

Vliv smykové viskozity a elasticity na senzorickou viskozitu modelových kapalných potravin*

PAVLA NOVOTNÁ¹, MILAN HOUŠKA¹, VLASTIMIL SOPR², HELENA VALENTOVÁ², PETR ŠTERN³

¹Food Research Institute Prague; ²Institute of Chemical Technology – Department of Food Chemistry and Analyses, Prague; ³Institute for hydrodynamic, Czech Academy of Science, Prague, Czech Republic

Abstract

NOVOTNÁ P., HOUŠKA M., SOPR V., VALENTOVÁ H., ŠTERN P. (1999): **The effect of shear viscosity and elasticity on sensory viscosity of model liquid foods.** Czech J. Food Sci., 17: 23–30.

The shear flow rheological properties of sugar solutions (70% w/w concentration) modified by different cellulose derivatives have been measured. Thickeners were expected to cause the viscoelastic behaviour of the resulting solution. Therefore, the elastic rheological parameters were measured by oscillatory shear technique (phase angle, elastic modulus) and also the first normal stress difference N_1 . The increase of thickener concentration caused a moderate increase of non-Newtonian behaviour in the shear flow. The sensory viscosity (ranged between 0 and 100%) was evaluated by five different methods – as an effort for stirring with teaspoon, time for flowing down the spoon, slurping from spoon, compression between tongue and palate and swallowing. The influence of shear viscosity and first normal difference on sensory viscosity was tested. Correlation procedure between change of sensory viscosity ΔSE and change of shear viscosity $\Delta \mu_z$ showed that only for swallowing there is a statistically evident dependence. The correlation between change of sensory viscosity ΔSE and first normal stress difference N_1 is not statistically evident. For all the methods of sensory evaluation the dependence between these parameters is only weak and indirect (with increasing normal stress difference the sensory viscosity is decreasing).

Key word: derivatives of cellulose; elasticity; sensory viscosity; shear viscosity; correlation

Souhrn

NOVOTNÁ P., HOUŠKA M., SOPR V., VALENTOVÁ H., ŠTERN P. (1999): **Vliv smykové viskozity a elasticity na senzorickou viskozitu modelových kapalných potravin.** Czech J. Food Sci., 17: 23–30.

Byly proměřeny reologické vlastnosti řady 70% cukerných roztoků s přidavkem zahušťovadel (deriváty celulózy), u nichž lze předpokládat určitý stupeň elasticity. Dále byly měřeny elastické vlastnosti vzorků – úhel posunu, elastický modul a první rozdíl normálového napětí N_1 . Se vzrůstajícím přidavkem zahušťovadel došlo k mírnému nárůstu neneutonského chování. Vzorky byly hodnoceny senzoricky pěti metodami (hodnoty viskozity v rozmezí 0–100 %) – míchání lžičkou, stékání ze lžice, srkání vzorku, stlačování mezi jazykem a patrem a polykání. Byl otestován vliv samotných změn smykové viskozity na hodnocení senzorické viskozity. Korelace mezi změnou senzorické viskozity ΔSE a změnou zdánlivé přístrojové viskozity $\Delta \mu_z$ ukázala, že pouze pro polykání existuje statisticky prokazatelná závislost. Bylo zkoumáno, zda existuje vztah mezi ΔSE a prvním rozdílem normálového napětí N_1 . Nebyla nalezena statisticky významná korelace. U všech způsobů vychází jen velmi mírná nepřímá závislost.

Klíčová slova: deriváty celulózy; elasticita; senzorická viskozita; smyková viskozita; korelace

Modifikované přírodní látky spolu s novými technologiemi přinášejí možnost, jak na bázi klasických potravinářských komodit vyrábět nové, nekonvenční, ale i staré klasické druhy potravin novými moderními metodami (KODÉT *et al.* 1993). Velkou skupinu modifikovaných přírodních látek tvoří hydrokoloidní zahušťovací prostředky.

Hydrokoloidní zahušťovací prostředky se používají například ke stabilizaci a k dosažení pocitu plnosti u ovocných šťáv a džusů. V těchto nápojích zabraňují sedimentaci ovocné drti a rovněž se významně podílejí na jejich viskozitě. Současně se však uplatňuje i nežádoucí projev přítomnosti vyšších koncentrací těchto látek v nápojích,

* Práce byla vykonána s podporou grantů GA ČR č. 525/96/0060 a NAZV MZe ČR EP 096 0006634.

a to zvýšená míra jejich elasticity. Tento jev je senzoričsky hodnocen jako zcela nežádoucí.

Proto je nutné zabývat se vlivem elasticity na senzoričské hodnocení kapalných potravin podrobněji zejména tehdy, chceme-li zavést v praxi přístrojovou metodu hodnocení viskoelasticity, která by korelovala se senzoričským hodnocením téhož parametru. V případě newtonských kapalin je důležité rozhodnout, při jaké smykové rychlosti je třeba měřit viskozitu v přístroji, aby bylo dosaženo co nejvyššího stupně korelace se senzoričským hodnocením.

Cílem této práce bylo nalézt způsob, jak prokázat vliv elasticity na senzoričské hodnocení modelových viskoelastických kapalných potravin. Současně bylo ověřováno, zda je možné oddělit (popř. jak) vliv viskózní a elastické složky odporu dané viskoelastické kapaliny na senzoričské hodnocení.

MATERIÁL A METODY

Přístroje

K proměření tokových křivek byl použit rotační reometr Reotest 2 – Typ RV2. K měření prvního rozdílu normálových napětí N_1 a dynamických vlastností (G' , G'' , δ) byl použit rotační reometr HAAKE Rotovisko RV 20-CV 20 N. Typové označení kužele bylo PK 45/2° (průměr 45 mm, doplňkový úhel 2°). K teplotaci byl použit Ultratermostat UH4-MLW a teplota byla měřena digitálním teploměrem ALMENO 2190-2.

Materiál

Deriváty celulózy – výrobky firmy HERCULES Central and Eastern Europe Dept.: obch. název BLANOSE 7 HOF (natriumkarboxymethylcelulóza); NATROSOL 250 B-HHR (hydroxyethylcelulóza); BENECEL 943-HR (methylcelulóza) a CMC 9 HF (natriumkarboxymethylcelulóza).

Další materiál: cukr krystal; sorbová kyselina p.a.; askorbová kyselina p.a.; destilovaná voda; aromatické přísady; potravinářská barviva.

Analyzovaný materiál

Základ analyzovaných vzorků tvořil 70% cukerný roztok (% hmot.). Každý vzorek obsahoval 0,5 až 5% přísadavek roztoků jednotlivých druhů derivátů celulózy. Analyzované vzorky dále obsahovaly 0,4 % kyseliny askorbové, 0,04 % kyseliny sorbové a 2 % roztoku aromat a barviv. K přípravě vzorků byla vždy použita destilovaná voda.

Deriváty celulózy byly použity pro svoje specifické vlastnosti, díky kterým lze u nich předpokládat určitý stupeň elasticity. Je to především jejich makromolekulární polymerní struktura a vysoká relativní molekulová hmotnost (10^5 – 10^6).

Základním požadavkem na jednotlivé deriváty celulózy bylo, aby minimálně ovlivňovaly charakter smykového reogramu a tedy i viskozitní křivky vzorku. U vzorků, jejichž reogram by nebyl podstatně změněn přidávkem malého množství makromolekulárního zahušťovačla, by bylo

možné odlišné senzoričské hodnocení přičíst elasticitě vzorku a nikoliv změněné viskozitě vzorku.

Příprava modelových vzorků

Odděleně byly připraveny jednotlivé roztoky celulózových derivátů a 70% cukerný roztok. Množství cukerného roztoku a příslušného celulózového derivátu v každém připravovaném vzorku je uvedeno v tab. 1.

Pro měření na přístroji Reotest bylo odebráno 100 g vzorků a vzorky byly měřeny 24 h po namíchání. Na přístroji HAAKE Rotovisko byly měřeny 200g vzorky. Zbylá část vzorků byla podrobena senzoričskému hodnocení (nejpozději do pěti dnů).

Instrumentální měření elastických vlastností

K určení prvního rozdílu normálových napětí (N_1) a k měření dynamických vlastností vzorků (G' , G'' , δ) byl použit rotační reometr HAAKE Rotovisko typu kužel-deska. Každý vzorek byl proměřen při smykových rychlostech 5 až 155 s^{-1} (tokové charakteristiky) a při hodnotách úhlové rychlosti 3–30 s^{-1} (dynamické charakteristiky). Rychlosti se zvyšovaly vzestupně od nejnižší hodnoty k nejvyšší.

Byly určovány tyto hodnoty:

N_1 – charakterizuje sílu, která působí v ose otáčení; je mírou elasticity

G' – elastický modul pružnosti [Pa] (je mírou elasticity)

G'' – ztrátový modul [Pa] (je mírou viskozity)

G^* – komplexní modul [Pa] – vyjadřuje celkový odpor materiálu proti působící deformaci (je definován jako $G^* = G' + iG''$)

δ – fázový posuv [°]; tato veličina je rovněž mírou elasticity (pro čistě viskózní kapaliny je $\delta = 90^\circ$, pro elastické materiály je $\delta = 0^\circ$).

Pro měření tokových křivek (BÁTOVSKÁ 1994) byl použit rotační reometr Reotest. Vzorek po nalití do měřicí nádoby byl proměřen při smykových rychlostech $1,5$ – 656 s^{-1} .

Senzoričské hodnocení textury

Hodnocení probíhalo v senzoričské laboratoři odpovídající normě ISO 8589 a vybavené šesti hodnotitelskými kójiemi metodikou podle normy ISO 6658. Před hodnocením byly vzorky dostatečně dlouho temperovány na teplotu 20°C . Každého hodnocení se účastnila skupina šesti hodnotitelů.

Pro vlastní hodnocení kapalných vzorků byl s přihlédnutím k normě ISO 11036 připraven speciální dotazník. Viskozita byla hodnocena senzoričským profilem texturních vlastností s tím, že případná elasticita by se projevila změnou senzoričské viskozity.

Ke stanovení senzoričské viskozity bylo použito pět nezávislých metod – míchání lžičkou, stékání ze lžice, srkání vzorku, stlačování mezi jazykem a patrem, polykání (HOUSKA et al. 1997a). Pro každou z metod byla použita nestrukturovaná úsečka o délce 100 mm; výsledné hodnoty se nacházejí v rozsahu 0–100. Pro každý způsob hodnocení si hodnotitel nabral novou dávku daného vzorku.

Tab. I: Složení vzorků a vypočítané hodnoty K' a n – Sample composition and calculated values K' and n

Vzorek č. ¹	Typ zahušť'ovadla ²	Složení ³		K' [Pa s ⁿ]	n [–]
		zahušť'ovadlo ⁴	cukr (70 % roztok) ⁵		
3	Blanose 7 HOF	4 g 0,5% roztoku	96 g	0,168	0,981
4		2 g 1,5% roztoku	98 g	0,379	0,920
5		3 g 1,5% roztoku	97 g	0,394	0,906
7		2 g 2,5% roztoku	98 g	0,437	0,913
9		4 g 2,5% roztoku	96 g	0,852	0,813
12		–	100 g	0,241	1,000
13	Natrosol 250 HHR (2 % roztok)	1 g 2% roztoku	99 g	0,231	0,997
14		2 g 2% roztoku	98 g	0,273	0,945
15		3 g 2% roztoku	97 g	0,324	0,920
16		4 g 2% roztoku	96 g	0,379	0,883
17		5 g 2% roztoku	95 g	0,394	0,906
24	Benecel 943 HR (2 % roztok)	1 g 2% roztoku	99 g	0,246	1,000
25		2 g 2% roztoku	98 g	0,146	1,000
26		3 g 2% roztoku	97 g	0,147	0,9997
27		4 g 2% roztoku	96 g	0,123	0,991
28		5 g 2% roztoku	95 g	0,121	1,000
29	Karboxymetyl celulóza (2 % roztok)	1 g 2% roztoku	99 g	0,680	0,856
30		2 g 2% roztoku	98 g	0,480	0,907
31		3 g 2% roztoku	97 g	0,692	0,854
32		4 g 2% roztoku	96 g	0,785	0,820
33		5 g 2% roztoku	95 g	0,790	0,820
34		–	100 g	0,241	1,000

¹sample no.; ²type of thickener; ³composition; ⁴thickener; ⁵sugar (70% solution)

Byly podávány vždy tři vzorky (v množství 50 ml na jeden vzorek) najednou tak, že jeden ze vzorků byl čistý cukerný roztok bez přídavku zahušť'ovadla a zbylé dva vzorky obsahovaly různé množství stejného druhu zahušť'ovadla. Hodnotitelé přitom nevěděli, který ze vzorků je čistý cukerný roztok.

Zpracování výsledků

Vyhodnocování výsledků senzorické analýzy se provádělo vždy nejméně z 15 odpovědí pro každý vzorek. Extrémně odlehle výsledky od jednotlivých hodnotitelů byly vylučovány. Ze zbylých hodnot byly vypočteny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky průměru.

Z výsledků přístrojového měření na přístroji Reotest byla pro každý vzorek graficky vyhodnocena závislost:

$$\mu_z [\text{Pa}\cdot\text{s}] = f(\dot{\gamma}_{NN} [\text{s}^{-1}])$$

Z výsledků přístrojového měření na přístroji HAAKE Rotovisko byly pro každý vzorek graficky vyhodnoceny tyto závislosti:

$$\begin{aligned} G' [\text{Pa}], G'' [\text{Pa}], \delta [^\circ] &= f(\omega [\text{s}^{-1}]) \\ \tau [\text{Pa}], N_1 [\text{Pa}] &= f(\dot{\gamma} [\text{s}^{-1}]) \end{aligned}$$

Pro důkladnější prověření vzájemné závislosti či nezávislosti přístrojových a senzorických parametrů byly použity dva vzájemně nezávislé způsoby hodnocení.

První postup

Při prvním způsobu byl vzájemně korelován rozdíl senzorické viskozity vzorku a čistého cukerného roztoku s příslušným rozdílem jejich přístrojových viskozit.

Newtonské chování kapalných potravin je možné popsat mocninovým modelem (ULBRECHT, MITSCHKA 1965):

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad [1]$$

kde: K – koeficient index toku
 n – index toku

Pro výpočet zdánlivé viskozity byl přepočten koeficient konzistence K na K' , čímž byla provedena korekce na newtonské chování kapalných potravin:

$$K' = K \frac{1}{P^n} \quad P = \frac{\dot{\gamma}_{NN}}{\dot{\gamma}_N} = \frac{1-s^2}{n(1-s^{2/n})} \quad s = \frac{d_1}{d_2} \quad [2]$$

Zdánlivá viskozita je potom dána vztahy:

$$1. \mu_z = \frac{\tau}{\dot{\gamma}_{NN}} \quad (\text{body}) \quad 2. \mu_z = K' \dot{\gamma}_{NN}^{n-1} \quad (\text{přímka}) \quad [3]$$

Mocninový model [1] umožňuje provést korekce newtonských smykových rychlostí při použití rovnic [2] na nenenewtonské smykové rychlosti (HOUŠKA *et al.* 1997b).

Pro jednotlivé způsoby senzorického hodnocení závislosti zdánlivé smykové rychlosti $\dot{\gamma}_z$ (rychlost, při které hodnotitelé hodnotili viskozitu vzorků) na ekvivalentní přístrojové viskozitě μ_{ekv} (viskozita hypotetické newtonské kapaliny působící na hodnotitele stejně jako hodnocená nenenewtonská kapalina) byly odvozeny příslušné vztahy (HOUŠKA *et al.* 1997b). Tyto závislosti jsou uvedeny v tab. 2).

Do těchto závislostí byla dosazována pro první přiblížení hodnota K' (zdánlivá viskozita cukerných roztoků a derivátů celulózy μ_z pro smykovou rychlost 1 s^{-1}). Pro danou hodnotu K' byla vypočtena zdánlivá smyková rychlost $\dot{\gamma}_z$ (dosazením do vztahů – tab. 2). Tato smyková rychlost byla dosazena do vztahu [3] a určena opravená hodnota zdánlivé viskozity μ_{z-opr} , která bere v úvahu mírnou nenenewtonskou odchylku reologického chování vzorků.

Tab. 2. Korelační vztahy mezi $\dot{\gamma}_z$ a μ_{ekv} – Correlations between $\dot{\gamma}_z$ and μ_{ekv}

Senzorické hodnocení ¹	Získaný vztah ⁷	Korelační koeficient ⁸
Míchání lžičkou ²	$\dot{\gamma}_z = 19,315\mu_{ekv} - 1,037$	0,929
Stékání ze lžice ³	$\dot{\gamma}_z = 12,795\mu_{ekv} - 0,865$	0,906
Srkání ⁴	$\dot{\gamma}_z = 26,857\mu_{ekv} - 0,937$	0,923
Stlačování jazykem ⁵	$\dot{\gamma}_z = 22,917\mu_{ekv} - 1,195$	0,925
Polykání ⁶	$\dot{\gamma}_z = 17,818\mu_{ekv} - 0,990$	0,932

¹sensory evaluation; ²stirring with spoon; ³lowing down the spoon; ⁴slurping; ⁵tongue compression; ⁶swallowing; ⁷computed relation; ⁸correlation coefficient

Abychom otestovali, zda hodnotitelé nereagují pouze na změny smykové viskozity vlivem přidavku zahušťova- del, byl proveden výpočet rozdílu přístrojové smykové viskozity daného vzorku vůči viskozitě čistého cukerného roztoku.

$$\Delta\mu_z = \mu_{z-opr, vzorku} - \mu_{z, \text{č. cukru}} \quad [4]$$

Podobným způsobem vypočteme i rozdíly mezi senzorickým hodnocením zahuštěných vzorků a čistého cukerného roztoku

$$\Delta SE = SE_{\text{vzorku}} - SE_{\text{č. cukru}} \quad [5]$$

Závislost ΔSE na $\Delta\mu_z$ pro jednotlivé způsoby senzorického hodnocení byla vynesena do grafu. Pokud by existovala korelace mezi těmito veličinami, ale neexistovala korelace mezi ΔSE a N_1 , pak by byl vliv elasticity zanedbatelný a změny senzorického hodnocení by bylo nutné přičíst změně smykové viskozity vlivem přidavku zahušťova- del.

Druhý postup

Při druhém způsobu zpracování výsledků byl vzájemně korelován první rozdíl normálových napětí N_1 s rozdílem senzorických viskozit daného vzorku a čistého cukerného roztoku ΔSE . V případě existence korelace těchto veličin (a současně při neexistenci korelace se změnami přístrojové viskozity – viz první postup) by bylo prokázáno, že změny projevu elasticity (N_1) způsobují změny senzorického hodnocení viskozity.

Kombinovaný postup

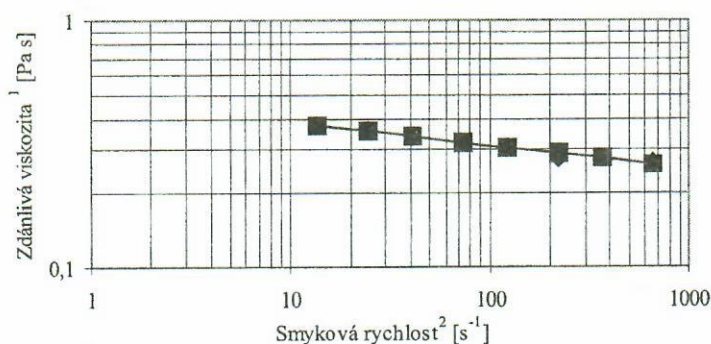
Tento postup kombinuje oba předchozí a uvádí do korelace oba parametry současně pomocí vícenásobné regrese.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Přístrojové hodnocení

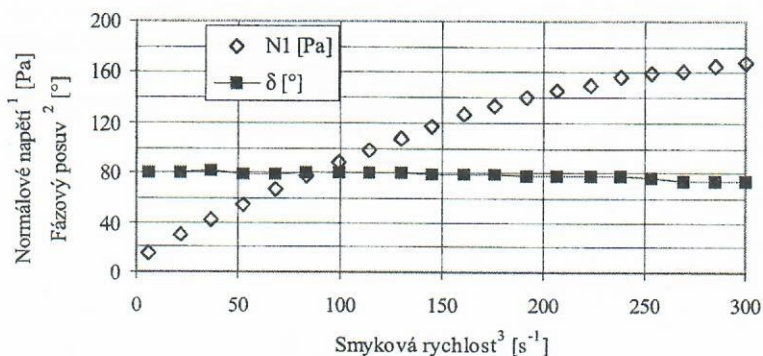
Data naměřená na přístroji Reotest 2 byla vyhodnocena jako závislost μ_z na $\dot{\gamma}_{NN}$. Se vzrůstajícím přídatkem jednotlivých druhů derivátů celulózy byl patrný mírný nárůst nenenewtonského chování. Příklad závislosti zdánlivé smykové viskozity na smykové rychlosti je uveden na obr. 1.

Tokové (τ , N_1) a dynamické charakteristiky (G' , G'' , δ) modelových kapalin byly měřeny pomocí přístroje HAAKE Rotovisko. Předběžná představa o celkové elasticitě modelových kapalin byla získána zejména měřením dynamických vlastností (hodnocením úhlu δ a velikosti elastického modulu G'). U všech vzorků byl měřením prokázán určitý stupeň elasticity. Cukerné roztoky s nejnižším obsahem



¹apparent viscosity; ²shear rate

Obr. 1. Závislost zdánlivé viskozity μ_z na smykové rychlosti (vzorek č. 30) – Relation of apparent viscosity μ_z to shear rate $\dot{\gamma}_{NN}$ (sample no. 30)



Obr. 2. Závislost prvního rozdílu normálového napětí N_1 a fázového posuvu δ na smykové rychlosti (vzorek č. 16) – Relation of the first normal stress difference N_1 and to shear rate (sample no. 16)

¹normal stress difference; ²phase angle; ³shear rate

zahušťovadla (1% přídavek 2% roztoku zahušťovadla) přitom vykazovaly téměř čistě newtonské chování. U koncentrovanějších vzorků s vyšším přídavkem zahušťovadla se již elastická složka chování významněji projevila, což potvrzují i naměřené hodnoty N_1 a δ (příklad na obr. 2).

Senzorické hodnocení viskozity

Čistý cukerný roztok (vzorek č. 12 a 34) nebyl při senzorické analýze modelových vzorků podáván jako známý standard, ale byl podáván anonymně. Lze předpokládat, že kdyby byl čistý cukerný roztok podáván jako známý standard, byly by výsledky senzorické analýzy citlivější především k sledované elasticitě. Cílem práce však bylo ověřit, zda hodnotitelé (běžní konzumenti) poznají i velice malé změny v celkové elasticitě vzorků, u kterých se jen nepatrně vlivem přídavku zahušťovadel změnil reogram. Tento stav (malý přídavek) také lépe odpovídá skutečným množstvím při výrobě nápojů (džusů, ovocných šťáv apod.). Průměrné hodnoty senzorických stanovení jsou uvedeny v tab. 3.

Vzájemné korelace

Pro stanovení vzájemných korelací přístrojových a senzorických veličin bylo nutné odlišit výsledky senzorického hodnocení vzorků s přídavkem zahušťovadla Blanose 7HOF, při jejichž senzorickém hodnocení byl podáván čistý cukerný roztok – vzorek č. 12, od ostatních vzorků, které byly vztahovány k vzorku č. 34 (stejný cukerný roztok, který byl senzoricky hodnocen odlišně). Získané hodnoty rozdílu senzorické viskozity ΔSE v rámci těchto dvou skupin nejsou vzájemně srovnatelné, a proto nebyly hodnoty senzorického hodnocení vzorků s obsahem přípravku Blanose 7HOF v provedených korelacích zohledněny.

První postup

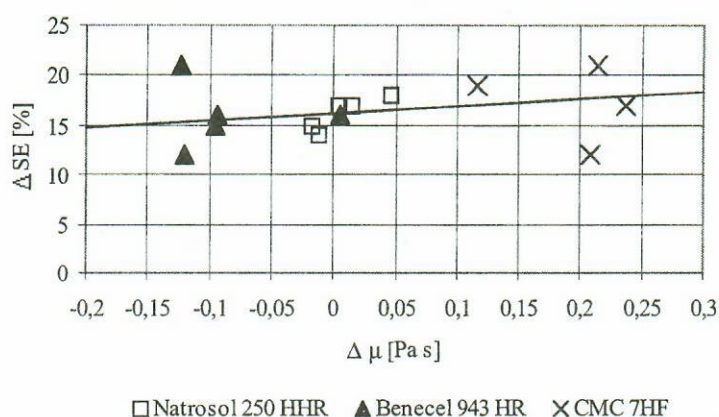
První postup testuje vliv samotných změn smykové viskozity na hodnocení senzorické viskozity. Závislosti ΔSE na $\Delta \mu_z$ byly vyneseny do grafů, proloženy regresní přímkou a provedena korelace (příklad na obr. 3). Hodnoty korelačních koeficientů jsou většinou menší než $r_{krit} = 0,514$ (ŠTĚPÁNEK 1975). Pouze u polykání dosáhl korelační koeficient nadkritické hodnoty (tab. 4).

Tab. 3. Výsledky senzorického hodnocení (průměrné hodnoty) [%] – Results of sensory evaluation (average values) [%]

Vzorek ¹	Míchání ²	Stékání ³	Srkání ⁴	Stlačování jazykem ⁵	Polykání ⁶
Blanose 7HOF					
3	56	50	59	49	50
4	60	52	60	52	52
5	62	49	61	55	50
7	61	55	60	57	51
9	63	58	60	50	48
12	53	42	53	46	42
Natrosol 250 HHR					
13	54	47	51	46	43
14	51	41	47	39	39
15	55	47	49	47	45
16	58	46	46	37	34
17	50	44	43	39	40
Benecel 943 HR					
24	51	41	41	32	24
25	55	44	44	37	25
26	52	42	42	36	25
27	55	46	42	39	27
28	51	42	41	40	31
CMC 7 HF					
29	48	41	41	33	30
30	55	47	55	47	43
31	55	47	53	46	47
32	51	43	39	37	34
33	53	50	54	45	48
34	38	28	27	24	24

¹sample; ²stirring; ³slowing; ⁴slurping; ⁵tongue compression; ⁶swallowing

Pro míchání a stékání ze lžice vychází veličina ΔSE prakticky konstantní, tj. zcela nezávislá na změnách zdánlivé viskozity měřené přístrojově. Mírnou závislost vykazuje



Obr. 3: Závislost rozdílu sensorické viskozity ΔSE na rozdílu přístrojových viskozit $\Delta \mu_z$ (pro stékání ze lžice) – Relation of sensory viscosity difference ΔSE to shear rate difference $\Delta \mu_z$ (for flowing down the spoon)

Tab. 4. Regresní přímky a hodnoty korelačních koeficientů pro jednotlivé způsoby sensorického hodnocení (závislost ΔSE na μ_z) – Regression lines and values of correlation coefficients for the particular methods of sensory evaluation (relation of ΔSE to μ_z)

Senzorické hodnocení ¹	Získaný vztah ⁷	Korelační koeficient ⁸
Míchání lžičkou ²	$\Delta SE = 3,409 \cdot \Delta \mu_z + 18,772$	0,131
Stékání ze lžice ³	$\Delta SE = 9,469 \cdot \Delta \mu_z + 16,514$	0,373
Srkání ⁴	$\Delta SE = 26,118 \cdot \Delta \mu_z + 20,198$	0,464
Stlačování jazykem ⁵	$\Delta SE = 17,147 \cdot \Delta \mu_z + 15,502$	0,331
Polykání ⁶	$\Delta SE = 43,564 \cdot \Delta \mu_z + 12,202$	0,578

¹sensory evaluation; ²stirring; ³slowing; ⁴slurping; ⁵tongue compression; ⁶swallowing; ⁷computed relation; ⁸correlation coefficient

srkání, kde s rostoucím rozdílem přístrojové viskozity roste i rozdíl sensorické viskozity. U stlačování mezi jazykem a patrem je tato závislost maskována velkým rozptylem dat. Pro polykání bylo dosaženo nejvyššího stupně vzájemné korelace. Lze tedy prohlásit, že pro tento způsob hodnocení existuje statisticky prokazatelná závislost mezi rozdílem sensorického hodnocení ΔSE a rozdílem přístrojové viskozity $\Delta \mu_z$.

Druhý postup

Druhý postup testuje, zda existuje vztah mezi rozdílem sensorické viskozity ΔSE a příslušným prvním rozdílem normálových napětí N_1 .

Příklad závislosti ΔSE jako funkce N_1 je uveden na obr. 4. Byla provedena regrese a korelace. S ohledem na hodnoty korelačních koeficientů (tab. 5) nelze vzájemnou korelaci sensoricky stanovených veličin vyjádřených jako ΔSE a přístrojově stanovených veličin reprezentovaných hodnotami N_1 prohlásit za statisticky významnou.

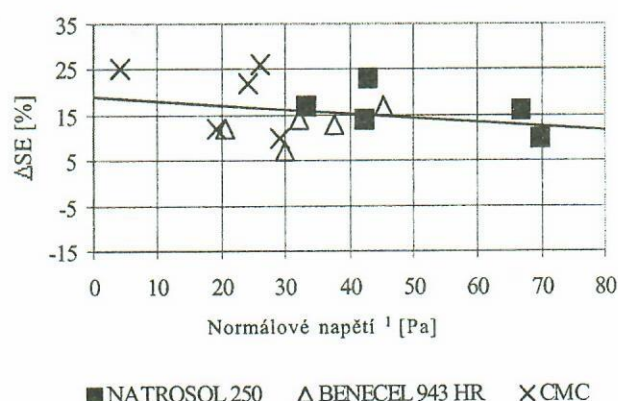
Jak vyplývá z korelačních vztahů, s rostoucím rozdílem normálových napětí klesá velmi mírně a statisticky neprůkazně sensorické hodnocení viskozity. Pro míchání je sensorické hodnocení prakticky nezávislé na prvním rozdílu normálových napětí. Pro stékání vychází sice korelační

Tab. 5. Regresní přímky a hodnoty korelačních koeficientů pro jednotlivé způsoby sensorického hodnocení (závislost ΔSE na N_1) – Regression lines and values of correlation coefficients for the particular methods of sensory evaluation (relation of ΔSE to N_1)

Senzorické hodnocení ¹	Získaný vztah ⁷	Korelační koeficient ⁸
Míchání lžičkou ²	$\Delta SE = -0,01 \cdot N_1 + 19,107$	-0,041
Stékání ze lžice ³	$\Delta SE = -0,065 \cdot N_1 + 18,222$	-0,157
Srkání ⁴	$\Delta SE = -0,083 \cdot N_1 + 23,378$	-0,205
Stlačování jazykem ⁵	$\Delta SE = -0,095 \cdot N_1 + 19,187$	-0,282
Polykání ⁶	$\Delta SE = -0,148 \cdot N_1 + 17,234$	-0,175

For 1–8 see Table 4

koeficient větší než u míchání, avšak statistická průkaznost závislosti není dosažena. U srkání a stlačování mezi jazykem a patrem bylo dosaženo nejvyšších hodnot korelačních koeficientů. Opět jsou však tyto hodnoty statisticky nevýznamné. U polykání je jakákoliv závislost maskována velkým rozptylem sensorického hodnocení.



Obr. 4: Závislost rozdílu sensorické viskozity ΔSE (pro stlačování jazykem) na prvním rozdílu normálového napětí N_1 – Relation of sensory viscosity difference ΔSE (for tongue compression) to the first normal stress difference N_1

Tab. 6. Výsledky vícenásobné regrese (závislosti ΔSE na N_1 a na $\Delta\mu_z$) – Results of multiple regression (relations of ΔSE to N_1 and $\Delta\mu_z$)

Senzorické hodnocení ¹	Získaný vztah ⁷	Násobný korelační koeficient ⁸
Míchání lžičkou ²	$\Delta SE = 18,948 - 0,0069 \cdot N_1 + 3,341 \cdot \Delta\mu_z$	0,134
Stékání ze lžice ³	$\Delta SE = 17,076 - 0,0263 \cdot N_1 + 9,049 \cdot \Delta\mu_z$	0,378
Srkání ⁴	$\Delta SE = 21,302 - 0,0338 \cdot N_1 + 24,829 \cdot \Delta\mu_z$	0,471
Stlačování jazykem ⁵	$\Delta SE = 17,605 - 0,0579 \cdot N_1 + 13,328 \cdot \Delta\mu_z$	0,365
Polykání ⁶	$\Delta SE = 11,807 - 0,0153 \cdot N_1 + 44,013 \cdot \Delta\mu_z$	0,578

¹sensory evaluation; ²stirring; ³slowing; ⁴slurping; ⁵tongue compression; ⁶swallowing; ⁷computed relation; ⁸multiplication correlation coefficient

Modifikovaný postup

Výsledky vícenásobné korelace přírůstku senzorického hodnocení ΔSE se změnami přístrojové viskozity $\Delta\mu_z$ a N_1 jsou uvedeny v tab. 6. Z hodnot celkového korelačního koeficientu se patrně, že statisticky průkazná je pouze závislost pro polykání. Podrobnější výsledky experimentů uvádějí NOVOTNÁ *et al.* (1998)

Závěr

Byly proměřeny reologické charakteristiky cukerných roztoků a systematické řady roztoků zahušťovadel na bázi celulózy přidávaných do těchto cukerných roztoků. Stejně roztoky byly hodnoceny pěti různými metodami senzorické analýzy (mícháním, stékáním ze lžice, srkáním, stlačováním mezi jazykem a patrem a polykáním).

Byla testována vzájemná korelace prvního rozdílu normálových napětí, který je mírou elasticity vzorku, a senzorické viskozity modelových kapalin. Nebyla nalezena statisticky významná korelace. U všech způsobů senzorického hodnocení vychází jen velmi mírná nepřímá závislost, tj. s rostoucím prvním rozdílem normálových napětí klesá velmi mírně hodnota rozdílu senzorické viskozity.

Nebyla také prokázána statisticky významná závislost vzájemné korelace změn smykové viskozity roztoků s hodnotami senzorického hodnocení modelových kapalin, s výjimkou polykání. Znamená to, že odlišné senzorické hodnocení čistých cukerných roztoků a roztoků s přísadkou zahušťovadel nelze jednoznačně přičíst změně celkové viskozity vzorků v důsledku přísadky zahušťovacích prostředků.

Nalezený rozdíl mezi senzorickým hodnocením cukerných roztoků s přísadkou zahušťovadla a senzorickým hodnocením vzorků bez tohoto přísadku tedy není možné pokládat ani jen za projev elasticity vzorků a ani jen za projev jejich změněné viskozity vlivem přísadky zahušťovadel.

Zkoušené přísadky zahušťovadel se pohybovaly v rozmezí 0,02–0,1% (% hmot. suchého zahušťovadla). Tyto přísadky významně neovlivnily přístrojově měřitelné fyzikální veličiny a rovněž nebyly vnímány jako nárůst elasticity při senzorickém hodnocení modelových vzorků. V

případě použití takto nízkých přísadků vybraných druhů zahušťovadel při výrobě potravin tedy nevzniká reálné nebezpečí nepříznivého ovlivnění senzorických ani přístrojově měřitelných parametrů potravin.

Seznam symbolů

d_1	průměr vnitřního válce rotačního reometru	[m]
d_2	vnitřní průměr nádoby rotačního reometru	[m]
G'	elastický modul pružnosti	[Pa]
G''	ztrátový modul	[Pa]
G^*	komplexní modul	[Pa]
n	index toku	[–]
K	koeficient konzistence	[Pa.s ⁿ]
K'	korigovaný koeficient konzistence	[Pa.s ⁿ]
N_1	první rozdíl normálových napětí	[Pa]
SE	senzorické hodnocení viskozity vzorku	[%]
$SE_{\text{c. cukru}}$	senzorické hodnocení čistého cukerného roztoku	[%]
ΔSE	rozdíl mezi senzorickým hodnocením vzorků a čistého cukerného roztoku	[%]
δ	fázový posuv	[°]
$\Delta\mu_z$	rozdíl zdánlivé viskozity vzorku vůči viskozitě čistého cukerného roztoku	[Pa.s]
$\dot{\gamma}_N$	smyková rychlost (pro newtonské kapaliny)	[s ⁻¹]
$\dot{\gamma}_{NN}$	smyková rychlost (pro nenewtonské kapaliny)	[s ⁻¹]
$\dot{\gamma}_z$	zdánlivá smyková rychlost	[s ⁻¹]
μ_{ekv}	ekvivalentní přístrojová viskozita	[Pa.s]
μ_z	zdánlivá viskozita měřená přístrojem (smyková viskozita)	[Pa.s]
$\mu_{z, \text{c. cukru}}$	zdánlivá viskozita čistého cukerného roztoku měřená přístrojem	[Pa.s]
$\mu_{z\text{-opr.}}$	opravená hodnota zdánlivé viskozity	[Pa.s]
τ	smykové napětí	[Pa]

Literatura

- BÁRTOVSKÁ L. (1994): Způsoby měření tixotropie a smykového toku. Praha, VŠCHT.
- HOUSKA M., VALENTOVÁ H., POKORNÝ J., KÝHOS K. (1997a): Korelace senzorické a přístrojové viskozity potravin – I. Newtonské kapaliny. [Technická zpráva.] Praha, VÚPP.

- HOUSKA M., VALENTOVÁ H., POKORNÝ J., KÝHOS K., REDL J., NOVOTNÁ P., STROHALM J., ŠESTÁK J. (1997b): Korelace mezi senzorickým a přístrojovým hodnocením viskozity kapalných potravin – II. Nenewtonské kapaliny. [Technická zpráva.] Praha, VÚPP.
- KODET J., ŠOTOLOVÁ I., ŠTĚRBA S. (1993): Plnící, zahušťovací, gelotvorné a stabilizační látky pro potraviny. Praha, SPI.
- NOVOTNÁ P., SOPR V., HOUSKA M., VALENTOVÁ H., ŠTERN P. (1998): Vliv smykové viskozity a elasticity na senzorickou viskozitu modelových kapalných potravin. [Technická zpráva.] Praha, VÚPP.
- ŠTĚPÁNEK V. (1975): Matematická statistika v chemii. Praha, SNTL.
- ULBRECHT J., MITSCHKA P. (1965): Chemické inženýrství nenewtonských kapalin. Praha, ČSAV: 22.
- ISO 8589 (1988): Senzorická analýza – Obecná směrnice pro uspořádání senzorického pracoviště.
- ISO 6658 (1985): General guidance.

Došlo 13. 7. 1998
Přijato k publikaci 12. 11. 1998

Kontaktní adresa:

Ing. PAVLA NOVOTNÁ, Výzkumný ústav potravinářský Praha, Radiová 7, 102 31 Praha 10-Hostivař, Česká republika, tel.: + 420 2 70 23 21, fax: + 420 2 70 19 83, e-mail: m.houska@vupp.cz
