) byly podkladem pro zpracování diagramu, který umožňuje přímý odečet změn teplot vody při změně izoentropické. V jeho jednoduché variantě (obr. 7) jsou zaneseny výsledky měření, provedených v návaznosti na ošetřování vzorků s vysokým obsahem vody (ovoce, zelenina, saláty, kaše, ...). Přehlednější verze je na obr.8.



Obr. 7. Diagram nárůstu teploty vody se zanesenými výsledky měření se vzorky s vysokým obsahem vody



Obr. 8. Změna teploty vody v závislosti na nárůstu tlaku a na výchozí teplotě

Systematické využití tabelovaných dat, které jsou výjimečné svým rozsahem, přesností a úrovní, vede, nejen k fundovanému odhadu teplotních změn potravin s vysokým podílem vody, ale i k podkladům pro

- odhad systematické chyby a přesnosti měření
- stanovení korekčních součinitelů a funkcí do zjednodušených vztahů.
- zefektivnění experimentální činnosti a vyhodnocovacích postupů

a v neposlední míře i k průběžné kontrole vhodnosti zvolených postupů a náhradních funkcí a součinitelů.

K posledně zmiňovanému lze uvést, že kontrola výsledků, získaných pomocí závislosti (5), prokázala možnost jejího využití v širším rozsahu, než bylo původně předpokládáno. Například průběh měrného objemu, vycházející ze vztahu $f = 2,158777 \cdot 10^9 + 3,1075 \cdot p$, se od tabelovaných dat, při předpokládané izotermické změně vody (od 15 °C, v rozmezí 0 až 600 MPa), liší ve zlomcích promile. ΔA_{def} , vycházející ze vztahu $f = 2,202775 \cdot 10^9 + 3,3115 \cdot p$, se od tabelovaných změn vnitřní energie, při předpokládané izoentropické změně vody (od 15 °C, v rozmezí 0 až 600 MPa), liší ve zlomcích procenta sledovaného maxima.

6. Závěr

Z výše uvedených skutečností plyne, že uvedené postupy lze využít nejen při experimentální činnosti, ale i při rozhodovacích postupech v oblasti potravinářských technologií. Samozřejmou povinností je kontrola blízkosti výchozích podmínek početních postupů a reálných podmínek technologického procesu.

7. Poděkování

Nejpodstatnější část měření byla realizována s podporou projektu MZe EP 9026. Opakovaná měření probíhala i s podporou projektu (FB-C2/01/99MPO a vybrané výsledky měření, zaměřené na stlačitelnost kapalin, jsou vyhodnocovány s podporou projektu MSM 212200008.

8. Literatura

Heller, J., Strohalm, J., Kamarád, J., Lanfeld, A. & Houška, M. (2001) Identifikační měření v oblasti velmi vysokých tlaků. Technická zpráva, VÚPP25/360/2001, Praha.

Heller, J. & Šafařík, P. (2002) Vztahy charakterizující změny teplot vzorků s vysokým obsahem vody při extrémních změnách tlaku. Technická zpráva 03/02, U208 ČVUT, Praha.

Nožička, J. (2001) Termomechanika. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Šifner, O. & Klomfar, J. (1996) Mezinárodní standardy termofyzikálních vlastností vody a vodní páry. Academia, Praha.