

VYUŽITÍ PELEGOVA MODELU PRO HODNOCENÍ JAKOSTI PŘÍRODNÍCH SÝRŮ V PRŮBĚHU ZRÁNÍ USAGE OF PELEG'S MODEL FOR EVALUATION OF CHEESE QUALITY DURING RIPENING

František Buňka, Vendula Pachlová, Iva Burešová, Lenka Pernická, Leona Buňková

Abstract: The first aim of this work was to compare the influence of using two probes (a 100mm plate and a 5mm spherical probe) during a compression test on the trends of hardness changes during 84-day ripening of Edam cheese. Both of the above-mentioned probes were also applied in relaxation tests for a relaxation time of 30–300 s (10 arbitrary times were used). By means of Peleg's model, the values of a parameter and b parameter were calculated. Only a parameter was able to provide an adequate description of the actual changes in cheese within the ripening period but only at a relaxation time of ≤ 120 s (after reaching the maximum deformation of the sample; valid for both probes tested).

Keywords: peleg's model, cheese, quality

ÚVOD

Sýry představují viskoelastickou matici, která vykazuje chování jak elastické tak i viskózní hmoty a která je schopna absorbovat mechanické vibrace (Lucey et al., 2003). Texturní vlastnosti sýrů se v průběhu zrání mění v důsledku řady chemických, biochemických anebo mikrobiologických procesů, zejména (i) proteolýzy; (ii) difúze NaCl z okrajových vrstev do středu; a (iii) změny rovnováhy vápníku (Pachlová et al., 2011; Wang et al., 2011; McSweeney, 2004). Texturní vlastnosti sýrů je možné studovat s využitím řady instrumentálních metod, při kterých se používají penetrační nebo kompresní testy. Vhodné nástroje zde představují i tzv. relaxační testy, při kterých je sýr nejprve deformován kompresí. Po dosažení maxima deformace se sonda ponechá ve stejné pozici určitý čas. Zaznamenáván je pokles síly, kterou je třeba vyvíjet k udržení sondy ve stejné pozici (maximální deformaci). Na základě těchto testů a po provedení příslušných výpočtů, lze studovat elastickou složku matrice (Peleg, 1979, 1980).

Parametry relaxačního testu (tj. použitá sonda, míra deformace a doba výdrže sondy v poloze maximální deformace) se však u různých autorů liší. Ve většině studií se pomocí sond kompresně stlačuje celý vykrojený vzorek. Naopak některé články uvádí, že ke kompresi jsou použity válcové nebo kulové sondy s průměrem menším než vzorek. Rovněž míra deformace je u jednotlivých autorů různá a pohybuje se od menších deformací 5–25 % až po vyšší deformace 30–75 %. Nejvíce se metodiky liší v době výdrže sondy v maximu deformace. Publikovány byly časy (i) 30–100 s; (ii) 120–300 s i (iii) 420–900 s (Buňka et al., 2013).

Získaná zátěžová křivka bývá podrobena matematické analýze s využitím Pelegova modelu (Peleg, 1980; Herrero et al., 2004; Singh et al., 2006; Hatcher et al., 2008; Buňka et al., 2012). Analýza spočívá v normalizaci hodnot F_t , což je síla F (N) změřená v čase t (s), podle rovnice (1) a následné linearizaci normalizovaných hodnot podle rovnice (2) (Peleg, 1979).

$$Y(t) = \frac{F_{\max} - F_t}{F_{\max}} \quad (1)$$

$$\frac{t}{Y(t)} = \frac{1}{ab} + \frac{t}{a} \quad (2)$$

Hodnoty parametrů a a b jsou odhadovány metodou nelineární regresní analýzy. Materiál s $a = 0$ představuje ideálně elastickou pevnou látku. Naopak materiál s $a = 1$ představuje ideální kapalinu. Ze žádné z publikovaných a citovaných prací však nevyplývá, jak změna podmínek relaxačního testu ovlivní parametry a a b .

Cílem práce bylo studovat vliv (i) použití dvou sond pro kompresní testy a (ii) aplikace deseti různých dob výdrže sondy v poloze maximální deformace vzorku (30–300 s) na hodnoty parametrů a a b vypočtených na základě Pelegova modelu.

MATERIÁL A METODY

Čtyřicet dva cihel eidamského sýra bylo odebráno z výrobní šarže u tradičního producenta v České republice. Vzorkování a dělení bylo provedeno dle **Pachlová et al. (2011)** a **Buňka et al. (2013)**. Vzorky byly odebírány v 1. den výroby (před solením) a dále v průběhu zrání po 3, 7, 14, 28, 56 a 84 dnech. Čtyři cihly byly odebrány pro texturní analýzu a další dvě pro senzorkou analýzu. Celkem byly testovány 3 šarže (3 × 42 cihel). Texturní a senzorká analýza byla provedena dle **Buňka et al. (2013)**.

VÝSLEDKY A DISKUZE

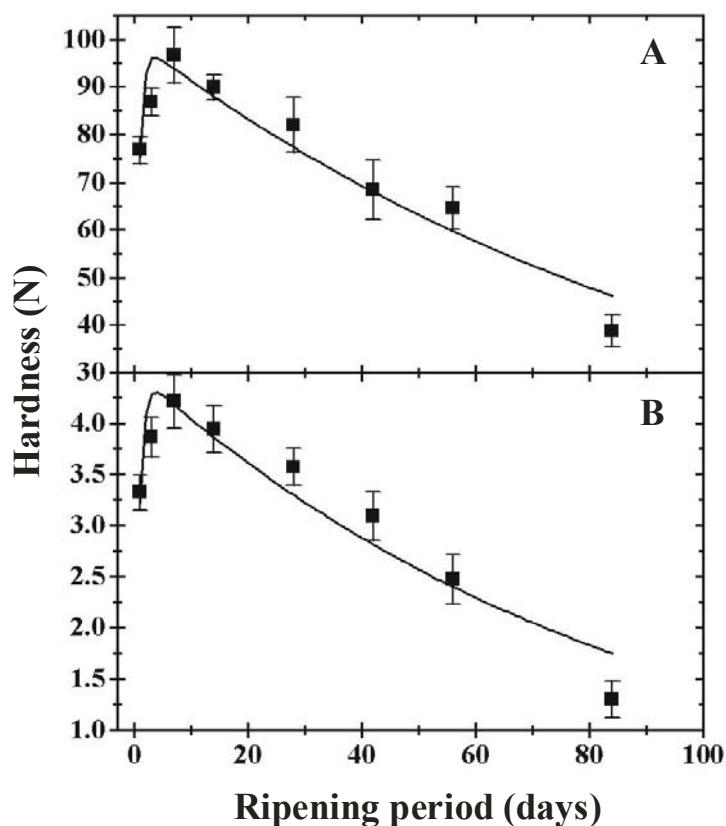
Na Obrázku 1 je prezentován vývoj tvrdosti (pevnosti) testovaných vzorků eidamské cihly v průběhu 84denního zrání při $10 \pm 2^\circ\text{C}$. V částech A a B jsou prezentovány výsledky měření (včetně regresní analýzy) s využitím 100mm desky a 5mm kulovité sondy. Oba způsoby měření jednoznačně ukázaly, že v prvních 7 dnech zrání došlo k mírnému, přibližně 20% nárůstu tvrdosti vzorků ve srovnání s 1. dnem zrání ($P < 0,05$). Po 7. dni zrání byl zaznamenán postupný pokles hodnot tvrdosti sýrů, a to až do 84. dne zrání ($P < 0,05$). Mezi vývojem hodnot tvrdosti sýrů, které byly stanoveny s použitím obou testovaných sond, byl také nalezen silný korelační vztah ($r = 0,997$; $P < 0,001$).

Tuhost vzorků byla sledována také pomocí senzorké analýzy, jejíž výsledky poukázaly na obdobný trend vývoje textury v průběhu 84denního zrání jako v případě parametru tvrdosti (Tabulka 1). Korelační analýza mezi hodnotami tvrdosti měřené kompresními testy a tuhosti stanovené senzorkou analýzou sýrů ukázala rovněž na vysoké korelační koeficienty $r = -0,988$ až $-0,982$ ($P < 0,001$).

Vývoj tvrdosti/tuhosti v průběhu zrání sýrů lze vysvětlit (i) difúzí NaCl z okrajových částí sýru do středu a (ii) proteolytickými změnami kaseinů (**McSweeney, 2004; Fox et al., 2000**). Testované eidamské cihly se solí ponořením do solných lázní, po několika hodinách dojde ke kumulaci NaCl v okraji ($\approx 4\%$ m/m;), zatímco v jádře jsou koncentrace NaCl $< 0,5\%$ (m/m) (**Pachlová et al., 2011, 2012**). V průběhu následujících dnů NaCl difunduje z okraje sýra do středových vrstev (**McSweeney, 2004; Fox et al., 2000; Pachlová et al., 2011, 2012**). Současně probíhají v celé hmotě sýra v důsledku činnosti nativních enzymů mléka, zbytkové aktivity syřidla, zejména však díky metabolické aktivitě zákysových a nezákysových bakterií mléčného kvašení proteolytické změny. V prvních dnech zrání zřejmě převládala difúze NaCl do středu sýra, což se projevilo jako zvýšení tuhosti materiálu. V následném období již vliv NaCl postupně ustupoval, docházelo k vyrovnávání obsahu NaCl v celé hmotě sýra a difúze do středu bloku postupně ustávala. Klíčovou rolí při ovlivňování texturních parametrů hraje intenzita proteolytických reakcí (**McSweeney, 2004; Fox et al., 2000; Pachlová et al., 2011, 2012**).

Hodnoty a se zvyšovaly ($P < 0,05$) s prodlužujícím se časem relaxace, a to bez ohledu na použitou sondu. Rozdílly v hodnotách parametru a (v definovaném časovém bodě zrání), které byly získány při relaxaci nad 180 s, již byly menší a většina ani nebyla statisticky významná

($P \geq 0.05$; bez ohledu na použitou sondu). Zvyšování hodnot parametru a s prodlužující se výdrží odpovídá rozsáhlejší relaxaci materiálu během trvání deformace (Peleg, 1979, 1980).



Obrázek 1

Závislost pevnosti sýra (N; ■) na době zrání (dny) měřená použitím 100mm deskové sondy (část A) a 5mm kulovité sondy (část B). Úsečky reprezentují standardní odchylku ($n = 12$). Čáry představují výslednou regresní křivku.

Tabulka 1

Tuhost testovaných přírodních sýrů v průběhu zrání (hodnoceno pomocí senzorické analýzy).

Doba zrání (dny)	Tuhost *
1	4 ^a
3	3 ^b
7	2 ^c
14	3 ^b
28	4 ^a
56	5 ^d
84	7 ^e

* Použitá intenzitní stupnice:

Tuhost: 1 – velmi tuhý až 9 – velmi měkký.

Hodnoty mediánů se stejným horním indexem se signifikantně neliší ($P \geq 0.05$).

Prodlužující se doba relaxace zhoršovala schopnost parametru a vystihovat změny studované matrice v důsledku zrání procesů. Při výdrží ≤ 120 s (pro 5mm kulovitou sondu)

$a \leq 180$ s (pro 100mm desku) byla pozorována signifikantní korelace ($P < 0,01$) parametru a s hodnotami tvrdosti a tuhosti ($r = -0,963$ až $-0,685$; $r = 0,707$ až $0,989$). Elasticita vzorků sýrů rostla až do 7. dne zrání (hodnoty a se snižovaly; $P < 0,05$). Následně elasticita signifikantně klesala (hodnoty a se zvyšovaly; $P < 0,05$). Při době výdrže nad 120 s a 180 s (pro 5mm kulovitou sondu a 100mm desku) již parametr a dobře nevystihoval reálné změny v textuře hodnocených sýrů, což je patrné nejen z hodnot a , ale také z nízkých korelačních koeficientů ($P \geq 0,01$) mezi tvrdostí, resp. tuhostí a hodnotami parametru a ($r = -0,507$ až $-0,182$ a $r = 0,531$ až $0,186$). Z literatury také nepřímou vyplývá, že existuje jakési optimum pro dobu výdrže relaxačního testu, které bude pravděpodobně závislé na povaze materiálu.

Ze srovnání absolutních hodnot parametru a získaných použitím kulovité a deskové sondy (pro daný čas výdrže a v danou dobu zrání) nevyplynul jednoznačný trend. Obě tyto sondy se jevily jako vhodné pro studium texturních vlastností sýrů eidamského typu, zejména pro dobu výdrže ≤ 120 s, což dokládají i vysoké korelace se sensoricky hodnocenou rigiditou.

Hodnoty parametru b vypočtené z průběhu zátěžové křivky nevystihovaly dobře sledované trendy. Na obtížnou interpretaci parametru b Pelegova modelu upozorňují ve svých pracích například Singh et al. (2006), Hatcher et al. (2008) i Peleg (1979, 1980).

ZÁVĚR

V předložené práci byla sledována vhodnost použití kompresních testů (s použitím dvou sond) pro popis texturních změn eidamského sýra v průběhu jeho 84denního zrání při 10°C . Posuzována byla také schopnost parametrů a a b relaxačního testu (vypočtených pomocí Pelegova modelu) získaných s různými dobami výdrže (30–300 s; doba po dosažení maximální deformace vzorku) vystihnout reálné změny v matici eidamské cihly v průběhu zrání. Jednoduchý parametr kompresních testů – tvrdost – byl shledán jako vhodný pro popis změn textury sýrů eidamského typu během zrání, a to při použití obou testovaných sond). Tvrdost silně korelovala se sensoricky hodnocenou tuhostí během zrání modelového vzorku sýra. V případě relaxačních testů a aplikovaného Pelegova modelu vykazoval schopnost uspokojivě popisovat změny sýra během zrání pouze parametr a . Tato schopnost však byla pozorována pouze při kratších dobách výdrže (po dosažení maximální deformace vzorku), prakticky ≤ 120 s. Delší doby výdrže již poskytují takové hodnoty, které věrohodně nepostihují změny textury sýrů během zrání. Parametr b ani v jednom studovaném případě nepostihoval reálné změny sýra v průběhu jeho zrání.

LITERATURA

- BUŇKA, F., PACHLOVÁ, V., NENUTILOVÁ, L. 2012. Texture properties of dutch-type cheese as a function of its location and ripening. In *International Journal of Food Properties*.
- BUŇKA, F., PACHLOVÁ, V., PERNICKÁ, L., BUREŠOVÁ, I., KRÁČMAR, S., LOŠÁK, T. 2013. The dependence of Peleg's coefficients on selected conditions of a relaxation test in model samples of Edam cheese. In *Journal of Texture Studies*.
- FOX, P. F., GUINEE, T. P., COGAN, T. M., MCSWEENEY, P. L. H. 2000. *Fundamentals of Cheese Science*; Aspen Publication: Gaithersburg, USA, 638 pp.
- HATCHER, D. W., BELLIDO, G. G., DEXTER, J. E., ANDERSON, M. J., FU, B. X. 2008. Investigation of uniaxial stress relaxation parameters to characterize the texture of yellow alkaline noodles made from durum and common wheat. In *Journal of Texture Studies*, 39, 695 – 708.
- HERRERO, A. M., HEIA, K., CARECHE, M. 2004. Stress relaxation test for monitoring *post mortem* textural changes of ice-stored cod (*Gadus morhua* L.). In *Journal of Food Science*, 69, 178 – 182.
- LUCEY, J. A., JOHNSON, M. E., HORNE, D. S. 2003. Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. In *Journal of Dairy Science*, 86, 2725 – 2743.
- McSWEENEY, P. L. H. 2004. Biochemistry of cheese ripening. In *International Journal of Dairy Technology*, 57, 127–144.
- PACHLOVÁ, V., BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., WEISEROVÁ, E., BUDINSKÝ, P., ŽALUDEK, M., KRÁČMAR, S. 2011. The effect of three different ripening/storage conditions on distribution of selected parameters in individual parts of Dutch-type cheese. In *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 101–108.

PACHLOVÁ, V., BUŇKA, F., FLASAROVÁ, R., VÁLKOVÁ, P., BUŇKOVÁ, L. The effect of elevated temperature on ripening of Dutch type cheese. In *Food Chemistry*, 2012, 132, 1846 – 1854.

PELEG, M. 1979. Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. In *Journal of Food Science*, 44, 277 – 281.

PELEG, M. 1980. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. In *Journal of Rheology*, 24, 451 – 463.

SINGH, H., ROCKALL, A., MARTIN, C.R., CHUNG, O.K., LOOKHART, G.L. 2006. The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyzer. In *Journal of Texture Studies*, 37, 383 – 392.

WANG, F., ZHANG, X., LUO, J., GUO, H., ZENG, S.S., REN, F. 2011. Effect of proteolysis and calcium equilibrium on functional properties of natural Cheddar cheese during ripening and the resultant processed cheese. In *Journal of Food Science*, 76, 248–253.

Poděkování: Tato práce vznikla s finanční podporou Národní agentury pro zemědělský výzkum, projekt QJ1210300 programu Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 2012–2018 a interního grantu UTB ve Zlíně č. IGA/FT/2012/027 financovaného z prostředků specifického vysokoškolského výzkumu.

Kontaktní adresa: doc. Ing. František Buňka, Ph.D., Univerzita Tomáše Bati Zlín. E-mail: bunka@ft.utb.cz