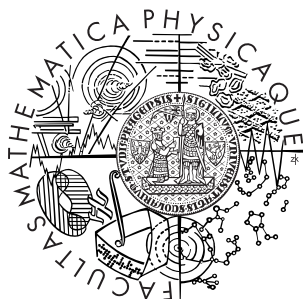


Univerzita Karlova v Praze  
Matematicko-fyzikální fakulta

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Martin Srkala

### **Srovnání pěnivých vlastností vybraných bílkovino-polyfenol-polysacharidových roztoků praktického významu metodou zobrazovací fotometrie**

Katedra chemické fyziky a optiky

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Petr Sladký, CSc.

Studijní program: Fyzika, obecná fyzika

2006

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Sladkému, CSc., za seznámení s neběžnými metodami a postupy vědecké práce. Dále Mgr. Petru Gabrielovi za poskytnutí software pro poloautomatické zpracování naměřených dat, Mgr. Haně Císařové za věcné poznámky k zpracovávání dat a Vojtěchu Vyklickému za návrhy ke zlepšení technologie měření.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 9. 8. 2006

Martin Srkala

# Obsah

Úvod	5
<b>1 Materiály a metody</b>	<b>7</b>
1.1 Vzorky pěny . . . . .	7
1.2 Zkušební sklenice . . . . .	7
1.3 Pomocné a mycí roztoky . . . . .	7
1.4 Měřicí pomůcky a přístroje . . . . .	8
1.5 Měřené veličiny a parametry stability vzorků pěny . . . . .	8
1.6 Kinetické rovnice rozpadu pěny . . . . .	10
1.7 Hodnocení naměřených dat . . . . .	11
<b>2 Výsledky a diskuze</b>	<b>12</b>
2.1 Měření stability vzorků pěny vizuální nivelací s ručním zápisem dat . . . . .	12
2.2 Měření a hodnocení kinetiky průběhů automaticky snímaných rozhraní $B(t)$ a $G(t)$ . . . . .	14
2.3 Profilování vrstev ulpívání pěny a piva . . . . .	18
<b>Závěr</b>	<b>20</b>
<b>Literatura</b>	<b>21</b>

Název práce: Srovnání pěnivých vlastností vybraných bílkovino-polyfenol-polysacharidových roztoků praktického významu metodou zobrazovací fotometrie

Autor: Martin Srkala

Katedra: Katedra chemické fyziky a optiky

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Petr Sladký, CSc.

e-mail vedoucího: petr.sladky@mff.cuni.cz

Abstrakt: Tato práce se zabývá didaktikou měření a vyhodnocení kinetiky rozpadu pивní pěny, jakožto příkladu fázového bílkovino-polyfenol-polysacharidového koloidního rozhraní. Bylo provedeno overění exponenciálního modelu rozpadové kinetiky pěny a měření hladiny fázových rozhraní nejprve metodou vizuálního odečítání hodnot a poté vyhodnocení fotometricky zaznamenaných kinetik rozpadů a jejich srovnání. Byla ukázána užitečnost vyvinutých didaktických pomůcek a modelů kapalných pěn na bázi piva pro praktickou výuku statistického porovnávání měření s kinetickými modely rozpadu pěny.

Klíčová slova: Zobrazovací fotometrie, pивní pěna, rozpadová kinetika

Title: Comparison of foaming properties of selected protein-polyphenol-polysacharid solutions of practical importance using the method of imaging photometry

Author: Martin Srkala

Department: Department of Chemical Physics and Optics

Supervisor: Doc. Ing. Petr Sladký, CSc.

Supervisor's e-mail address: petr.sladky@mff.cuni.cz

Abstract: This thesis measures and evaluates kinetics of decay of beer foam as an example of the protein-polyphenol-polysacharid foaming liquid. The check of exponential model of foam decay kinetics was being performed. Measurements of interface levels were taken. Firstly, the reading of the variables were noted then evaluation of photometric records of kinetics decays and finally those were put in comparison. The efficiency of applied didactic methods and technics and model foam samples for practical education of statistical evaluation of kinetic models of foam colapse was demonstrated.

Keywords: Imaging photometry, beer foam, decay kinetics

# Úvod

Pěna vzniká směřováním kapalné a plynné látkové fáze. Po přerušení dávky směšovací energie se pěna začne rozpadat. Rozpad resp. stabilitu pěny lze charakterizovat rychlostí rozpadu a v prvním přiblížení dobou života na základě fenomenologického zákona exponenciálního rozpadu [21].

Z prosté zkušenosti je známo, že když kapalná fáze v pěně ztuhne, jako je tomu např. ve vulkanické pemze, koksu, pórobetonu nebo polymerních pěnach z polystyrenu, polyuretanu atp., je tuhá pěna velmi stabilní i desítky až miliony let. Rozpadá-li se pěna převážně v důsledku výtoku kapaliny, jako je tomu v případě kapalných pěn, potom je stabilní jednotky sekund až desítky minut, jak je typické u nápojů typu perlivých vín a piva. Dokonce pěna tvořená směsí vody a kyslíčnicku uhličitého (tzv. „sodovka“) je stabilní pouze zlomky sekund.

Obecně závisí stabilita resp. kinetika rozpadu, zvláště kapalných pěn, na velkém počtu jak fyzikálně-chemických vlastností jejich složek a jejich vzájemných interakcí s okolím, tak i souvisejících procesů jejich tvorby. Vzájemné interakce jednotlivých složek kapalné pěny a okolí během tvorby a rozpadu jsou mimořádně složité a dosud málo popsány. Jsou proto nejen stálým předmětem základního i aplikovaného výzkumu, ale i významným předmětem výuky praktických a teoretických metod studia interakcí koloidních látkových forem v oborech moderní chemické fyziky a biofyziky, viz [9] a [1].

Stávající metody praktické výuky měření a hodnocení stability a dalších vlastností kapalných pěn jsou založeny převážně na použití jednocestných metod a přístrojů [2] a [19]. Tyto metody jsou didakticky, analyticky a následně i technicko-ekonomicky málo účinné. Proto Sladký a kol. ([3], [4], [11]–[17]) vyvinuli soubor didaktických metod a zařízení pro praktickou výuku stability a dalších vlastností pěnivých koloidních soustav na základě měření a hodnocení dvou a více vzorků kapalných pěn současně vedle sebe.

Z analytických i technicko-ekonomických důvodů byla pro ověřování vy-

vinutých metod a přístrojů ([3], [4], [11]–[17]) použita pивní pěna jako vhodná modelová pěnivá soustava na bázi rostlinných bílkovin a pryskyřic praktického významu. Pивní pěny, a z nich zvláště pěny světově nejznámějších a nejoblíbenějších světlých piv typu plzeňského ležáku, patří mezi nejtypičtější kapalně pěny, sledované miliony spotřebitelů po celém světě. Pивní pěna se převážně skládá z bílkovinných složek extraktu pивa, chmelových pryskyřic a kysličníku uhličitěho [20] a [1]. Může ale obsahovat i vzduch nebo i jiné plyny např. kysličník dusný, použité k jejímu vytvoření buď prostým tj. beztlakovým nalitím nebo tlakovým „natočením“ do konzumační sklenice [9]. Složení jak pивa ale především plynů v pивní pěně podstatně ovlivňuje její stabilitu a průběh kinetiky jejího rozpadu [1].

Pивní pěnu jako modelovou soustavu ke studiu interakcí částic s kondenzovanou fází a nebo k názorné demonstraci exponenciálního zákona rozpadu ve výuce oborů teoretické a jaderné fyziky použili též autoři [10] a [8]. V rámci projektu výuky učitelů fyziky „HEUREKA“ použili nedávně vzorky pěn, vytvořené prostým nalitím pивa do sklenice, k experimentální demonstraci a měření exponenciálního zákona rozpadu Dolejší a Dvořák (2004) [6].

Cílem předložené práce bylo pomocí vyvinutých didaktických pomůcek ([3], [4], [11]–[17]) provést a vyhodnotit vyhledávací měření stability bílkovino-polyfenol-polysacharidových pěn praktického významu na bázi modelových vzorků pивní pěny přímou vizuální metodou a metodou zobrazovací fotometrie.

# Kapitola 1

## Materiály a metody

### 1.1 Vzorky pěny

Pro měření byly použity vzorky pěn, připravené z piv různých obchodních značek, balených jak v lahvích tak i plechovkách o objemu 0.5l a 0.33l metodou FOAMPASMED [11]. Příprava vzorků pěny metodou FOAMPASMED spočívá v zastavení procesu napěňování piva (resp. i jiné pěnotvorné kapaliny) v momentě, kdy horní hladina pěny prochází uzanční úrovní. Podrobnější popis použité metody je uveden v práci [11].

### 1.2 Zkušební sklenice

Jako zkušební sklenice byly použity skleněné válcové kyvety typu MZN optimalizované a standardizované výšky ( $150 \pm 1$ ) mm o vnějším průměru ( $60 \pm 0.5$ ) mm a tloušťky stěny 2 mm [17], [14] tak, aby umožňovaly metodou FOAMTURB [13] návazné měření turbidity piva rozpadlého z pěny. Kyvety byly zhotoveny z boro-silikátového skla.

### 1.3 Pomocné a mycí roztoky

Pro průběžné mytí a oplachování zkušebních kyvet byla použita výhradně voda z rozvodné sítě. K základnímu umytí zkušebních kyvet byl použit 0.5 % roztok detergentu JAR v síťové vodě o teplotě cca 50 °C následovaný důkladným opláchnutím horkou destilovanou vodou.

## 1.4 Měřicí pomůcky a přístroje

Pro vizuální odečítání měřených hodnot byl použit přístroj PASMED v didaktické sestavě [15] obsahující:

- plexisklový držák komerčních obalů (nádob) v definovaných polohách pro vzorky piva k napěnění naléváním
- plexisklový držák zkušebních kyvet s výškovou stupnicí dělenou v milimetrech pro měření stability pěny a hodnocení pěnovosti, opatřený polohovacími značkami pro definovanou přípravu vzorků pěny nalitím z lahve či plechovky
- stopky a nebo hodiny se sekundovým dělením v podobě PC SW Minutka [3]
- rtuťový teploměr 0 – 50 °C s dělením po 0.5 °C
- tabulkové moduly pro ruční zápis turbidimetricky (vizuálně) měřených rozpadů vzorků pěn v závislosti na čase. Podobněji je přístroj PASMED - Didaktik popsán v práci [15]

K profilování vrstev pěny a piva a pro automatický záznam fotometricky měřených kinetik rozpadů vzorků pěn byl použit přístroj AIMPHOT - Didaktik [16] na bázi komerční digitální kamery připojené přes USB rozhraní k PC. Přístroj rovněž umožňoval pomocí metody CLINGTURB [12] snímání a záznam ulpívání a kroužkování pěny na stěně sklenice, anglicky tzv. „cling“. Podrobnější popis přístroje je uveden v práci [16].

Výsledky měření byly zpracovávány pomocí PC s potřebným software.

## 1.5 Měřené veličiny a parametry stability vzorků pěny

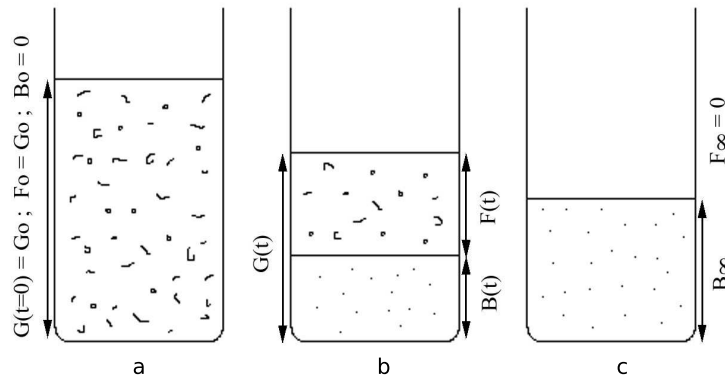
Pomocí přístroje PASMED byly komparací přímo měřeny hladiny (výšky) fázových rozhraní (mm resp. cm) v závislosti na čase  $t$  a to buď vizuální nivelací s ručním zápisem dat do připravené vzorové tabulky a nebo automatickým odečítáním pomocí aparatury AIMPHOT s následnou poloautomatickou digitalizací metodou dle Gabriela, viz [4].



V některých vyhledávacích pokusech s paralelním vizuálním odečítáním a ručním zápisem dat bylo zvoleno měření času v závislosti na průchodu hladin rozhraní jednotlivých vzorků pěn rovnoměrnými úrovněmi vyznačenými na stupnici přístroje PASMED a v tabulce pro zápis dat. Z důvodů konvencí používaných pro analýzu vlastností piva bylo zvoleno měření doby poklesu hladiny rozhraní plyn/pěna o 3 cm z úrovně 11 cm na úroveň 8 cm při počátečním napěnění piva ve zkušební kyvetě na úroveň 12 cm. (tzv. metoda NIBEM, [7])

Byly měřeny následující veličiny procesu tvorby a rozpadu vzorků pěn piva ve zkušebních kyvetách (viz obrázek 1.1):

- $G(t)$  - pokles úrovně hladiny rozhraní plyn/pěna v závislosti na čase  $t$
- $G_{\max}$  - maximální úroveň horní hladiny pěny, na kterou vystoupila po napěňování resp. přerušení toku nalévaného piva do zkušební kyvety
- $B(t)$  - růst úrovně hladiny rozhraní pěna/pivo v závislosti na čase  $t$
- $B(t = 0) = B_0$  - úroveň hladiny piva, daná objemem piva použitého k vytvoření vzorku pěny
- $B(t = t_L) = B_L$  - úroveň hladiny piva v kyvetě po rozpadu pěny v momentě objevení se tzv. lysinky na hladině piva
- $B(t \rightarrow \infty) = B_\infty$  - úroveň hladiny piva po úplném rozpadu pěny v čase  $t$  mnohem větším než doba  $t_L$
- $F(t) = G(t) - B(t)$  - zmenšování tloušťky vrstvy pěny v průběhu jejího rozpadu určené průběhem rozdílu úrovní hladin rozhraní plyn/pěna a pěna/pivo v závislosti na čase  $t$
- $t_0$  - počátek procesu napěňování uzančně zvolený v čase  $t = 0$
- $t_{\text{stop}}$  - moment zastavení napěňování resp. toku napěňovaného piva
- $t_L$  - doba, po jejímž uplynutí se objeví na hladině pěny tzv. lysinka, tj. vrstva pěny se na povrchu o ploše cca  $1 \text{ cm}^2$  úplně rozpadne a objeví se hladina piva



Obrázek 1.1: Schematické znázornění změn velikostí objemu pěny a piva během rozpadu ve zkušební válcové kyvetě

- ihned po **úplném rozpěnění** piva např. tlakem kysličníku uhličitého tryskou
- v průběhu rozpadu a nebo ihned po **částečném napěnění** např. nalitím z lahve
- po úplném rozpadu pěny na pivo

Symboly  $G$ ,  $B$  a  $F$  označují hladiny pěny, piva a hloubku vrstvy pěny pro popis jejich změn v závislosti na čase  $t$ . Při použití válcových nádob představují hodnoty  $F$  a  $B$  rovněž objemy pěny a piva a  $G$  jejich součet v čase  $t$ . Symboly  $F_0$ ,  $G_0$  a  $B_0$  představují výchozí hodnoty hladin napěněného piva přibližně na počátku rozpadu pěny.  $B_\infty$  a  $F_\infty$  pak po úplné rozpadu pěny v čase  $t \rightarrow \infty$ .

## 1.6 Kinetické rovnice rozpadu pěny

Rozpad pěny se dělí do tří časových fází:

- stékání piva z pěny - mokrá pěna
- exponenciální rozpad pěny - suchá pěna
- rozpad zbytků pěny - její významné strukturní změny

Při druhé fázi rozpadu pěny se předpokládá platnost kinetické rovnice prvního řádu, tedy *exponenciální závislost*. Přírůstek objemu piva v čase klesá, což odpovídá rovnici:

$$V(t) = V_0 \cdot e^{-t/\tau}, \quad (1.1)$$

kde  $V_0$  je objem piva v pění v počátku měření, tj. po odečtení piva po nalití a  $\tau$  je konstanta rozpadu pěny.

Pro popis fáze stékání piva a druhé fáze rozpadu se používá složená kinetická rovnice:

$$h(t) = h_0 + A_1 \cdot [1 - e^{-t/\tau_1}] + A_2 \cdot [1 - e^{-t/\tau_2}], \quad (1.2)$$

kde  $h_0$  je hladina piva v čase  $t = 0$ ,  $A_1$  a  $A_2$  jsou objemy piva vázaného nebo volně přítomného v pění.  $\tau_1$  a  $\tau_2$  jsou rozpadové konstanty v první a druhé fázi.

Při třetí fázi rozpadu pивní pěny dochází k jejím výrazným strukturním změnám. Její kinetiku popisují empirické rovnice, více viz [18].

## 1.7 Hodnocení naměřených dat

Z důvodů moderní didaktiky analytických metod (podrobněji viz. kapitola 2) byly použity ke statistickému a modelovému hodnocení naměřených kinetických dat rozpadu pивní pěny statistické funkce (obsažené např. v programech `Calc`, `Excel`, `Origin` a dalších) a postupy jakož i průběhy modelových kinetik. Jednalo se především o statistické funkce  $R^2$  a  $\chi^2$ . Jejich výpočet a interpretace lze dohledat v nápovědách příslušných programů nebo [5]. Grafy byly vytvořeny v programu `Gnuplot`.

# Kapitola 2

## Výsledky a diskuze

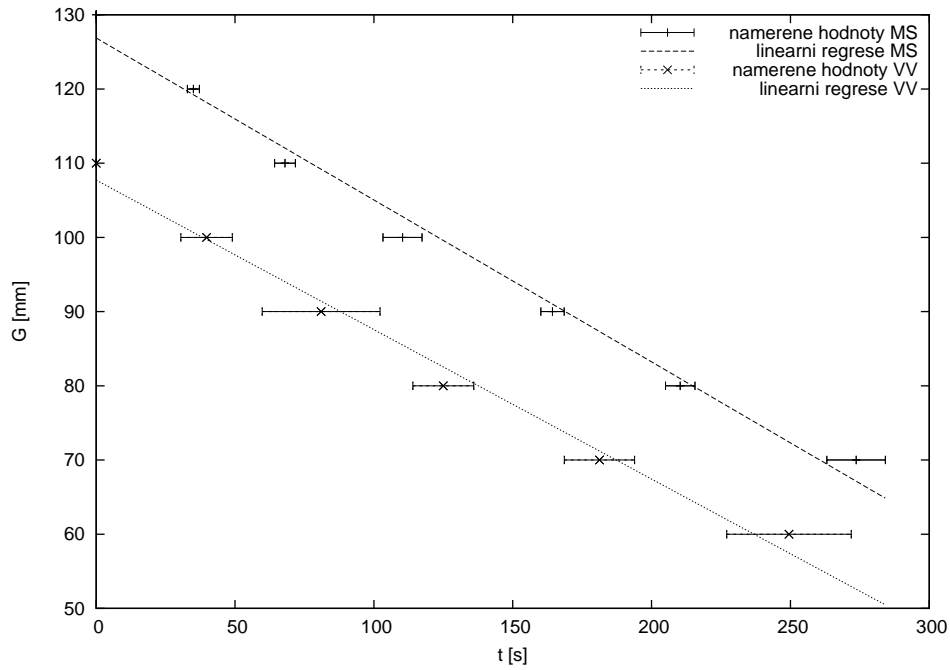
### 2.1 Měření stability vzorků pěny vizuální nivelací s ručním zápisem dat

Při měření kinetické charakteristiky  $G(t)$  byly odečítány a zapisovány do připravených tabulkových modulů doby průchodů rozhraní plyn/pěna zvolenými výškovými úrovněmi, vyznačenými na ukazateli přístroje PASMED v intervalech 10 mm. To proto, aby bylo možno případně porovnávat výsledky nalévacích zkoušek stability pěny piva se zkouškami stability vzorků pěn vytvořených jinými zavedenými způsoby, jako např. metodou NIBEM dle Kloppera (1973).

Naměřené hodnoty dvou operátorů (MS resp. VV) pro světlá piva stejné značky při různé teplotě (21.5 °C resp. 19.5 °C) jsou uvedeny v tabulce 2.1. Pro zpracování byla vynechána data ze čtvrté kyvety operátora MS. Hodnoty zjevně odpovídají situaci, kdy hladina pěny piva nevystoupila na požadovanou počáteční výškovou úroveň.

Dále byla data ručně zdigitalizována (přepsáním do PC) a zpracována v software uvedeném výše.

Měřené hodnoty  $t$  (závislá veličina) byly v rámci konvence vyneseny na osu  $x$ . Hodnoty  $G(t)$  byly poté fitovány ve smyslu metody nejmenších čtverců v programu `Gnuplot` lineární závislostí, tedy přímkou  $y = a \cdot x + b$ , viz obrázek 2.1. To z důvodu předpokladu linearitu poklesu horní hladiny pěny některých typů piv v druhé fázi jejího rozpadu, viz [18]. Statistické veličiny ukazující oprávněnost modelu v tomto případě byly:



Obrázek 2.1: Závislost pohybu rozhraní plyn/pěna na čase

$$R_{MS}^2 = 0.9884 \quad R_{VV}^2 = 0.9877$$

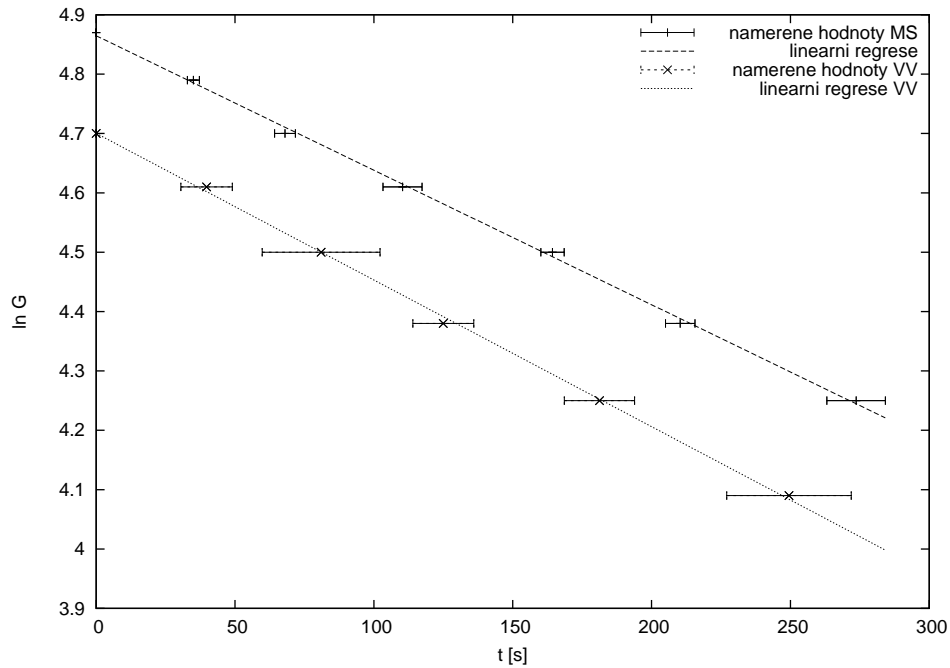
$$\chi_{MS}^2 = 115.9 \quad \chi_{VV}^2 = 21.61$$

Hodnoty uvedených statistických veličin naznačují, že skutečný průběh  $G(t)$  je exponenciální:

$$G(t) = G_0 \cdot e^{-t/\tau}, \quad (2.1)$$

kde  $G_0$  je výška horní hladiny pěny na počátku měření, tedy po nalití - v tomto případě ji ztotožňujeme s  $G_{\max}$  a  $\tau$  je konstantna udávající rozpad pěny (rozpadová konstanta). K tomuto účelu byla škála osy y převedena na logaritmickou, viz obrázek 2.2. Sada výsledných parametrů je uvedena v tabulce 2.2.

Výsledná hodnota rozpadové konstanty  $\tau_{MS}$  je vyšší než  $\tau_{VV}$ , což zřejmě odpovídá tomu, že měření operátora VV probíhalo za vyšší teploty vzorku a vyšší úrovně napětění ( $G_{\max}$ ). Vyšší teplota vzorku operátora VV a nižší úroveň napětění vedla k rychlejšímu rozpadu pěny. Statistická veličina  $R^2$  se přiblížila k jedné a  $\chi^2$  se zmenšilo, což vypovídá o zpřesnění při použití exponenciálního modelu.



Obrázek 2.2: Závislost  $G(t)$  v logaritmické škále

## 2.2 Měření a hodnocení kinetiky průběhů automaticky snímaných rozhraní $B(t)$ a $G(t)$

Pro záznam kinetiky rozhraní  $B(t)$  a  $G(t)$  byl využíván přístroj AIM-PHOT, složený z PC a k němu připojené USB-kamery a aparatury PAS-MED, podrobněji [16] a [15]. Získaná série snímků byla zpracována v programu pro poloautomatickou digitalizaci [4], získaná data jsou uvedena v tabulce 2.3. Byl použit vzorek piva s menší pěnivostí. Měření bylo provedeno za teploty 20.0 °C.

V dalším zpracování byla použita modelová funkce (1.2) pro pohyb rozhraní  $B(t)$  a funkce (2.1) pro průběh rozhraní  $G(t)$  jako v předchozím zpracování. Fitování bylo opět provedeno v programu Gnuplot, viz obrázek 2.3.

Sady výsledných parametrů jsou uvedeny v tabulce 2.4, resp. 2.5.

Rozpadová konstanta tohoto vzorku piva  $\tau$  je menší a  $G_{\max}$  nižší než u předchozích vzorků pěny, což odpovídá skutečnosti, že použitý vzorek obsa-

Tabulka 2.1: Data pořízená ručním zápisem

$G_{MS}$ [mm]	$t_I$ [s]	$t_{II}$ [s]	$t_{III}$ [s]	$t_{IV}$ [s]	$t_{prům.}$ [s]	$\sigma_t$ [s]
130	0	0	0	-	0	0
120	34	38	33	-	35	2
110	67	73	64	0	68	4
100	112	118	101	43	110	7
90	160	170	163	95	164	4
80	210	217	204	134	210	5
70	270	288	263	194	273	11

$G_{VV}$ [mm]	$t_I$ [s]	$t_{II}$ [s]	$t_{III}$ [s]	$t_{IV}$ [s]	$t_{prům.}$ [s]	$\sigma_t$ [s]
110	0	0	0	0	0	0
100	42	32	54	31	40	9
90	67	56	111	90	81	21
80	120	110	139	131	125	11
70	186	165	199	175	181	13
60	252	214	276	256	250	22

Tabulka 2.2: Sada výsledných parametrů - ruční zápis dat

operátor	$\tau$ [s]	$G_{max}$ [mm]	$B_\infty$ [mm]	$R^2$	$\chi^2$	$N$
MS	$441 \pm 1$	$127.1 \pm 0.5$	$56 \pm 2$	0.9990	27.8	7
VV	$404 \pm 6$	$110.0 \pm 0.1$	$55 \pm 3$	0.9948	1.14	6

hoval méně  $CO_2$  - tím vytvořil méně pěny z přibližně stejného objemu piva a pravděpodobně také méně pěnivých látek. Počáteční hodnota napěnění ( $G_0$ ) určená jako parametr fitování je vyšší než hodnota celkového napěnění ( $G_{max}$ ) - tento jev lze vysvětlit tím, že předpovídaná závislost nesedí v prvních sekundách měření - což také potvrzuje hodnota  $\chi_G^2$ . Tohoto jevu bychom se zbavili vynecháním prvních dvou tří bodů závislosti a použitím zbylých, které popisují rozpad pěny ve druhé fázi.

Rozdílné rozpadové konstanty  $\tau_1$  a  $\tau_2$  odpovídají rozdílným fázím přírůstku objemu piva (např. [18]). Hodnota  $B_\infty$  byla určena jako limita  $B(t \rightarrow \infty)$ . Značné chyby získaných parametrů jsou dány „citlivostí“ modelu v první časové fázi - tedy stékání piva z pěny. Ke zlepšení by došlo naměřením více bodů v této fázi.

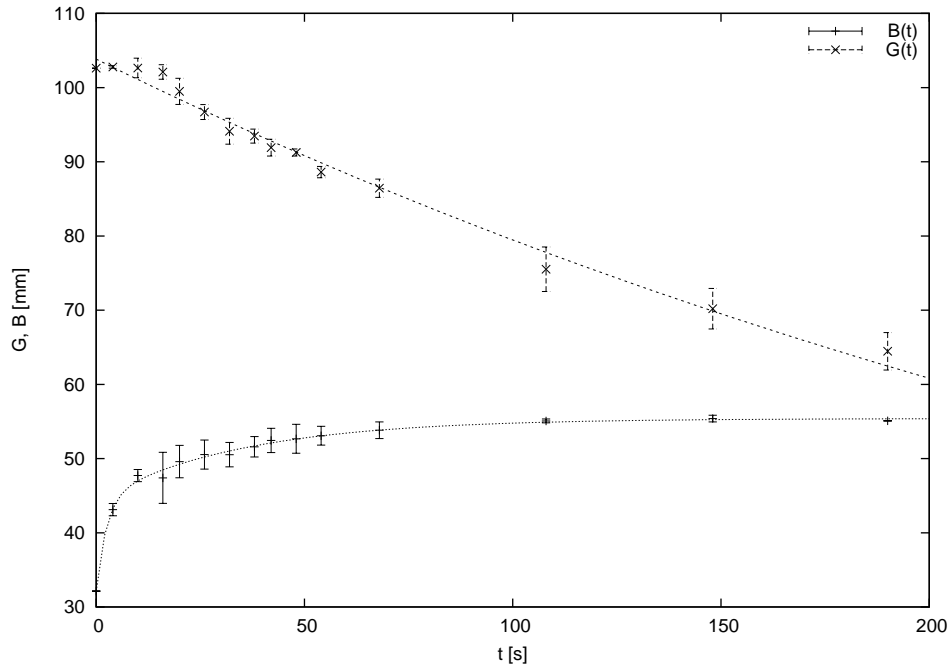
Tabulka 2.3: Data získaná z fotometrického záznamu

$t$ [s]	$G_I$ [mm]	$G_{II}$ [mm]	$G_{III}$ [mm]	$G_{\text{prům.}}$ [mm]	$\sigma_G$ [mm]
0	-	-	102.6	102.6	0.0
4	-	102.6	102.9	102.8	0.2
10	102.6	104.3	101.0	102.6	1.3
16	102.6	103.0	100.7	102.1	1.0
20	101.5	99.7	97.2	99.5	1.8
26	97.7	97.1	95.3	96.7	1.0
32	94.4	96.1	91.8	94.1	1.7
38	94.4	93.8	92.2	93.5	0.9
42	93.3	91.8	90.6	91.9	1.1
48	91.7	91.5	90.6	91.3	0.5
54	89.0	87.5	89.3	88.6	0.8
68	87.9	86.6	84.9	86.4	1.2
108	78.9	76.1	71.6	75.5	3.0
148	67.1	73.8	69.7	70.2	2.7
190	61.7	63.9	67.8	64.5	2.5

$t$ [s]	$B_I$ [mm]	$B_{II}$ [mm]	$B_{III}$ [mm]	$B_{\text{prům.}}$ [mm]	$\sigma_B$ [mm]
0	-	-	32.1	32.1	0.0
4	-	42.3	43.9	43.1	0.8
10	-	48.5	46.9	47.7	0.8
16	42.8	51.2	48.2	47.4	3.4
20	46.8	52.1	49.8	49.6	2.2
26	48.3	53.1	50.2	50.5	2.0
32	49.0	52.8	49.8	50.5	1.6
38	50.2	53.4	51.2	51.6	1.4
42	51.1	54.8	51.5	52.4	1.6
48	51.1	55.4	51.5	52.7	1.9
54	51.7	54.8	52.8	53.1	1.3
68	52.9	55.4	53.1	53.8	1.1
108	55.4	55.1	54.8	55.1	0.3
148	55.7	55.7	54.8	55.4	0.5
190	55.1	55.1	55.1	55.1	0.0





Obrázek 2.3: Závislost rozhraní  $G(t)$  a  $B(t)$  na čase

Tabulka 2.4: Výsledné hodnoty - rozhraní  $G(t)$

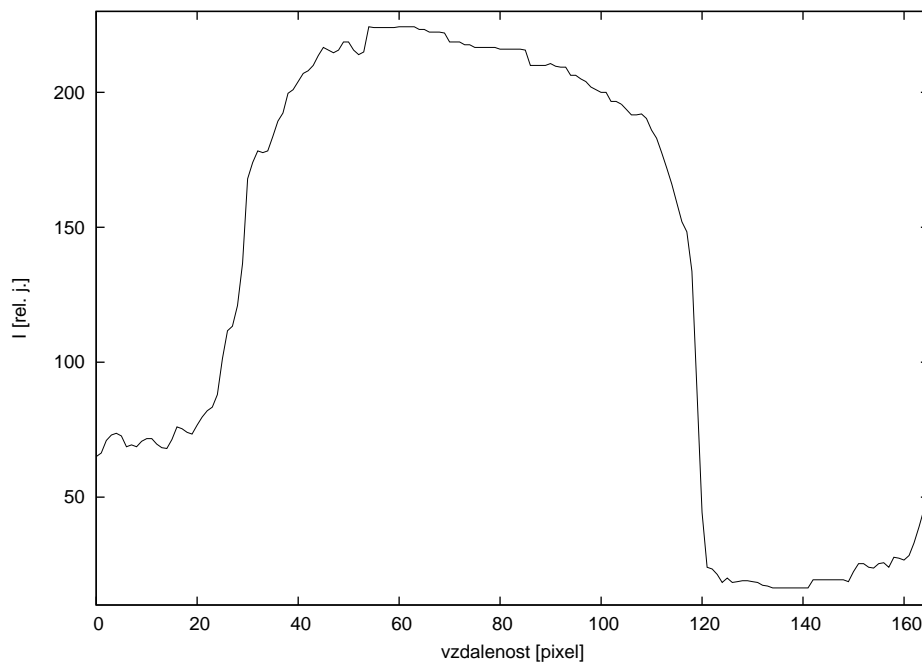
$\tau$ [s]	$G_0$ [mm]	$G_{\max}$ [mm]	$R^2$	$\chi^2$	$N$
$373 \pm 13$	$103.8 \pm 0.6$	$102.8 \pm 0.2$	0.9878	25.04	15

Tabulka 2.5: Výsledné hodnoty - rozhraní  $B(t)$

$\tau_1$ [s]	$\tau_2$ [s]	$B_\infty$ [mm]	$B_0$ [mm]	$R^2$	$\chi^2$	$N$
$2.46 \pm 0.47$	$35.2 \pm 5.0$	$55.4 \pm 14.6$	$32.1 \pm 0.5$	0.9951	2.43	15

## 2.3 Profilování vrstev ulpívání pěny a piva

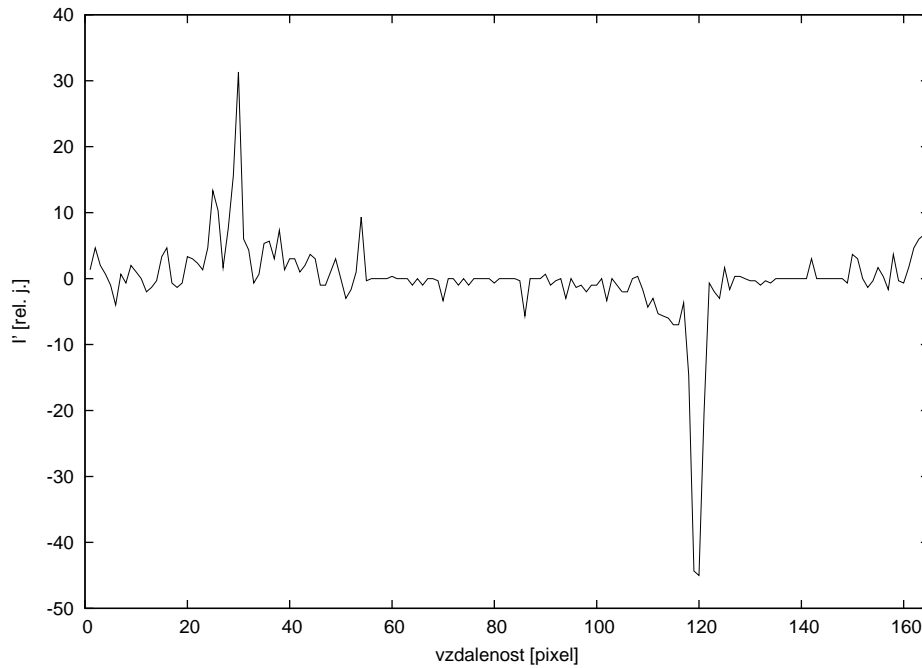
Metoda automatického záznamu fotometricky měřených kinetik, jež využívá přístroj AIMPHOT, nabízí i různá další zpracování dat, mimo jiné např. pomocí programu ImageJ (viz <http://rsb.info.nih.gov/ij>). Tento program umožňuje z libovolného snímku zaznamenané sekvence získat profil intenzity světla v reflexi, viz obrázek 2.4, na němž lze dobře rozlišit odrazivou vrstvu - tedy vzchuch, pěnu a pivo - a šel by tedy v rámci plně automatických metod použít k určení polohy rozhraní.



Obrázek 2.4: Intenzitní profil světla v reflexi

Obrázek zachycuje intenzitu odraženého světla vertikálního řezu kyvetou. V levé části je dobře rozeznatelné rozhraní vzduch/pěna, tedy  $G$ , a také ulpívání pěny na stěně nádoby. V pravé části je pak rozhraní  $B$ .

Po provedení numerické derivace znázorněné křivky byla získána závislost na obrázku 2.5.



Obrázek 2.5: Derivace křivky na obrázku 2.3

Na obrázku jsou patrné dva hlavní píky odpovídající poloze rozhraní  $G$  - v levé části,  $B$  - v pravé části. Jejich šířka je úměrná „rozmazání“ jednotlivých rozhraní - opět lze pozorovat ulpívání pěny na stěně nádoby.

Šířky píků (a tím odpovídající „rozmazání“ - chyby určení rozhraní) byly získány pomocí programu GnuPlot a to fitováním gaussovou funkcí:

$$g(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

kde  $\mu$  je střední hodnota výběru a  $\sigma^2$  je jeho rozptyl. Odtud výsledné hodnoty určení polohy rozhraní:

$$G = (28.8 \pm 6.0) \text{ px} \quad B = (119.5 \pm 6.9) \text{ px}$$

Přesnost určení hodnoty  $G$ , resp.  $B$  touto metodou je 21 %, resp. 6 %.

# Závěr

Pomocí vyvinutých didaktických pomůcek byla provedena vyhledávací kinetická měření na modelech bílkovino-polyfenol-polysacharidových pěn na bázi komerčních světlých piv typu světlého ležáku.

Jmenovitě:

- a) Bylo porovnáno použití lineárního a exponenciálního modelu rozpadu vzorků modelových pěn a chyby měření dvou různých operátorů s tím, že pokles horní hladiny nalévaných pěn piva probíhá spíše exponenciálně než lineárně a chyby měření operátorů jsou způsobeny nejistotou při odečítání vizuálních nivelací.
- b) Metoda zobrazovací fotometrie prokázala, že nejistota odečítání úrovní vrstvy pěny nivelací je dána především šířkou „rozmazání“ horní hladiny pěny, tj. rozhraní pěna/plyn oproti rozhraní pěna/pivo.
- c) Na základě chyby měření byly rozlišeny vzorky pěn dvou různých piv.
- d) Bylo ověřeno, že vyvinuté didaktické pomůcky a modelové vzorky kapalných pěn na bázi piva jsou vhodné pro praktickou výuku měření a hodnocení stability kapalných pěnivých soustav.

# Literatura

- [1] Bamforth C. W.: *The relative significance of physics and chemistry for beer foam excellence*, J. Inst. Brew. **110** (2004), 259–266
- [2] Dale C.J., West C., Eade J., Rito-Palomares M., Lyddiatt A.: *Studies on physical and compositional changes in collapsing beer foam*, Chemical Engineering Journal **72** (1999), 83–89
- [3] Gabriel P.: SW MINUTKA, *Návod k použití didaktické verze*, KCHFO, UK MMF (2005)
- [4] Gabriel P.: *SW pro manuální digitalizaci dat měřených přístrojem AIMPHOT*, Návod použití didaktické verze, KCHFO, UK MMF (2005)
- [5] <http://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/tit.html>
- [6] <http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/Heureka.htm>
- [7] Klopper W. J., Vermeire H. A.: *On the recording of beer foam stability*, Brauwissenschaft **30** (1977), 276–278
- [8] Leike A.: *Demonstration of the exponential decay law using beer froth*, Eur. J. Phys. **23** (2002), 21–26.
- [9] Ronteltap A., Hollemans M., Bisperink Ch. G. J., Prins A.: *Beer Foam Physics*, MBBA Technical Quarterly **28** (1991), 25–32
- [10] Shafer N. E., Zare R. N.: *Through a beer glass darkly*, Physics Today (1991), 48–52
- [11] Sladký P., Císařová H.: FOAMPASMED (FOAM PARallel Sensing METHoD) *Metoda zpřesněného a zrychleného provádění zkoušek pěnovosti piva pomocí přístroje PASMED, návod použití didaktické verze*, KCHFO, UK MMF (2006)

- [12] Sladký P.: CLINGTURB (CLING TURBidimetric method) *Metoda turbidimetrického a fotometrického hodnocení ulpívání pивní pěny, návod použití*, KCHFO, UK MMF (2005)
- [13] Sladký P., Dienstbier M.: FOAMTURB (FOAMTURBidimetric method) *Metoda pro paralelní korelované měření pěnivých a zákalových vlastností piva a meziproduktů, návod použití*, KCHFO, UK MMF (2005)
- [14] Sladký P., Dienstbier M., *Optimalizace a standardizace měřicí kyvety pro korelované hodnocení pěnivosti a zákalů piva a meziproduktů*, Interní výzkumná zpráva KCHFO, UK MMF, Praha (2006), v přípravě k otištění v čas. Kvas. prům.
- [15] Sladký P., Dienstbier M.: PASMED (PARallel Sampling and MEasuring Device) *Přístroj pro paralelní vzorkování piva a meziproduktů ke smyslovému a analytickému hodnocení kvality, didaktická verze, návod použití*, KCHFO, UK MMF (2005)
- [16] Sladký P., Gabriel P., Srkala M., Vyklický V.: AIMPHOT (Apparatus for IMaging PHOTometry) *Přístroj pro zobrazovací fotometrii látkových a fázových rozhraní a procesů jejich pohybu, návod použití didaktické verze*, KCHFO, UK MMF (2006)
- [17] Sladký P., *Optimalizace počátečních podmínek měření pro zpřesněné hodnocení pěnivosti piva nalévací zkouškou*, Interní výzkumná zpráva KCHFO, UK MMF, Praha (2005), v přípravě k otištění v čas. Kvas. prům.
- [18] Šavel J.: *Dva modely rozpadu pивní pěny*, Kvasný prům. **32** (1986), 76–78
- [19] Šavel J., Brož A.: Kvasný průmysl **52** (2006), v tisku
- [20] Šrogl J., Klasová V.: *A Contribution to the Problem of Determination of the Foamability of Beer*, Kvas. Prům. **22** (1976), 28–31, (in czech)
- [21] Vojuckij S. S., *Kurs koloidní chemie*, Nakl. technické lit. (1984), 307–308