

VLIV DEFINOVANÝCH PŘÍDATNÝCH LÁTEK NA TECHNOLOGICKÉ  
A PEKÁRENSKÉ VLASTNOSTI PŠENIČNÉHO TĚSTA

THE INFLUENCE OF DEFINED ADDITIVES ON  
TECHNOLOGICAL AND BAKERY PROPERTIES OF THE WHEAT  
FLOUR DOUGH

DIZERTAČNÍ PRÁCE

Program: P2901 Chemie a technologie potravin

Obor: 2901V013 Technologie potravin

Autor: Ing. Pavlína Pečivová

Školitel: doc. Ing. Jan Hrabě, Ph. D.

Zlín, 2009

## PODĚKOVÁNÍ

Velmi bych chtěla poděkovat všem, co mi pomohli s touto prací. Obzvláště panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Pavlínkovi za jeho cenné rady, připomínky a pomoc v oblasti reologie a za možnost pracovat na přístrojích CPM, dále svému školiteli panu doc. Ing. Janu Hraběti Ph.D. za trpělivost, vedení a možnost dělat výzkum v této oblasti, panu doc. Ing. Miroslavu Fišerovi CSc. a Ing. Františkovi Buňkovi Ph.D. za konzultace a pomoc.

Mé další velké díky patří zaměstnancům firmy Ireks Enzyma, s.r.o., Brno za pomoc při měření těst a pekárenských pokusech a dále za velmi vřelý přístup, pomoc a rady zaměstnanců z firmy Agrotest fyto, s.r.o., Kroměříž.

Práce vznikla za podpory projektu MŠMT: MSM 7088352101.

Můj vřelý dík patří také mé rodině za podporu při doktorském studiu a sepsování této práce.

## **ABSTRAKT**

V práci byl sledován vliv aditivních látek přidávaných do pšeničného těsta. Použity byly aminokyseliny: L-cystein hydrochlorid monohydrát, L- cystein p.a., glutathion-inaktivované droždí, L-tyrosin, L-threonin, L-tryptofan a dále kyselina L-askorbová a jejich vhodně zvolené kombinace. Homogenita výrobku byla zkoumána metodami dynamické oscilační reometrie, deformačního měření, kapalinové chromatografie a senzorické a chemické analýzy. Cílem bylo zjistit účinek jednotlivých aminokyselin či jejich kombinací na reologické vlastnosti pšeničného těsta, vliv nově zvolených aminokyselin L-tryptofanu a L-threoninu a vhodnost kombinací použitých přídatných látek na změnu viskoelastických vlastností pšeničného těsta.

**Klíčová slova:** pšeničná mouka, aminokyseliny, reologie, kapalinová chromatografie

## **ABSTRACT**

The influence of additives which were added to wheat flour dough was monitored in this work. L-cysteine hydrochloride monohydrate, L-cysteine p.a., glutathione-inactivated dry yeast, L-tyrosine, L-threonine, L-tryptophan and L-ascorbic acid and their chosen combinations were used in this study. Product homogeneity was investigated by following methods: dynamic oscillation rheometry, deformation measurement, liquid chromatography and sensory and chemical analysis. The aim of this Doctoral thesis was to investigate the influence of individual amino acids on rheological properties of the wheat flour dough, the effect of new chosen amino acids L-tryptophan and L-threonine and suitability of used combinations of additives on changes of viscoelastic properties of the wheat flour dough.

**Keywords:** wheat flour, amino acids, rheology, liquid chromatography

# **OBSAH**

<b>PODĚKOVÁNÍ.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRAKT .....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>OBSAH .....</b>	<b>4</b>
<b>SEZNAM ILUSTRACÍ.....</b>	<b>6</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>9</b>
<b>POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY.....</b>	<b>11</b>
<b>SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>12</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>13</b>
<b>1 PŠENIČNÉ TĚSTO.....</b>	<b>13</b>
1.1 Podstata tvorby a struktura pšeničného těsta.....	13
<b>2 PŠENIČNÁ MOUKA A CHEMICKÉ SLOŽKY OBILOVIN A MOUK .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Sacharidy obilovin .....	15
2.1.2 Moučné bílkoviny .....	17
2.2 Přidatné látky .....	24
2.2.1 Redukovadla.....	25
2.2.2 Oxidovadla .....	29
2.3 Technologické operace.....	31
2.3.1 Míchání .....	31
2.3.2 Zrání těsta.....	31
2.3.3 Pečení .....	32
<b>3 REOLOGIE .....</b>	<b>33</b>
3.1 Charakteristika reologie.....	33
3.1.1 Dynamická oscilační reometrie .....	33
3.1.2 Faktory ovlivňující reologii těsta.....	34
<b>4 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....</b>	<b>36</b>
<b>5 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ .....</b>	<b>37</b>
5.1 Příprava vzorku.....	37
5.2 Chemická analýza.....	38
5.3 Kapalinová chromatografie (SE-HPLC) .....	39
5.4 Dynamická oscilační reometrie .....	40
5.5 Deformační měření.....	41
5.6 Senzorická analýza .....	45
<b>6 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....</b>	<b>46</b>
6.1 Chemické analýzy.....	46



6.1.1 Stanovení sušiny .....	46
6.1.2 Stanovení pH .....	50
6.2 Kapalinová chromatografie.....	52
6.3 Dynamická oscilační reometrie.....	72
6.4 Deformační měření .....	86
<b>7 SENZORICKÁ ANALÝZA .....</b>	<b>93</b>
7.1 Hodnocení vzorků bulek I. řady.....	93
7.2 Hodnocení vzorků bulek II. řady .....	96
7.3 Hodnocení vzorků bulek III. řady .....	99
7.4 Hodnocení vzorků bulek IV. řady.....	101
<b>8 PŘÍNOS PRO DALŠÍ ROZVOJ VĚDY A POTŘEBY PRAXE .....</b>	<b>105</b>
<b>9 ZÁVĚR.....</b>	<b>106</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>111</b>
<b>SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA .....</b>	<b>117</b>
<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	<b>118</b>
Příloha A: Vzor protokolu pro senzorické hodnocení vzorků bulek.....	120
Příloha B: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami .....	124
Příloha C: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami .....	125
Příloha D: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami .....	126
Příloha E: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami.....	127
Příloha F: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami.....	128
Příloha G: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami .....	129
Příloha H: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami .....	130
Příloha I: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami.....	131
Příloha J: Vzorky bulek s použitými přídatnými látkami.....	132

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1: fotografie těst pod elektronovým mikroskopem ukazující rozdíly ve struktuře těst;(a) normální mouka; (b) mouka s poškozeným lepkem [9] .....	22
Obr. 2: reakce kyseliny L-askorbové .....	29
Obr. 3: Alveografická křivka .....	43
Obr. 4: Konzistografická křivka.....	44
Obr. 5: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta ( $\square$ , $\blacksquare$ ) lepku (glutenu) ( $\diamond$ , $\blacklozenge$ ).....	72
Obr. 6: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta ( $\square$ , $\blacksquare$ ) a těsta s redukčním činidlem jako je L-cystein hydrochlorid monohydrát v zastoupení $6,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m ( $\circ$ , $\bullet$ ) a oxidačním činidlem L-askorbovou kyselinou (účinek dehydroaskorbové kyseliny) v zastoupení $18,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m ( $\triangle$ , $\blacktriangle$ ). .....	74
Obr. 7: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta ( $\square$ , $\blacksquare$ ) a těsta s různými redukčními činidly jako je glutathion-inaktivované droždí ( $\diamond$ , $\blacklozenge$ ), L-cystein p.a. ( $\triangle$ , $\blacktriangle$ ) a L-cystein hydrochlorid monohydrát ( $\circ$ , $\bullet$ ). Zastoupení aditiv: $3,2 \cdot 10^{-2}$ % m/m.....	75
Obr. 8: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci u kontrolního těsta ( $\square$ , $\blacksquare$ ) a těsta s L-cysteinem p.a. v zastoupení $1,4 \cdot 10^{-2}$ % m/m ( $\triangle$ , $\blacktriangle$ ), $2,4 \cdot 10^{-2}$ % m/m ( $\diamond$ , $\blacklozenge$ ), $3,2 \cdot 10^{-2}$ % m/m ( $\circ$ , $\bullet$ ).....	76
Obr. 9: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ( $\circ$ ), L-cysteinu p.a. ( $\triangle$ ) a glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\diamond$ ) při úhlové frekvenci $\omega = 1$ rad/s.....	77
Obr. 10: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci $\omega = 1$ rad/s u kontrolního těsta ( $\square$ , $\blacksquare$ ) a těsta s různými oxidačními činidly jako je L-threonin ( $\diamond$ , $\blacklozenge$ ), L-tryptofan ( $\triangle$ , $\blacktriangle$ ) a L-tyrosin ( $\circ$ , $\bullet$ ). Zastoupení aditiv: $14,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m. ....	78
Obr. 11: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-threoninu ( $\diamond$ ), L-tryptofanu ( $\triangle$ ) a L-tyrosinu ( $\circ$ ) při úhlové frekvenci $\omega = 1$ rad/s. ....	79
Obr. 12: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení různých oxidačních činidel jako je L-threonin ( $\diamond$ ), L-tryptofan ( $\triangle$ ) a L-askorbová kyselina (dehydroaskorbová kyselina) ( $\square$ ) při úhlové frekvenci $\omega = 1$ rad/s. ....	80

- Obr. 13: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta ( $\square$ ,  $\blacksquare$ ) a těsta s různými redukčními činidly jako je glutathion-inaktivované droždí v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ), L-cystein p.a.  $0,6 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\circ$ ,  $\bullet$ ) a L-cystein p.a.  $0,6 \cdot 10^{-2}$  % m/m + glutathion-inaktivované droždí v zastoupení  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\triangle$ ,  $\blacktriangle$ ). ..... 81
- Obr. 14: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení redukčních činidel jako je glutathion-inaktivované droždí ( $\diamond$ ) a kombinaci L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\blacksquare$ ) při úhlové frekvenci 1 rad/s..... 82
- Obr. 15: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ( $\circ$ ), L-askorbové kyseliny ( $\diamond$ ) a kombinaci L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ( $\blacksquare$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1$  rad/s. .... 83
- Obr. 16: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\diamond$ ), L-askorbové kyseliny ( $\triangle$ ) a kombinaci L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\blacksquare$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1$  rad/s..... 84
- Obr. 17: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-askorbové kyseliny ( $\square$ ), kombinaci L-askorbové kyseliny + L-threoninu ( $\blacklozenge$ ) a kombinaci L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu ( $\blacktriangle$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1$  rad/s..... 85
- Obr. 18: K – kontrolní vzorek, 2A+TRE1 – kyselina L-askorbová a  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-threoninu; 2A+TRE2 – kyselina L-askorbová a  $14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-threoninu; 2A+TRE3 – kyselina L-askorbová a  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-threoninu. .... 124
- Obr. 19: K – kontrolní vzorek, 2A+TRY1 – kyselina L-askorbová a  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-tryptofanu; 2A+TRY2 – kyselina L-askorbová a  $14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-tryptofanu; 2A+TRY3 – kyselina L-askorbová a  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-tryptofanu. .... 125
- Obr. 20: K – kontrolní vzorek, 2A+C1 – kyselina L-askorbová a  $1,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m L – cysteinu hydrochloridu monohydrátu; 2A+C2 – kyselina L-askorbová a  $2,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m L – cysteinu hydrochloridu monohydrátu; 2A+C3 – kyselina L-askorbová a  $3,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m L – cysteinu hydrochloridu monohydrátu. .... 126
- Obr. 21: K – kontrolní vzorek, 2A+I1 – kyselina L-askorbová a  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2A+I2 – kyselina L-askorbová a  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2A+I3 – kyselina L-askorbová a  $24,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí..... 127

Obr. 22: K – kontrolní vzorek, 2C+I1 – L-cystein p.a. a $10,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2C+I2 – L-cystein p.a. a $14,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2C+I3 – L-cystein p.a. a $18,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí;.....	128
Obr. 23: K – kontrolní vzorek, TRE1 - L-threonin $2,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m; TRE2 - L-threonin $3,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m; TRE3 - L-threonin $6,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m.....	129
Obr. 24: K – kontrolní vzorek, TRE1 - L-threonin $6,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m; TRE2 - L-threonin $10,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m. ....	130
Obr. 25: K – kontrolní vzorek, TRY1 - L-tryptofan $2,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m; TRY2 - L-tryptofan $3,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m; TRY3 - L-tryptofan $6,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m.	131
Obr. 26: K – kontrolní vzorek, TRY1 - L-tryptofan $6,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m; TRY2 - L-tryptofan $10,0 \cdot 10^{-2}$ % m/m.....	132

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Popis jednotlivých hodnot znázorněných v alveografických křivkách .....	42
Tab. 2: Popis jednotlivých hodnot znázorněných v konzistografických křivkách.....	43
Tab. 3: Přehled naměřených sušin na základě použitého aditiva .....	46
Tab. 4: Přehled naměřených sušin na základě použitého aditiva .....	49
Tab. 5: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu; PDA Ch 214 nm 4nm .....	53
Tab. 6: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-cysteinu p.a.; PDA Ch 214 nm 4nm.....	54
Tab. 7: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení glutathionu-inaktivovaného droždí; PDA Ch 214 nm 4nm .....	56
Tab. 8: Charakteristiky píků pro srovnání redukčních účinků redukčních činidel; PDA Ch 214 nm 4nm .....	57
Tab. 9: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-askorbové kyseliny; PDA Ch 214 nm 4nm.....	58
Tab. 10: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčních činidel (L-cystein p.a. + glutathion-inaktivované droždí); PDA Ch 214 nm 4nm .....	59
Tab. 11: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčních činidel (L-askorbová kyselina + L-cystein p.a.); PDA Ch 214 nm 4nm .....	60
Tab. 12: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčních činidel (L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí); PDA Ch 214 nm 4nm.....	61
Tab. 13: Charakteristiky píků pro kombinace redukčních činidel; PDA Ch 214 nm 4nm .....	63
Tab. 14: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-tyrosinu; PDA Ch 214 nm 4nm .....	64
Tab. 15: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-threoninu; PDA Ch 214 nm 4nm .....	65
Tab. 16: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-tryptofanu; PDA Ch 214 nm 4nm.....	66
Tab. 17: Charakteristiky píků pro srovnání oxidačních účinků oxidačních činidel; PDA Ch 214 nm 4nm .....	67
Tab. 18: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčního činidla s oxidačním (L-askorbová kyselina + L-threonin); .....	68
Tab. 19: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčního činidla s oxidačním (L-askorbová kyselina + L-tryptofan); PDA Ch 214 nm 4nm .....	69

Tab. 20: Charakteristiky píků pro kombinace redukčního činidla s oxidačním; PDA Ch 214 nm 4nm .....	71
Tab. 21: Alveografické charakteristiky zkoumaných těst .....	89
Tab. 22: Konzistografické hodnoty zkoumaných těst .....	90
Tab. 23: Alveografické charakteristiky zkoumaných těst .....	91
Tab. 24: Konzistografické hodnoty zkoumaných těst .....	92
Tab. 25: Výsledky sensorického hodnocení I. řady vzorků bulek s jednotlivými aminokyselinami. ....	95
Tab. 26: Výsledky sensorického hodnocení II. řady vzorků bulek s jednotlivými aminokyselinami.....	98
Tab. 27: Výsledky sensorického hodnocení III. řady vzorků bulek s jednotlivými kombinacemi směsí. ....	100
Tab. 28: Výsledky sensorického hodnocení IV. řady vzorků bulek s jednotlivými kombinacemi směsí. ....	104

## POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY

ADD	zpracování těst
AsA+Cys	L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát
AsA+ID	L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí
AsA+Thr	L-askorbová kyselina + L-threonin
AsA+Try	L-askorbová kyselina + L-tryptofan
Da	dalton
DHA	kyselina dehydroaskorbová
G´	elastický modul
G´´	viskózní modul
G*	komplexní smykový modul
GMP	gluteninový makropolymer
GMS	glycerol monostearát
HMW GS	vysokomolekulární hmotnostní podjednotky
LMW GS	nízkomolekulární hmotnostní podjednotky
MW	hmotnostní podjednotky
Mr	molekulová hmotnost
NaCl	chlorid sodný
NMR	nukleární magnetická rezonance
PDA	diodové pole (typ detektoru pro SE – HPLC)
pH	pH
SDS	dodecyl síran sodný
S.D.	směrodatná odchylka
SE – HPLC	Size exclusion High performance liquid chromatography (velikostně vylučovací vysokoúčinná (vysokotlaká) kapalinová chromatografie)
tan $\delta$	tangens delta fázového úhlu
UV	ultrafialové záření
$\omega$	úhlová frekvence
214 nm	vlnová délka užitá při SE – HPLC s použitím PDA detektoru
4 nm	rozlišení PDA detektoru při SE – HPLC analýzách

## **SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY**

V současné době se v pekárenství klade důraz na kvalitu mouky. Ta je ovlivňována zejména změnami klimatických podmínek. Na základě změn ročního klimatu (srážky, teploty) dostáváme pšeničné mouky s kvalitním lepkem (silné mouky) či naopak s poškozeným lepkem (slabé mouky). Pšeničná těsta z nich připravená jsou tedy buď příliš elastická, tuhá, se sklonem k trhání, či naopak příliš tažná, roztékavá. Pekárenské výrobky pak následkem toho nedosahují požadované kvality.

V pekárenství se klade velký důraz na objem pekárenských výrobků a také na schopnost upéct z jakékoliv mouky kvalitní pekárenský výrobek. Proto jsou používána vhodná „pekárenská zlepšovadla“, která jsou schopna upravit mouku, potažmo těsta tak, že splňují požadované viskoelastické vlastnosti.

Jsou používána zlepšovadla ve formě enzymů, monoacylglycerolů, aminokyselin, kombinací aminokyselin, atd., která jsou schopna reagovat s glutenovou sítí, rozbít či tvořit vazby v pšeničném těstě a upravovat tak viskoelastické vlastnosti těsta na požadovanou kvalitu a zaručit tak pekárenské výrobky, které mají např. velký objem, vláčnou střídu, vhodnou pórovitost.



# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 PŠENIČNÉ TĚSTO

Příprava těsta je jednou z nejdůležitějších technologických operací. Při ní se vytváří základní předpoklady pro získání jakostního výrobku. Kvalitu výrobku předurčuje několik základních charakteristik: surovinové složení, vytvoření správného koloidně-chemického systému těsta se správnými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi pro celé další zpracování, u téměř všech výrobků správné nakypření a konečně správné tepelné zpracování (převážně upečení).

Největší část pekárenských výrobků je založena na vytvoření těsta z tradičních surovin, mouky a vody s přidavkem soli, a kypřidel. Další používané přísady zlepšují vlastnosti těsta, ale pro jejich tvorbu již nejsou nezbytné [1].

### 1.1 Podstata tvorby a struktura pšeničného těsta

V suchém zrně a mouce se žádné z přírodních polymerů, bílkovin, škrob ani rozpustné pentosanové polysacharidy nevyskytují v prostorově spojitě struktuře, která by prostupovala celým objemem. Jak bude dále popsáno, bílkovinné makromolekuly dosahují značné velikosti (zejména tzv. vysokomolekulární-HMW- část gluteninu) a mají i trojrozměrné provázání složek, avšak jejich vazby nepřesahují hranice makromolekuly. Teprve po přidání vody začíná bobtnání těchto složek, které mohou bobtnat i při teplotě výrobního prostoru. Jsou to bílkoviny a pentosanové polysacharidy. Ve vodě se samozřejmě rozpouští i jiné látky, jako preexistující nízkomolekulární sacharidy, přidané sacharidy, sůl apod. Ty ale samy o sobě nevytvářejí žádný koloidní gel. V první fázi hnětení dochází ještě k promíchávání a homogenizaci všech složek těsta. Současně s hnětením se zintenzivňuje bobtnání a řada chemických a enzymově katalyzovaných reakcí.

Při tvorbě pšeničného těsta dochází v průběhu hnětení k pozvolnému vytváření prostorové trojrozměrné sítě lepkové bílkoviny. Ta je nosnou strukturou těsta, které má u pšeničného těsta charakter tuhého gelu, ale s mnohem větší pružností pšeničného těsta.

Z původní směsi pevných kapalných složek, kde jedinou spojitou disperzní fází představuje kapalina, se v krátké době vytváří systém, v němž je spojitou fází nabobtnalý gel a v něm suspendovaná především škrobová zrna a další tuhé (sušená vejce, pomalu bobtnající hydrokoloidy apod.) nebo hydrofobní gelovité složky (tuky). I když se některé suspendované složky postupně hydratují, v běžném moučném pšeničném těstě ještě dlouho nevytvoří spojitou disperzní fází.

V prvních fázích bobtnání jsou vodou obsazovány hydrofilní skupiny –OH, –COOH a –NH<sub>2</sub> buď z koncových aminokyselin v řetězcích, nebo u těch aminokyselin, které tyto skupiny obsahují zdvojeně a nemají je blokované peptidickými vazbami či jiným způsobem. Hydrofobní skupiny (např. –CH<sub>3</sub>, –C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>) nejsou hydratovány a udržují zpočátku vazby mezi jednotlivými řetězci např. pomocí vodíkových vazeb, které nejsou příliš silné.

Pokud pokračuje hydratační působení vody dosti velkou silou, jsou překonávány slabší síly mezi micelami bílkoviny (tvořenými spirálami nebo „destičkami“ bílkovinných řetězců) voda se dostává mezi tyto micely. Tím jsou dány předpoklady k probíhání dalších reakcí, jak mezi bílkovinnými řetězci samotnými, tak mezi složkami mouky a dalšími přísadami. Přitom významnou roli hraje i mechanické promíchávání těsta, čímž se umožňuje častější kontakt jednotlivých reagujících složek. Teprve v této fázi se vytváří spojitý pšeničný lepek (gluten).

Hlavní bílkovinná složka je z největší části přítomna ve formě orientovaných destiček, vzájemně pospojovaných vodíkovými můstky. Malá část bílkovin je ale také svými hydrofobními skupinami vázána na lipidické složky.

Během tohoto procesu mění pšeničná bílkovina svoji celkovou vnější strukturu v tom smyslu, že dochází k přerušování slabších vazeb a vytvářejí se nové pevnější. Velmi důležitou roli přitom hrají oxidačně-redukční procesy. Především je důležitý vliv vzdušného kyslíku, což bude zmíněno i dále. Experimentálně je nezvratně prokázáno, že v hermeticky uzavřeném prostoru bez přístupu vzduchu ani kyslíku, nebo pod inertním plynem (např. dusíkem), nelze vůbec těsto tvořit. Vzdušný kyslík působí v mnoha reakcích, zejména při změnách vazeb mezi řetězci, založených na disulfidické vazbě. Jde o vazby mezi volnými skupinami –SH, které jsou v aminokyselinách cystein a methionin. Při oxidaci a při mechanickém vzájemném přiblížení těchto skupin ze dvou různých aminokyselin se vytváří disulfidická vazba –S–S–. Jí se mohou dosti pevně spojit dva sousední bílkovinné řetězce nebo micely. Tyto vazby patří mezi nejpevnější, jaké se v lepkové bílkovině vyskytují, i když jejich počet není veliký. V minulosti se jim přikládá rozhodující význam při vytváření elastické prostorové struktury pšeničného těsta. Experimentálně se prokázalo, že vedle disulfidických vazeb mají velký význam i další druhy vazeb-příčné peptidické vazby mezi větvenými aminokyselinami, vodíkové vazby mezi sousedními řetězci, i další fyzikální síly [1].

## 2 PŠENIČNÁ MOUKA A CHEMICKÉ SLOŽKY OBILOVIN A MOUK

Pšenice je jedna z hlavních komodit a je zpracovávána pro celou řadu potravinářských výrobků. Síla mouky je základní charakteristikou, ale množství přítomných bílkovin je ovlivněno podmínkami, za kterých pšenice rostla [2]. Dobrá mouka pro výrobu pečiva je charakterizována dostatečným množstvím bílkovin, které dávají předpoklad vzniku lepku, který má vyhovující vlastnosti (pružnost, pevnost, stabilitu).

### 2.1.1 Sacharidy obilovin

#### *Monosacharidy a oligosacharidy*

Monosacharidy jsou základními stavebními jednotkami oligo- a polysacharidů. Volné se vyskytují v zralých obilných zrnech pouze v nepatrném množství, a to především v klíčku. Do mouky se jich dostává jen málo (max. 1–3 hm%). Jejich základem je uhlíkatý řetězec tvořený nejčastěji pěti nebo šesti atomy uhlíku. Na tomto řetězci jsou funkční skupiny: ve větším počtu hydroxylové skupiny a jedna skupina buď aldehydická nebo ketonická. Sacharidy s 6 uhlíky v molekule nazýváme hexosy, s 5 uhlíky pentosy. Podle počtu členů v uzavřeném kruhu hovoříme o pyranosovém kruhu (šestičlenný) nebo furanosovém (pětičlenný kruh, který ovšem může mít mimo kruh v molekule více než pět uhlíkových atomů). U sacharidů se dále rozlišuje jejich optická otáčivost roviny polarizovaného světla (D–pravotočivá, L–levotočivá). V případě, že jsou dále vázány s dalšími sacharidickými jednotkami v polysacharidu, rozlišujeme ještě u aldehydických sacharidů polohu –OH skupiny na 1. uhlíku ( $\alpha$  nebo  $\beta$ ). Poloha této tzv. glykosidické vazby v polysacharidech má velký vliv na chemické a fyzikální vlastnosti polysacharidů (především na rozpustnost ve vodě) [1].

Nejdůležitějšími monosacharidy v obilovinách jsou: pentosy - arabinosa, xylosa, ribosa; hexosy- glukosa, fruktosa, galaktosa, manosa [1].

#### *Oligosacharidy*

Jsou tvořeny molekulami monosacharidů vzájemně spojenými glykosidickými vazbami. Molekuly monosacharidů se vyskytují v cyklické formě, přičemž ke vzniku glykosidické vazby dochází mezi –OH skupinou prvního uhlíku jedné glukosové jednotky s jednou z –OH skupin jiné jednotky monosacharidu za současného odštěpení vody. Takto vzniklá glykosidická vazba kondenzací (odštěpením vody) může být opět přerušena hydrolýzou, tj. zpětnou reakcí spojenou se vstoupením molekuly vody. Pro výslednou strukturu

oligo- či polysacharidu, a tudíž i pro jeho vlastnosti, je důležité, mezi kterými –OH skupinami zúčastněných monosacharidů glykosidická vazba vzniká a jaká je konfigurace na uhlíku nesoucím hydroxy skupinu, která tvoří glykosidickou vazbu. Podle toho označujeme vazby např.  $\alpha$ -1,4. Písmeno  $\alpha$  či  $\beta$  označuje konfiguraci (polohu), číslice pořadového čísla uhlíku nesoucích zúčastněné –OH skupiny na dvou původních jednotkách monosacharidu [1].

Významnými oligosacharidy jsou maltosa, isomaltosa, sacharosa [1].

## ***Polysacharidy***

Z technologického hlediska jsou vedle bílkovin nejvýznamnější skupinou biopolymerů obilovin polysacharidy. Makromolekuly polysacharidů v obilovinách jsou často tvořeny pouze jedním typem, méně často dvěma typy monosacharidů. Biochemická role polysacharidů v rostlině a v semenu se omezuje na dvě základní funkce – funkci zásobní (škrob) a stavební (celulosa, hemicelulosa). Polysacharidy obilných zrn dělíme zpravidla na škrob a skupinu neškrbových polysacharidů.

Škrob je obsažen v zrnech obilovin v endospermu. Jeho obsah v mouce, která je tvořena převážně endospermem, je cca 80 %. Škrob se v obilovinách a rostlinách obecně vyskytuje ve formě škrobových zrn, která se u jednotlivých druhů liší tvarem a velikostí. Škrob není sám o sobě chemickým individuem, neboť sestává ze dvou frakcí – amylosy a amylopektinu. Obě frakce jsou z hlediska chemického složení tvořeny stejně, jejich základními stavebními jednotkami jsou molekuly glukosy, které jsou však v případě amylosy spojeny  $\alpha$ -1,4 glykosidickou vazbou, zatímco v molekulách amylopektinu se vyskytují i vazby  $\alpha$ -1,6,  $\alpha$ -1,2. To má samozřejmě vliv na sekundární i terciární strukturu obou frakcí. Lineárně zřetězené glukosy vytvářející molekuly amylosy jsou prostorově tvarovány do šroubovice – tzv. helixu. Helixy jsou dále v prostoru uspořádány lineárně, zatímco molekuly amylopektinu jsou rozvětvené, přičemž k větvení řetězce dochází v místech výskytu vazby  $\alpha$ -1,6. Ve struktuře škrobového zrna se předpokládá, že volné větve amylopektinu, kde již zbývají obdobné lineárně spojené jednotky glukosy jako u amylosy, jsou rovněž vytvarovány do helixů. Amylosa a amylopektin se liší i relativní molekulovou hmotností (amylosa: řádově  $10^6$  Da, amylopektin  $10^7$ -  $10^8$  Da), přičemž v obou frakcích se vyskytují molekuly různých molekulových hmotností. Obě frakce se díky různé struktuře liší též svými chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Amylosa je rozpustná ve vodě za studena, amylopektin pouze bobtná a tudíž není schopen vytvořit roztok. Šroubovice amylosy jsou poměrně pevně tvarově uspořádány a jednotlivé závity šroubovice jsou udržovány vodíkovými vazbami. Dutý prostor takové šroubovice může být více nebo méně vyplněn lineárním řetězcem nepolárního charakteru [1].

### 2.1.2 Moučné bílkoviny

Pšeničná mouka je dělena do dvou typů, hrubá mouka, která je vyráběna z tvrdé pšenice a jemně mletá mouka, která je připravována z měkké pšenice. Rozdíl mezi těmito dvěma moukami je v obsahu proteinů, které vytvářejí s vodou gel, tzv. lepek. Požadovaná vlhkost u mouky je okolo 14 % [2].

Bílkoviny obilovin na rozdíl od živočišných mají nižší biologickou hodnotu. Zejména pšenice s vysokým podílem nerozpustných zásobních bílkovin (až 80 %) a nízkým obsahem lysinu, threoninu a tryptofanu má biologickou hodnotu nízkou. Nejhodnotnější aminokyselinovou skladbu z obilovin má oves.

Bílkoviny jsou biopolymery, které jsou tvořené dvaceti základními aminokyselinami. Molekuly bílkovin jsou tvořeny různě dlouhými řetězci aminokyselin spojených vzájemně peptidovou vazbou, která vznikne mezi –OH skupinou z karboxylového konce jedné aminokyseliny a –NH<sub>2</sub> skupinou druhé aminokyseliny za současného odštěpení molekuly vody. Rozhodující část bílkovin je uložena v endospermu a v aleuronové vrstvě obilného zrna. Vlastnosti bílkovin závisí na chemickém složení a na strukturním uspořádání.

Mezi nejvýznamnější aminokyseliny obilovin patří glutamin, prolin, leucin, cystein, lysin a kyselina glutamová. Jednotlivé aminokyseliny zastoupené v řetězci bílkovin mají svůj význam při tvorbě prostorové struktury těsta a jsou určující pro jeho reologické vlastnosti. Podíl glutaminu a glutamové kyseliny tvoří v lepkové bílkovině až 35 %.

Glutamin obsahuje dvě aminoskupiny a může tvořit vodíkové vazby mezi jednotlivými řetězci bílkovin. Vzhledem k velkému obsahu glutaminu v obilné bílkovině je podíl vodíkových vazeb ve struktuře bílkovin velmi významný, i když je jejich vazebná síla malá.

Prolin tvoří druhý největší podíl aminokyselin v pšeničné lepkové bílkovině (cca 10 %). Díky svojí volně otáčivé vazbě mezi karboxylovou skupinou a zbytkem molekuly umožňuje značnou tvarovou přizpůsobivost bílkovinných řetězců při vnějších mechanických působeních. V důsledku toho jsou možné různé strukturní změny při hnětení, kypření, přetuzování těsta a při stavbě jeho struktury.

Další významnou, ale minoritní aminokyselinou obilovin je cystein, který obsahuje ve své molekule síru. Dvě molekuly cysteinu mohou vytvořit velmi pevnou disulfidovou vazbu, a tak pevně propojit sousední bílkovinné řetězce. (Většina cysteinu je přítomna v oxidovaném stavu a tvoří buď vnitřní řetězce disulfidických můstků, nebo vnější řetězce disulfidických můstků mezi bílkovinami. Tyto můstky jsou hlavní silou pro většinu redoxních reakcí, které mohou nastat během zrání obilných zrn, mletí, přípravy těsta a pečení).

Obsah cysteinu v lepkové bílkovině je nízký (kolem 4 %).

Funkční význam leucinu spočívá v přítomnosti nepolárního řetězce v jeho molekule. Obsah leucinu v lepkové bílkovině je kolem 7 %.

Obsah kyseliny glutamové a lysinu se v lepkové bílkovině pohybuje kolem 1 %. Uvedené aminokyseliny jsou významné díky svému náboji (mohou se zapojovat do iontových interakcí). Glutamová kyselina nese záporný náboj, molekula lysinu má kladný náboj.

Struktura bílkovin je popisována na několika úrovních. Primární struktura proteinů je určena sekvencí jednotlivých aminokyselin v bílkovinném řetězci. Při popisu sekundární struktury jsou posuzovány vzájemné prostorové pozice sousedních nebo blízkých aminokyselin. Řetězce vzájemně spojených aminokyselin vytváří trojrozměrné struktury, nejčastěji spirály. Typickými příklady uspořádaných sekundárních struktur jsou šroubovice (helixy) ve tvaru pravotočivé spirály nebo tzv. zřasené struktury, které vytváří ve struktuře „destičky“ nebo „polštářky“. Popisem terciární struktury postihujeme celkové prostorové uspořádání bílkovinné molekuly. Molekuly bílkovin mohou tvořit nadmolekulární útvary. Při popisu takových to supermolekul hovoříme o kvartérní struktuře.

Každá molekula bílkovin má tedy svoji specifickou strukturu, která ji umožňuje vykonávat právě tu funkci, která jí byla předurčena. Tento stav označujeme jako nativní. Pokud dojde k porušení struktury na jakékoli úrovni, dochází zpravidla ke ztrátě biologické funkce bílkoviny a tento proces se nazývá denaturace. Podle míry porušení nativní struktury rozlišujeme denaturaci vratnou nebo nevratnou. Denaturace může být způsobena buď chemickým zásahem různými denaturačními činidly, nebo fyzikálně. Častým příkladem je tepelná denaturace bílkovin, ke které dochází při jakékoli tepelné úpravě potravin a obvykle se spojuje se ztrátou vody z nabobtnalé bílkovinné struktury. Při výrobě pečiva znamená denaturace bílkovin jeden z hlavních biochemických dějů v procesu pečení. Po tomto procesu se z pšeničné bílkovinné struktury stává pružná, ale pevná prostorová síť, která tvoří nosnou kostru hotového výrobku. V obilovinách se převážně vyskytují glykoproteiny i lipoproteiny. Bílkoviny mohou být tvořeny pouze polypeptidovým řetězcem, pak hovoříme o jednoduchých bílkovinách, anebo mohou být složené, tj. obsahují v molekule ještě jiné látky nebílkovinné povahy.

Bílkoviny mají různé funkce. Funkci stavební zastávají zejména nerozpustné fibrilární bílkoviny. Bílkoviny obilného lepku jsou také typickým příkladem zásobních proteinů [1].

### ***Vlastnosti pšeničných bílkovin***

Protein je makromolekulární komplex skládající se z daných sekvencí aminokyselinových jednotek spojených pomocí peptidových můstků

uspořádaných v trojrozměrné struktuře [3]. Polypeptidový řetězec má kompaktní uspořádání, které je udržováno pomocí můstků různého typu.

Bílkoviny pšeničného zrna se dělí podle různých hledisek, např. podle rozpustnosti, velikosti molekul, chemického složení atd. Jak uvádí Inglett (1974) a Prugar a Hraška (1986), klasické Osbornovo rozdělení je založeno na rozpustnosti. Osborne rozdělil bílkoviny na albuminy rozpustné ve vodě, globuliny rozpustné v solných roztocích, prolaminy rozpustné v 70–90% alkoholu a gluteliny rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad [4,5].

Vyskytují se ve všech obilných zrnech a podle druhů obilovin jim pak byly přisouzeny různé názvy, většinou odvozené z latinských názvů jednotlivých obilovin. Prolaminy jsou bohaté na prolin a glutamin, z čehož byl odvozen i jejich název. Prolaminy a gluteliny byly původně považovány za oddělené skupiny. Mnohé gluteliny jsou však strukturálně velmi podobné prolaminům, přestože nejsou rozpustné v alkoholu a vytvářejí vysokomolekulární polymery stabilizované disulfidovými vazbami. V přítomnosti redukčního činidla jsou i tyto gluteliny v alkoholu rozpustné a bývají zařazované mezi prolaminy [6].

Pšeničné prolaminy se nazývají gliadiny a pšeničné gluteliny jsou označovány jako gluteniny. Souhrnně se gliadiny a gluteniny označují jako lepkové bílkoviny [7]. Mezi albuminy a globuliny patří všechny obilné enzymy a řada dalších bílkovin.

Z technologického hlediska jsou však nejvýznamnější zásobní bílkoviny obsažené v endospermu obilovin (prolamin a glutelin), které mají pekařské využití. Zásobní bílkoviny pšenice se liší svými vlastnostmi od zásobních bílkovin ostatních obilovin a jsou příčinou výjimečného postavení pšenice v cereální technologii. Prolaminy a gluteliny nejsou rozpustné ve vodě. Ve vodě však bobtnají a vytváří vysoce viskózní koloidní gely nebo roztoky. Pšeničné prolaminy a gluteliny (gliadin a glutenin) bobtnají pouze omezeně a za současného vložení mechanické energie na hnětení a za přítomnosti vzdušného kyslíku tvoří pevný gel, který nazýváme lepek (gluten). Při hnětení pšeničné mouky s vodou dochází právě ke vzniku lepku a ten tvoří vlastní „kostru“ těsta. Lepek (gluten) je příčinou jedinečných vlastností pšeničného těsta, jeho tažnosti a pružnosti. Pšeničný lepek (gluten) je pružný gel. Lze jej z těsta izolovat vypíráním proudem vody, přičemž se postupně vyplavují látky rozpustné ve vodě a škrob a po určité době získáme tzv. „mokrý lepek (gluten)“. Je nutné si uvědomit, že v nativním zrně ani v mouce ještě ve skutečnosti lepek (gluten) neexistuje a vytváří se až po propojení prostorové sítě pšeničné bílkoviny. Lepek (gluten) je charakteristický tažností, pružností a schopností bobtnat ve zředěném roztoku kyseliny mléčné. Tyto jeho vlastnosti předurčují do značné míry vlastnosti těsta. Z ostatních obilovin podobný gel nelze vyprat.

Schopnost pšenice tvořit lepek (gluten) určuje v pekárenství jeho použití. Mnoha aspekty z oblasti pěstování pšenice, které se zabývají oblastí zlepšení

pekařských vlastností, se zaměřují na zlepšení tvorby glutenu. Během přípravy těsta se vytváří kvartérní proteinová struktura, která je známa jako gluten [8].

## ***Gluten***

Gluten může být definován jako gumovitá hmota, kterou dostáváme při vymývání pšeničného těsta [9]. Termín „gluten“ je protein, který hraje klíčovou roli v určování kvality pekařské pšenice na základě porovnání vodní absorpční kapacity, soudržnosti, viskozity a elasticity těsta. Gluten obsahuje tisíce proteinových komponentů, které jsou přítomny buď jako monomery nebo jako spojující se vnější řetězce disulfidických můstků jako oligo- a polymery [8, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Během přípravy těsta tvoří gluten trojrozměrnou síť. Vzniklé zesíťování, které přitom vzniká, je tvořeno výhradně z disulfidických můstků. Mnoho výzkumů proteinové struktury, právě tak, jako výzkumy mísení a pečících předstupňů směřovaly k závěru, že disulfidické můstky, které jsou v glutenu k dispozici, přispívají ke tvorbě těsta. Avšak tyto disulfidické můstky, které jsou dle této teorie nejprve štěpeny a nově tvořeny, jsou odpovědné za kvartérní strukturu glutenu, nebyly definitivně identifikovány [1].

Kasarda objevil, že molekulová hmotnost glutenových polymerů je klíčovým faktorem změn pevnosti a elasticity těsta, ale také určuje vysokomolekulární složky glutenu [16, 17]. Huang a Khan našli vztah mezi konečným množstvím HMW gluteninových podjednotek v mouce. Množství HMW gluteninových podjednotek souvisí s kvalitou pšeničných bílkovin [16, 18].

Kovalentní struktura glutenové sítě je navrstvena pomocí nekovalentních můstků (vodíkové můstky, iontové můstky a hydrofobní můstky). Chemické můstky, které jsou méně energetické než kovalentní můstky, jsou zapleteny v shlucích glutenových bílkovin a ve struktuře těsta. Důkazem přítomnosti vodíkových můstků v glutenových bílkovinách je změkčující efekt. Důležitost iontových můstků může být popsána pomocí sílicího efektu NaCl, nebo pomocí bipolárních iontů jako aminokyseliny, nebo dikarboxylové kyseliny [8].

Hydrofobní můstky značně přispívají ke stabilizaci glutenové struktury. Jsou odlišné od ostatních můstků, protože jejich energie vzrůstá se vzrůstající teplotou, což může způsobit větší stabilitu během pečení [8].

Glutenové bílkoviny můžou být rozděleny do dvou hlavních frakcí podle jejich rozpustnosti v roztoku alkoholu: rozpustné gliadiny a nerozpustné gluteniny.



## *Gluteniny*

Gluteniny jsou považovány za nejvýznamnější složku pšeničných lepkových bílkovin s rozhodujícím vlivem na pekárenskou kvalitu zrna. Gluteniny zlepšují pružnost, pevnost a bobtnavost těsta. V porovnání s ostatními pšeničnými bílkovinami vytváří gluteniny největší molekuly.

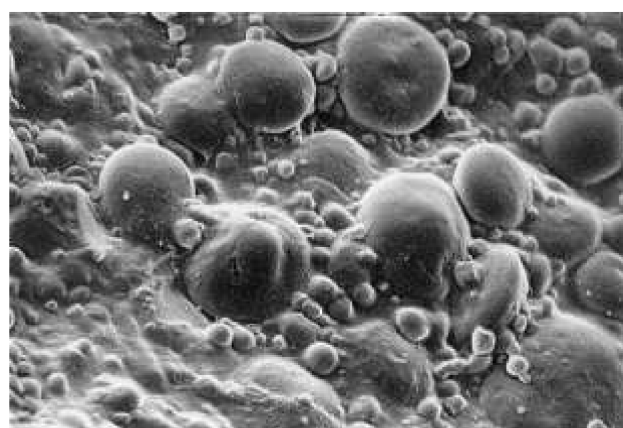
Glutenin obsahuje okolo poloviny glutenových bílkovin a má molekulovou hmotnost v rozmezí 40 000 a 20 mil. Da (většinou okolo 2 mil. Da). Gluteniny jsou považovány za dlouhé lineární řetězce polypeptidových subjednotek, které jsou spojeny dohromady pomocí intermolekulárních disulfidických můstků s pouze nekovalentně slabým větvením mezi řetězci [19].

Molekulová hmotnost byla popsána jako jeden z hlavních činitelů vlastností těsta a pečení. Kohezivní síla právě pšeničných těst pochází od gluteninových frakcí. Největším polymerem je gluteninový makropolymer (GMP), tvořící největší podíl vlastností těsta a jeho množství v pšeničné mouce (přibližně 20 až 40 mg/g) souvisí se silou těsta a jeho objemem.

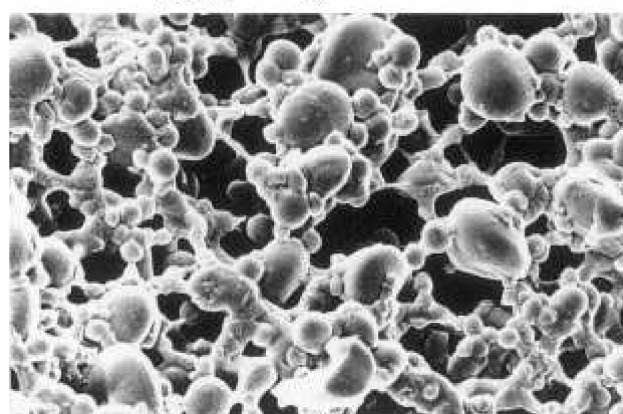
Podle primární struktury, gluteninové podjednotky byly rozděleny na vysokomolekulární hmotnostní (HMW) podjednotky (MW = 67 000 až 88 000 Da), kdy přítomnost určitých HMW podjednotek gluteninů nebo párů podjednotek v lepku bývá spojována s dobrými pekárenskými vlastnostmi lepku, a nízkomolekulární hmotnostní (LMW) podjednotky (MW = 32 000 až 35 000 Da), které tvoří asi jednu třetinu z celkového obsahu bílkovin v sušině zrna a asi 60 % z celkového obsahu lepku. Největší vliv na pekárenskou kvalitu mají LMW podjednotky gluteninů, které vytváří komplexy s HMW podjednotkami. LMW podjednotky obsahující dva nebo více cysteinových zbytků mohou mezi zbytky vytvářet disulfidové vazby, a tím prodlužovat délku řetězce vznikajícího polypeptidu. Výsledkem je pekárensky kvalitnější těsto. LMW podjednotky s jedním cysteinovým zbytkem tvorbu řetězce ukončují a jejich vliv na kvalitu těsta spíše zhoršují [20].

Každý typ glutenového proteinu se skládá ze dvou nebo tří rozdílných strukturních domén, jeden z nich obsahuje právě jednotlivé opakovatelné sekvence bohaté na glutamin a prolin.

Disulfidické můstky mezi vysokomolekulárními a nízkomolekulárními gluteninovými podjednotkami jsou odpovědné za tvorbu gluteninových polymerů, které dosahují velikosti desetimilionů daltonů, ovlivňují vlastnosti těsta. Ačkoliv intermolekulární disulfidické můstky jsou důležité pro tvorbu gluteninové polymerní struktury, na základě nedávných studií založených na nukleární magnetické rezonanci (NMR) bylo zjištěno, že vodíkové můstky mezi vysokomolekulárními gluteninovými podjednotkami můžou mít důležitou roli ve stabilizaci polymerních struktur gluteninu [21].



25 $\mu$ m (a)



25 $\mu$ m (b)

*Obr. 1: fotografie těst pod elektronovým mikroskopem ukazující rozdíly ve struktuře těst; (a) normální mouka; (b) mouka s poškozeným lepkem [9]*

## ***Gliadiny***

Gliadiny jsou součástí pšeničného lepku. Obsahují velké množství aminokyseliny glutaminu a prolinu. Téměř neobsahují aminokyseliny s obsahem síry, a to jim znemožňuje vytvářet disulfidové vazby [20].

Gliadiny reprezentují zbytek glutenových proteinů, jsou to většinou malé monomerní bílkoviny (molekulární hmotnosti od 30 000 do 40 000 Da) s pouze intermolekulárními disulfidickými můstky. Gliadinové molekuly jsou známé tím, že redukuje tuhost a zvyšují tažnost glutenové fáze: dávají pořadí gluteninu a gliadinu související s danou elasticitou a viskozními vlastnostmi, oba vytváří viskoelastický profil glutenu [22, 23]. Gliadiny mohou být chápány jako plastifikátoři nebo rozpouštědla gluteninu. Přítomnost glutenové fáze určuje reologické chování směsí pšeničná mouka-voda [19, 24, 25].

Gliadiny se objevují jednak v alkoholu rozpustných polymerech, v gliadinové frakci, nebo v alkoholu nerozpustných gluteninových polymerech. Tato forma gliadinu je popsána jako terminátor gluteninové polymerizace [8].

## ***Albuminy a globuliny***

Albuminy jsou bílkoviny rozpustné ve vodě, globuliny jsou rozpustné v solných roztocích. Nemají podstatný vliv na pekárenskou kvalitu zrna. Jejich molekulová hmotnost je menší než 30 000 Da. Byly nalezeny také polymerní HMW albuminy s molekulovou hmotností  $M_r$  kolem 60 000 Da. Tyto HMW albuminy mohou vytvářet disulfidové vazby s LMW podjednotkami gluteninů [20].

## 2.2 Přídavné látky

Termín tzv. chlebová (pekárenská) zlepšovadla je užíván k zahrnutí širokého rozsahu přídatných látek, které mohou být přidávány v malém množství do pšeničné mouky a těsta, aby zlepšily nějaké aspekty chování těsta, technologické procesy a konečnou kvalitu těsta. Užití tohoto termínu je běžné a velmi často aplikované jako směs několika ingrediencí a nosiče. Používaná zlepšovadla jsou dále přizpůsobována zvláštnostem přidávaných surovin, danému výrobku, danému procesu či jejich kombinacím. Na základě legislativy byly upraveny definice tzv. chlebových (pekárenských) zlepšovadel, a dále bylo určeno, které přídatné látky mohou být používány do pečiva.

Přídavné látky zlepšují jednak zpracovatelnost těsta, stejně dobře jako zlepšují kvalitativní charakteristiky-barvu, texturu, objem, chuťové a senzorické vlastnosti konečných produktů. Užití těchto přídatných látek pomáhá nejen ke zlepšení kvality pekařských produktů, ale také ke zlepšení jejich konzistence. Některá aditiva jsou užívána v mlynářství, zatím co další jsou užívána v pekárenství [26].

Alternativní názvy zlepšujících přídatných látek, se kterými se můžeme setkat v pekárenské technologii jsou:

- kypřidla do těst, podílejí se na změnách reologie těsta,
- oxidovadla, zaujímají specifičtější roli v tvorbě glutenové sítě v těstě,
- redukovadla, jsou schopny rozbít glutenovou síť,
- koncentráty, podobné zlepšovadlům, ale s větším počtem ingredienčních přísad (tuk, cukr, sůl, atd.) a běžně užívané ve vyšších dávkách.

Pekárenská zlepšovadla, je termín nyní běžně vyhrazen pro přídatné látky, které jsou běžně přidávány ve velmi malých dávkách pro zlepšení tvorby a tažnosti plynů v těstě, dále udržení čerstvosti střídy těsta a dosažení její světlosti.

Některé s běžných ingrediencí užívaných jako pekárenská zlepšovadla jsou zlepšovadla:

- pro tvorbu těst (enzymově-aktivní preparáty, sladová mouka, houbová  $\alpha$ -amylasa),
- pro tvorbu plynů (kvasničné potraviny),
- na rozpínavost plynů (oxidovadla),
- pro čerstvost chleba (glycerol monostearát (GMS)),
- na zlepšení barvy střídy (sojová mouka) [27].

### 2.2.1 Redukovadla

Redukovadla mohou být přidávána na zeslabení struktury těsta. Redukční činidla účinkují jako míchání, které rozbíjí gluten. Tento mechanismus je opačný k účinku oxidačních činidel, které naopak posilují gluten.

Mohou být užita v nízkých dávkách, redukuje odpor těsta k deformaci, pomáhají ve vytváření a formování těsta, např. rohlíků, bochánek, bez poškození struktury.

Redukční činidla jsou používána zvláště do "silných" mouk (mouka s kvalitním lepem (glutenem) a při rychlých výrobcích, u kterých je potřeba zkrátit čas míchání, nebo při přípravách s nízkoenergetickým výkonem, nebo na zlepšení zpracovatelnosti a zlepšení objemu výrobku.

Redukční činidla snižují elasticitu, která může být způsobena sesycháním nebo ztrátou pružnosti, poté, co jsou výrobky vyrobeny. Redukční činidla zahrnují cystein, glutathion a další.

#### *Cystein*

Cystein je přirozeně vyskytující se aminokyselina a jeho sulflhydrolová skupina (-S-H) je schopná působit jako redukovadlo na disulfidické můstky (-S-S-) přítomné v glutenové struktuře pšeničných těst. Nejčastěji se používá v hydrochloridové formě, aby byla zlepšena jeho rozpustnost, je přidáván při míchání a je schopen účinkovat velmi rychle.

Cystein je také nejčastěji užívané redukční činidlo přidávané do pečiva. V pekárenství se začal používat už od roku 1960, kdy byl klíčovým komponentem v pekařských procesech známý jako tzv. Activated Dough Development (ADD) [28, 29].

Cystein redukuje disulfidické můstky mezi bílkovinami a oslabuje glutenovou síť v těstě [30], proto klesá elasticita (pevnost) těsta, pomáhá v relaxaci těsta a snižuje čas míchání [25, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35]. Disulfidické můstky v glutenu jež jsou mechanicky rozbíjeny během míchání, mohou být taky rozbíjeny mechanicky pomocí reakcí s cysteinem nebo glutathionem.

Redukční činidla (jako L-cystein) jsou typem přídatných látek používaných do těsta a schopných nejen zkracovat čas míchání, ale také zlepšovat tažnost. Těsta se stávají méně soudržnými a více lepivými [26, 36, 37, 38]. Jsou také užívány do pečiva ke zvýšení pekařské výtěžnosti a dále také pro úpravu mouky [26, 36].

Reologické vlastnosti těsta záleží na struktuře a také na uspořádání konstituentů a silami mezi nimi. Míchání je klíčový krok během produkce výrobků z těsta, kdy se tvoří souvislá hmota smícháním mouky, vody a dalších ingrediencí. Pro úplnost může být uvedeno, že vzduch, který většinou není zmiňován jako ingredience, je také důležitým komponentem zapojeným

v míchání [24, 29, 39, 40, 41]. Energie míchání dovoluje vytvořit rozdílnou úpravu klíčových biopolymerů (zvláště glutenové proteiny) přítomných v systému a podporujících několik interakcí mezi konstituenty těsta (bílkoviny, škrob a voda) [42, 43, 44]. Rychlost míchání a energie (vstupní práce) musí být vyšší než určité hodnoty potřebné ke vzniku glutenové sítě a k produkci vhodného těsta na výrobu pečiva. Také čas potřebný k míchání souvisí s tvorbou těsta, jehož změny závisí na typu mixéru a ingrediencích [40, 45].

### ***Inaktivované droždí (*Saccharomyces cerevisiae*)***

Inaktivní droždí (*Saccharomyces cerevisiae*) je jedno z dalších používaných redukčních činidel. Komerční vzorek Bakezyme RX zvyšuje tažnost těsta, zlepšuje manipulační vlastnosti těsta, zdokonaluje vývoj těsta, redukuje sesychání kousků těst, zlepšuje chuť a vůni pekařských produktů.

Bakezyme RX je speciálně produkované inaktivní droždí (*Saccharomyces cerevisiae-glutathion*). Tento produkt nevytváří velkou retenci plynu těsta, ale ukazuje naopak redukční vlastnosti díky přítomnosti SH-skupin L-cysteinových zbytků glutathionu. Glutathion je tripeptid obsahující aminokyseliny glycin, cystein a kyselinu glutamovou. Oba, glutathion a L-cystein jsou schopny ovlivňovat viskoelastické vlastnosti těsta pomocí –SH/-SS- střídajících se s bílkovinnými proteiny a mění typ a pořadí disulfidických můstků uvnitř v glutenové síti. Například se vzrůstající koncentrací askorbové kyseliny, glutathion způsobuje větší odpor těsta než u L-cysteinu. Tento efekt má enzym oxidoreduktasa glutathion-dehydroaskorbové kyseliny, který oxiduje glutathion do aktivní formy. Tento enzym využívá dehydroaskorbovou kyselinu, která je tvořena během míchání askorbové kyseliny jako substrátu. Pomocí této přeměny je zlepšena tažnost těsta bez využití příliš dlouhé relaxace. L-cystein, který není substrátem pro tento enzym, je oxidován neenzymaticky o hodně pomaleji, a proto zůstává účinný po dlouhý čas.

#### **Použití:**

- zlepšení tažnosti těsta například francouzských baget, pizzy, laminovaného těsta, jako je listové těsto a croisanty. Vzrůst tažnosti glutenové struktury má za následek lepší manipulační vlastnosti těsta. Po vytvarování kousků těsta je redukováno sesychání, které vytváří pravidelněji tvarované konečné produkty.

- Bakezyme RX může být použit pro zkrácení času na hnětení, protože relaxace těsta je nahrazena neadekvátním mícháním. Tím je dosažen lepší vývoj těsta.
- užitím u zmraženého těsta, pomocí zlepšení míchání těsta, může být dosažena nižší teplota těsta.
- má pozitivní efekt na chuť a vůni pekařských produktů.

Mnoho studií prokázalo, že přídatné látky, jako jsou cystein a glutathion, ovlivňují těsto pomocí změn vlastností sítě elastického glutenu. Dále bylo tvrzeno, že tyto redukující činidla ovlivňují těsto pouze díky štěpení disulfidických můstků, zatímco ničí síťování glutenu [46, 47, 48]. Cystein a glutathion jsou schopni nejen štěpit disulfidické můstky, ale také inhibovat tvorbu tyrosinových můstků skrze čisticí aktivitu jejich tří radikálů [49]. Kohen a spol. přišli na pokles intermolekulárního síťování velkých proteinových seskupení v moučném těstě, když je přidán cystein v extruzním systému [45]. Zjistili, že vnitřní změny thiol- disulfidů hrají malou nebo žádnou roli v tomto prozkoumaném fenoménu. Reakční doba nutná k průběhu změn těchto thiol-disulfidu v daných reakčních podmínkách míchaného hydratovaného těsta je o několi minut delší [47, 50, 51].

Mnohá studia o struktuře bílkovin, stejně tak jako o míchání a pečení tvrdí, že disulfidické můstky jsou přítomny v glutenové struktuře a přispívají k hlavnímu procesu tvorby těsta. Disulfidické můstky, jež se přeměňují dle vnitřních změn disulfidů, jsou nakonec odpovědné za kvartérní strukturu glutenu [48, 52].

### ***Askorbová kyselina***

L-askorbová kyselina je redukčním činidlem.

Působení kyseliny askorbové v pšeničných těstech probíhá ve dvou krocích:

- v prvním je kyselina askorbová oxidována molekulárním kyslíkem na kyselinu dehydroaskorbovou (DHA) [1].
- v druhém je kyselina dehydroaskorbová zpětně redukována thiolovými skupinami lepkových bílkovin za vzniku disulfidických vazeb a kyseliny askorbové [1].

Během hnětení a zrání těsta se prakticky veškerá kyselina askorbová oxiduje na kyselinu dehydroaskorbovou, která je v těstech poměrně stabilní. Rozkladné reakce probíhají až během pečení, kde jako hlavní složky byly zjištěny oxid uhličitý, kyselina L-threonová a v malém množství kyselina 2,3-diketogulonová [1].

Vitamin C tvoří L-askorbová kyselina ( $\gamma$ -lakton 2-oxo-L(-)-gulonové kyseliny) a L-dehydroaskorbová kyselina ( $\gamma$ -lakton 2,3-dioxo-L(+)-gulonové kyseliny). L-askorbová kyselina je bílá krystalická látka. Chová se jako silně disociovaná kyselina ( $pK_1 = 4,17$  a  $pK_2 = 11,57$ ).

S laktonovým karbonylem konjugovaný endiolový systém, resp. jeho vysoká mesomerní energie je příčinou jak acidity, tak redukčních vlastností. Askorbová kyselina je dobře rozpustná ve vodě. Snadno se oxiduje vzdušným kyslíkem na dehydroaskorbovou kyselinu. Oxidaci katalyzují některé běžné kovy, především pak soli měďnaté a železité. V biologických systémech katalyzují oxidaci askorbové kyseliny přímo nebo nepřímo různé enzymy, jako askorbasa, peroxidasa, cytochromoxidasa a jiné.

Dehydroaskorbová kyselina se jako  $\gamma$ -lakton hydrolyticky štěpí otevřením kruhu na 2,3-dioxo-gulonovou kyselinu. Jde o obecně acidobazicky katalyzovanou reakci, přičemž katalytický vliv hydroxylových iontů je asi  $1,5 \cdot 10^7$  krát větší než iontů hydroniových. Katalytická konstanta hydroniového iontu  $k_{H_3O^+}$  je  $10,8 \text{ s}^{-1}$ .

Askorbová, resp. dehydroaskorbová kyselina jsou látky velice labilní. Štěpí se v závislosti na pH prostředí v principu dvěma způsoby. V alkalických vodných roztocích vznikají především soli, a reduktony, v neutrálním a především v kyselém prostředí se pak tvoří různé deriváty furanu.

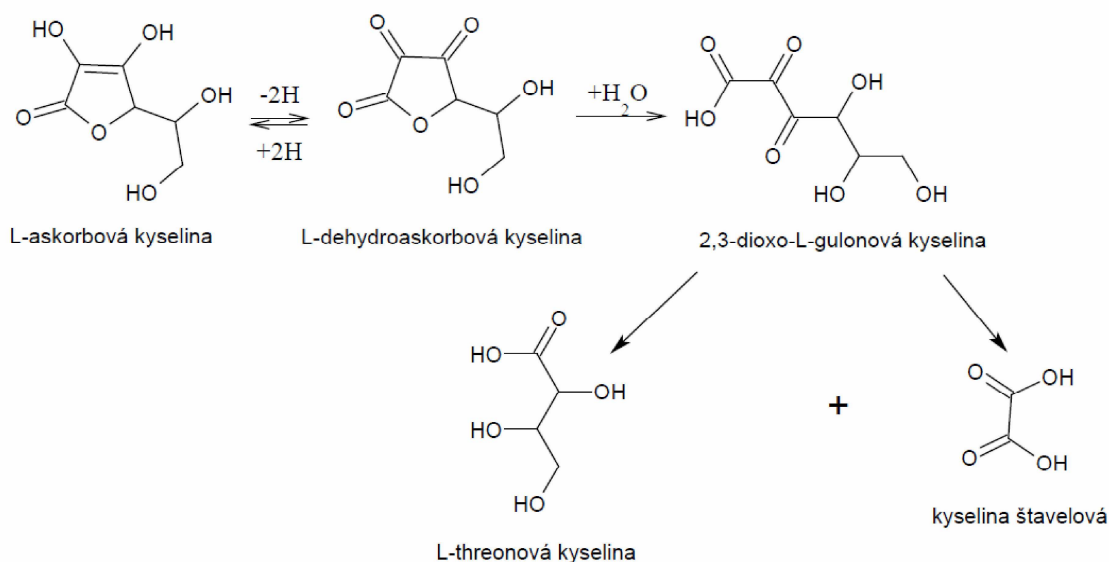
Jako hlavní produkty degradace v alkalickém prostředí vznikají šřavelová a L-threonová kyselina. Reakce je katalyzována hydroxylovými ionty a za anaerobních podmínek v neutrálním prostředí již neproběhně kvantitativně. Kromě těchto sloučenin vzniká menší množství tzv. reduktonu C (enolforma L-xylosonu), reduktonu B, který je totožný s reduktonem A (2,3,4-(L)-trihydroxy-2-pentenová kyselina). Dále vzniká 3,4-dienol-2-oxo-L-gulonová, glykolová, mléčná a mravenčí kyselina.

Probíhá-li reakce za přítomnosti kyslíku, oxiduje se askorbová kyselina na dehydroaskorbovou kyselinu a přes 2,3-dioxogulonovou kyselinu vzniká opět L-xyloson. Redukcí 2,3-dioxogulonové kyseliny přítomnými reduktony na enolformu 2-oxo-L-gulonové kyseliny je vysvětlován vznik 2-furaldehydu za přítomnosti kyslíku, neboť ten pak může vznikat z enolformy této kyseliny stejným způsobem jako za anaerobních podmínek, resp. jako z askorbové kyseliny.

Z pohledu pečiva jsou nejpravděpodobnějšími produkty degradace tohoto aditiva (vlivem tepla a reakce s kyslíkem během zpracování těsta) oxid uhličitý, kyselina mravenčí, octová a mléčná. Všechny tyto látky by při pečení zvyšovaly tenzi par uvnitř pečiva, což by mělo za efekt větší objem a větší sklon k praskání kůrky. Tyto efekty byly u vyrobeného pečiva potvrzeny, ale identifikace látek, které toto způsobily, nebyly předmětem výzkumu.

Další významnou reakcí u L-askorbové kyseliny, resp. dehydroaskorbové kyseliny, je uplatnění ve značné míře na zvýšené produkci barviv vzniklých Maillardovými reakcemi, tedy na neenzymovém hnědnutí.





Obr. 2: reakce kyseliny L-askorbové

Shewry a Tatham (2000) popsali vliv redoxních reakcí zahrnující L-askorbovou kyselinu během míchání těsta a jeho odpočinku. Přídavek L-askorbové kyseliny ukázal značný změkčující efekt na vypraný lepek (gluten) z těsta okamžitě po vymíchání. Po odpočinku měla nejspíše dehydroaskorbová kyselina výrazný zpevňující účinek na glutenovou síť způsobený vzrůstem síťování bílkovin. Oxidační efekt se odehrává hlavně během odpočinku těsta [53, 54].

Při praktickém použití kyseliny askorbové je nutno znát jakost upravované mouky, a to především její reologické parametry. Přídavek L-askorbové kyseliny nebo její příliš vysoká dávka v mouce se silným lepkem – se buď nepromítne, anebo může způsobit zhoršení kvality, protože dojde k extrémnímu zpevnění lepku, což se projeví snížením objemu, zhoršením tvaru pečiva a značně tuhým a houževnatým střídom hotového výrobku. Z uvedeného vyplývá, že kyselinu askorbovou je vhodné přidávat do “slabých“ mouk (mouky s poškozeným lepkem (glutenem)), pro které dává nejlepší výsledky [1].

### 2.2.2 Oxidovadla

Oxidovadla zlepšují zadržování plynů v těstě. Funkce oxidovadel je komplexní a je dána velikostí, stupněm, bílkovinných molekul. Určuje tím jejich schopnost tvořit zesítené proteiny tvorbou dalších slabých vazebných interakcí. Podle Bloksma oxidační činidla ovlivňují reologické vlastnosti těsta díky změnám reakcí mezi sulfhydrylovými a disulfidickými skupinami přítomných v glutenové síti [26, 55]. Oxidační činidla podporují tvorbu disulfidických můstků mezi jednotlivými glutenovými molekulami, zadržují plyny v těsta, a tím zesilují glutenovou síť těsta [26, 56].

Přínos oxidantů je značný. Na základě zlepšení rozvoje těsta lze dostávat produkty o velkém objemu a lepší pórovitosti střídky. Význam aminokyselin jako je L-tryptofan a L-threonin, které byly námi použity jako přídatné látky, zatím nebyly doposud dostatečně popsány ve vztahu k reologickým vlastnostem těsta. A tak jim bude věnována větší pozornost v dalších praktických výzkumech.

### ***Tyrosin***

Molekuly tyrosinu reagují s ostatními tyrosinovými molekulami buď na stejném bílkovinovém řetězci nebo přes oddělené bílkovinné řetězce, aby vytvořily komplexní síťovanou síť. Tyrosinové síťování se stalo kostrou těsta. Vysokomolekulární gluteniny bohaté na tyrosin, které tvoří blok struktury glutenových bílkovin, a jejichž vysoký obsah přímo souvisí s další tvorbou slabých vazebných interakcí v síti glutenu, mají zpevňující účinek na konečné těsto [58]. Tilley's vyzkoumal vztah mezi síťováním tyrosinu a kvalitou lepku (glutenu). Lepek (gluten) z pšeničné mouky má stejně tak dobré účinky na pečení jako tyrosin na síťování glutenové sítě [9, 57, 58].

## 2.3 Technologické operace

Čerstvě namletá mouka, která během uskladnění zraje po dobu 1-2 měsíců, je základem pro kvalitně vyrobené pekárenské produkty. Zlepšení je urychleno, jestliže je mouka uskladněna za přístupu vzduchu (nekrytě). Za těchto podmínek se ale jako první objevuje žluknutí tuků, objevují se zde produkty oxidace mastných kyselin, klesá poměr kyselin linolové a linolenové v tucích a počet disulfidických můstků (-S-S-). Proces zrání může být zrychlen pomocí chemických zlepšovadel, které upravují určitým způsobem vlastnosti lepku (glutenu) během kvašení, a jen tak mohou být získány pekárenské výrobky lepší kvality. Zralá mouka se odlišuje od čerstvě namleté mouky v tom, že má lepší manipulační vlastnosti, vzrůstající toleranci těsta k odlišným podmínkám kvašení a v produkci pekárenských výrobků o velkém objemu a jemné struktuře střídky [59].

### 2.3.1 Míchání

Produkce konečné struktury v upečeném pečivu zcela závisí na tvorbě plynových bublin v těstě během míchání a jejich rozpínivosti během následujícího procesu. Po vymíchání jsou vytvořeny nové plyny (oxid uhličitý). Oxid uhličitý má poměrně velkou rozpustnost na rozdíl od ostatních plynů a nemůže tvořit v chlebovém těstě plynové bubliny. Kvasinky produkují oxid uhličitý, který se rozpouští ve vodném roztoku uvnitř těsta, dokud nedojde k nasycení. Poté pokračuje fermentace, která způsobuje rozpínavost a plyny jsou zadrženy uvnitř struktury těsta. Další dva plyny, které jsou přítomny v těstě po vymíchání jsou kyslík a dusík. Doba výskytu kyslíku v těstě je relativně krátká, protože je rychle spotřebován kvasničnými buňkami uvnitř těsta [60]. Po odstranění kyslíku, jediný plyn, který v těstě zůstává, je dusík, a ten hraje hlavní roli ve tvorbě vnitřních bublin. Množství a velikosti bublin v těstě na konci míchání jsou silně ovlivňovány mechanismem tvarování těsta a míchacími podmínkami určitého mísiče

### 2.3.2 Zrání těsta

Těsto podstupující fermentaci, s občasnou mechanickou manipulací, zraje. Při míchání je těsto lepivé. Jak zrání pokračuje, při hnětení se těsto stává méně lepivé a více gumovité, a snadněji se s ním zachází. Když se dosáhne optimálního stavu zralosti, upečené pekárenské produkty jsou kvalitní. Pokud zrání pokračuje za tento bod, hnětené těsto popřípadě i lepí, a kvalita pekařského výrobku je horší. Zralé těsto má maximální pružnost po hnětení. Nedo zralé těsto lze natahovat, ale má nedostatečnou pružnost. Přezralé těsto, pokud je natahováno, inklinuje k přetrhnutí. Pokud optimální podmínky trvají déle, říká se, že mouka má dobrou fermentační snášenlivost. "Slabé mouky" (mouky

s poškozeným lepkem (glutenem)) rychle dosahují poměrně slabého optima, a mají slabou snášenlivost, zatímco “silné mouky“ (mouky s kvalitním lepkem (glutenem)) poskytují vyšší optimum (je potřeba delší doba k jeho dosažení) a mají dobrou snášenlivost. Přídavek zlepšovadel a antioxidantů do mouky může urychlit zrání těsta.

### **2.3.3 Pečení**

Po smíchání jednotlivých složek ve správném poměru, začínají bílkoviny v mouce hydratovat a s vodou tvořit lepek (gluten). Vzduchové bubliny jsou vmíchány do těsta a během následující manipulace s těstem se tyto bubliny rozdělí, nebo splynou. Nakonec se těsto začne podobat pění, s bublinami uvězněnými v síti lepku (glutenu). Enzymy droždí začnou fermentovat sacharidy přítomné v mouce a štěpit je na alkohol a oxid uhličitý. Oxid uhličitý se smíchá se vzduchovými bublinami a způsobuje tím zvětšení objemu těsta.

## 3 REOLOGIE

### 3.1 Charakteristika reologie

Obecná reologie je jedním z odvětví fyziky a zabývá se fyzikálním a matematickým popisem chování látek za deformace, jak při podmínkách dynamických (v průběhu deformování), tak statických (deformovaný stav se dále nemění vnějšími silami). Studuje vztahy mezi třemi veličinami: napětím, jemuž je materiál vystaven, konečnou velikostí deformace materiálu a časem, resp. kombinací posledních dvou, tj. rychlostí deformace (velikost deformace za čas). Kvalitu těsta můžeme také charakterizovat popisem jeho obecně vyjádřených reologických vlastností, ale především je potřebujeme posuzovat s ohledem na změny chování při dalším mechanickém, biologickém a tepelném zpracování [19].

Deformační oscilační měření jsou využívány k charakterizaci těsta v podobě směsi pšeničné mouky a vody. Tato měření, která se provádí za malých deformací, uchovávají strukturu testovaných vzorků, a tudíž dovolují získat informaci o objemových vlastnostech těsta.

Makroskopické chování těst záleží na jejich struktuře, tj. složení, prostorovém uspořádání komponentů a typu existujících můstků, které přímo ovlivňují reologické vlastnosti [19, 61, 62].

#### 3.1.1 Dynamická oscilační reometrie

V dynamických smykových oscilačních testech se napětí mění sinusově s časem. Pro materiál mající lineární viskoelastické chování, se výsledné napětí také mění sinusově v téže frekvenci, ale v jiné fázi. Směs pšeničné mouky a vody se chová téměř lineárně, jestliže jsou dynamické testy prováděny za malé deformace. Smykové dynamické testy se používají k měření frekvenční závislosti modulů  $G'$  a  $G''$ , které jsou reálnými a imaginárními částmi komplexního smykového modulu  $G^*$ . Elastický modul  $G'$  dává informace o elasticitě vzorku za testování a viskózní modul  $G''$  souvisí s viskózním chováním. Míru elasticity těsta může také vyjadřovat  $\tan \delta$  jako poměr  $G''$  a  $G'$ . Vlastnosti těsta se mění kontinuálně s časem díky fyzikálním a chemickým faktorům (vývoj interakcí složek vody/mouky, enzymatických reakcí, relaxace pnutí nastávajících během míchání). Proto mezi koncem míchání a začátkem reometrického měření musí být každý stupeň pečlivě časově sledován [19].

Faktory, které určující reologické vlastnosti systému pšeničná mouka – voda, jsou teplota a pro dané množství přidané vody, doba míchání a doba odležení [19].

Nejvíce kritickou složkou v např. chlebovém těstě je mouka, která je odpovědná za viskoelastický charakter. Lepek (gluten), polysacharidy a ostatní složky mouky mají vliv na reologické vlastnosti. Tyto složky zahrnují

poškozený škrob, ve vodě rozpustné a nerozpustné pentosany, celulosu, lipidy, rozpustné bílkoviny zahrnující enzymy.

Základní reologické parametry ( $G'$ ,  $G''$ ,  $G^*$  a  $\tan \delta$ ) požadují, aby vzorky byly lineárně elastické [63]. U těst z pšeničné mouky bylo zjištěno, že se chovají lineárně v nízkých hodnotách napětí [64]. Lineární chování za nízkého napětí naznačuje, že malá deformace nepoškozuje tolik strukturu těsta [65].

### 3.1.2 Faktory ovlivňující reologii těsta

Faktory ovlivňující reologii těsta během doby po míchání jsou relaxace, přetížení nastávající během míchání, pokračování hydratace složek mouky a přerozdělení vody [66]. Další možností je, že vnitřní změny disulfidických můstků nastávají kontinuálně během odpočinku těsta a výsledkem je, že průměrná molekulová hmotnost bílkovin klesá a produkuje nižší  $G'$  [64].

Složení základních strukturních komponent těsta a potažmo pšeničného výrobku, struktura a molekulární velikost glutenových polymerů v těstě, dále také větvení peptidových řetězců a jejich struktura ovlivňují reologické vlastnosti těsta [64]. Nejnovější práce poukazují na to, že rozhodující vliv na kvalitu těsta má zejména odrůda pšenice pěstovaná přímo pro konkrétní druh pekárenského výrobku, nikoliv samotná obecná stavba rozpustných glutenových jednotek. Vlastnosti těsta jsou samozřejmě glutenem ovlivněny nejzásadněji, ale týká se to pouze nerozpustných glutenových struktur. Odolnost vláken je velmi důležitá vlastnost, která je zodpovědná za schopnost peptidových řetězců se větvit. Jejich menším nebo větším větvením se zásadně ovlivňuje kvalita těsta [67]. V těstě je také důležité, aby pevnost a tuhost vláken byla taková, aby nedocházelo k velkým deformacím, díky vznikajícím bublinkám plynu, tzn. aby se hodnota stability pohybovala okolo jedné. Zvyšující se teplota má také vliv na strukturu peptidových vláken a ovlivňuje též stabilitu vznikajících bublinek plynu.

Praktický význam reologie může spočívat v tom, že na základě zkoušení těsta během jednotlivých fází výroby můžeme předpovídat, jaká bude kvalita konečného pekárenského výrobku.

K měření viskoelastických vlastností těsta se používají různé speciální reologické přístroje, jako je např. alveograf, extenzograf, konzistograf, alveokonzistograf, kde daná reologická měření jsou založena na použití zvýšeného tlaku, ohýbání a tažnosti. Jejich intenzita závisí na velikosti vzorku a jeho předpokládaných vlastnostech. Stanovuje se tak především tuhost, pevnost v ohybu, viskozita, tvrdost a houževnatost. Vzorky mohou být různé velikosti, protože se předpokládá, že by měly mít ve všech částech podobné vlastnosti. Nicméně mnoho surovin potravinářského průmyslu nemusí mít vlastnosti ve všech částech stejné, a potom hodně záleží na tom, v které části zkoušení provádíme. Příkladem by mohla být nejednotná tloušťka těsta při jeho

vytahování. Je to způsobeno tím, že bílkovinné struktury nejsou rozmístěny úplně stejnoměrně.

Reologie těsta je také citlivá ke změnám obsahu škrobu v pšenici [68, 69] a hraje důležitou roli v kvalitě pekařských produktů [68, 70].

Viskoelastické vlastnosti těsta jsou důležité pro zadržování plynu uvnitř těsta. Gliadiny jsou viskózní a snadno se roztahují, proto se těsto vyrobené jen z gliadinů chová jako tekutina, která není odolná deformacím. Vzduchové bubliny se v takovém těstě rychle zvětšují, ale těsto je nezadrží na dlouhou dobu. Těsto vyrobené jen z gluteninů je velmi pevné a pružné, ale chybí mu tažnost gliadinů. Plyn je v takovém materiálu pevně zadržován, ale nemůže zvětšovat svůj objem. Jediné viskoelastické vlastnosti pšeničného těsta jsou tedy dány vhodnou kombinací gliadinů a gluteninů [7].

## 4 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Cílem práce bude zjistit vliv definovaných aminokyselin a jejich kombinací na reologické a chemické vlastnosti pšeničného těsta, a dále pak na organoleptické vlastnosti pekárenských výrobků.

V rámci reologických měření bude sledováno, které z použitých aminokyselin jsou redukčními, a které oxidačními činidly. Za tímto účelem byly vybrány následující přídatné látky: komerční výrobek – L-cystein hydrochlorid monohydrát a glutathion-inaktivované droždí (Ireks GmbH, Eppelborn, Německo), dále L-tyrosin, L-cystein p.a. a kyselina L-askorbová (Merck KGaA, Darmstadt, Německo). Dále 2 aminokyseliny L-threonin a L-tryptofan (Merck KGaA, Darmstadt, Německo), které nejsou běžně používány jako aditiva přidávaná do těst na úpravu viskoelastických vlastností. Dále budou studovány vybrané kombinace těchto oxidačních a redukčních činidel, a to kombinace: redukční činidlo-redukční činidlo, redukční činidlo-oxidační činidlo.

Pro popis účinku jednotlivých redukčních a oxidačních činidel a jejich kombinací na změny v poměru jednotlivých složek pšeničných bílkovin bude použita kapalinová chromatografie.

Pro zjištění kvality budou provedeny senzorké testy pekárenských výrobků s použitím redukčních a oxidačních činidel a jejich kombinací.

Pro dosažení tohoto základního cíle jsou stanoveny následující úkoly:

- teoreticky popsat chemické složení bílkovin, jejich reakce s redukčními a oxidačními činidly
- vyrobit pšeničná těsta s použitím definovaných redukčních a oxidačních činidel a jejich kombinací
- provést základní chemické rozborů: pH, sušiny; měření reologických vlastností pomocí dynamické oscilační reometrie, deformačního měření, dále provést analýzy složení kapalinovou chromatografií a senzorkou analýzu vyrobených vzorků bulek
- na základě výsledků analýz posoudit reologické vlastnosti pšeničných těst s použitím redukčních a oxidačních činidel a jejich kombinací v závislosti na doplnění informací získaných z kapalinové chromatografie
- provést “pekařské pokusy“ s cílem ověřit kvalitu pšeničného pečiva



## **5 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ**

### **5.1 Příprava vzorku**

Těsta byla připravována z pšeničné mouky T 530 (sušina 36,4%, pádové číslo 339 s), která byla dodána pekárny Penam, s.r.o. Kroměříž. Z redukčních činidel byly použity aminokyseliny L-cystein hydrochlorid monohydrát, glutathion-inaktivované droždí (Ireks GmbH, Eppelborn, Německo) a L-cystein p.a. a kyselina L-askorbová, (Merck KGaA, Darmstadt, Německo), z oxidačních činidel to byly aminokyseliny L-tyrosin, L-threonin a L-tryptofan (Merck KGaA, Darmstadt, Německo). K přípravě těst byly použity: pšeničná mouka T 530, chlorid sodný, deionizovaná voda a dané redukční nebo oxidační činidlo či jejich kombinace. Těsta byla míchána na spirálovém mísiči Bosch Profi Mixx 47 MUM 4770/05 (Robert Bosch Hausgeraete GmbH, Německo). Na začátku bylo nejprve 9 g chloridu sodného rozpuštěno v deionizované vodě. Poté byla přidána pšeničná mouka, do které bylo nejprve vmícháno dané redukční nebo oxidační činidlo či jejich kombinace. Těsta byla míchána vždy 5,5 minuty, vytvarována do bochníku (s co nejmenším použitím mechanické síly) a nechána relaxovat v misce opatřené víkem po dobu 50 minut.

## 5.2 Chemická analýza

Chemickou analýzou byl stanoven obsah celkové sušiny do konstantní hmotnosti dle České technické normy ČSN ISO 5534 [71]. pH bylo měřeno pomocí vpichového pH metru (Gryf 209 S) s kombinovanou skleněnou elektrodou při teplotě  $22 \pm 1$  °C. Každý vzorek byl měřen třikrát a výsledek byl uveden jako průměr  $\pm$  směrodatná odchylka (S.D.).

### 5.3 Kapalinová chromatografie (SE-HPLC)

Kapalinová chromatografie byla použita pro zjištění změn v poměru jednotlivých složek pšeničných bílkovin. Vzorky byly připravovány tak, že mouka byla nejprve extrahována 2 hodiny při 60 °C v 0,1 mol·l<sup>-1</sup> fosfátovém pufru pH 6,9 obsahující 2% m/m SDS. Po centrifugaci při 15000 ot./min byl supernatant přefiltrován přes membránový filtr. Filtrát byl nanesen na kolonu a použit k analýze.

Analýza byla provedena na kapalinovém chromatografu Shimadzu metodou SE – HPLC (Size exclusion High performance liquid chromatography) dle doporučení [72, 73]. Byla použita kolona Bio Sep- SEC- S4000 (300x7,8mm). Mobilní fáze byla tvořena fosfátovým pufrům pH 6,9, s přídatkem 0,1% m/m SDS. Jednotlivé složky byly detekovány při vlnové délce UV 214 nm. Bílkovinné frakce přítomné ve vzorku byly identifikovány pomocí standardů o známé molekulové hmotnosti (Thyroglobulin 669000 Da s retenčním časem 11,5 min., Ovalbumin 42 700 Da s retenčním časem 16,3 min., Ribonuclease 13 700 Da s retenčním časem 18,5 min.).

## 5.4 Dynamická oscilační reometrie

Dynamická oscilační reometrie byla prováděna na pracovišti Centra polymerních materiálů, Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně na přístroji Bohlin Gemini (Malvern Instruments, UK) v geometrii deska-deska, průměr geometrie činil 25 mm a šířka štěrbiny byla 1,5 mm. Teplota měření byla zvolena  $25 \pm 1$  °C. Experimenty byly prováděny v oblasti lineární viskoelasticity s amplitudou smykového napětí 50 Pa, v rozsahu frekvencí 0,1 - 100 rad/s. Sledovanými parametry byly elastický modul ( $G'$ ), viskózní modul ( $G''$ ) a  $\tan \delta$  ( $\tan \delta = G''/G'$ ). Metoda umožňovala (kvantifikaci) charakterizaci a srovnání účinků používaných redukčních a oxidačních činidel a jejich kombinací.

## 5.5 Deformační měření

Deformační měření byla prováděna na pracovišti Ireks Enzyma, s.r.o., Brno na přístroji Alveokonzistograf. Tento přístroj se skládá z Alveografu a Konzistografu. Při měření na Konzistografu postupujeme podle normy AACC 54-50 [74] a u Alveokonzistografu podle normy AACC 54-30A [75].

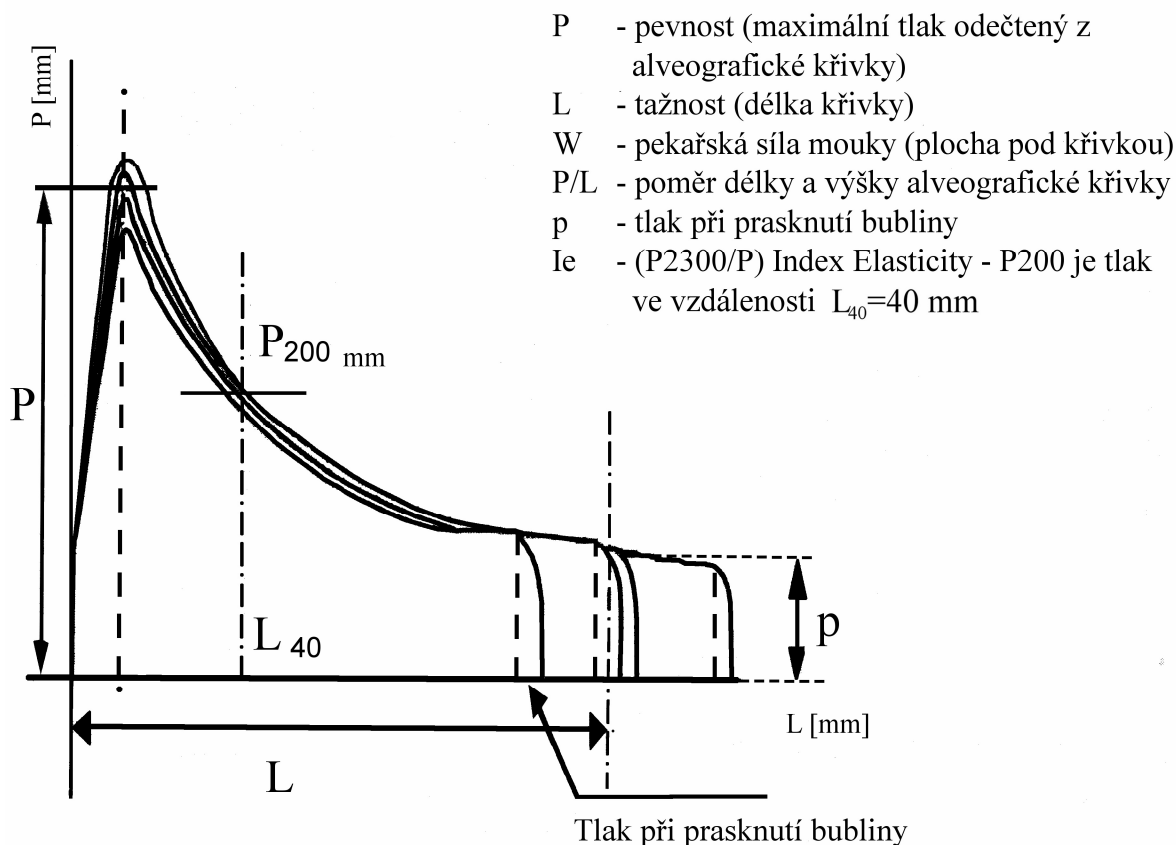
V Konzistografu se provádí zkoušky konzistografické (tzv. konstantní křivka, adaptovaná křivka) a v Alveografu se dělá zkouška alveografická.

Z alveografické zkoušky se zjišťuje hlavně pevnost a tažnost těsta, kdežto z konzistografických zkoušek se získá informace o mouce jako takové, o její vlhkosti a také komplexnější informace o těstě. Konzistografické zkoušky jsou pro pekaře tudíž důležitější ke zjištění jakosti své mouky a potažmo i těsta a dále jeho zpracovatelnosti.

Výsledky z konzistografu je možné vyhodnocovat v kombinaci s údaji zjištěnými na alveografu, ať již při konstantní nebo zvolené hydrataci. Na základě těchto zařízení lze hledat cestu k lepší charakterizaci mouky.

Tab. 1: Popis jednotlivých hodnot znázorněných v alveografických křivkách

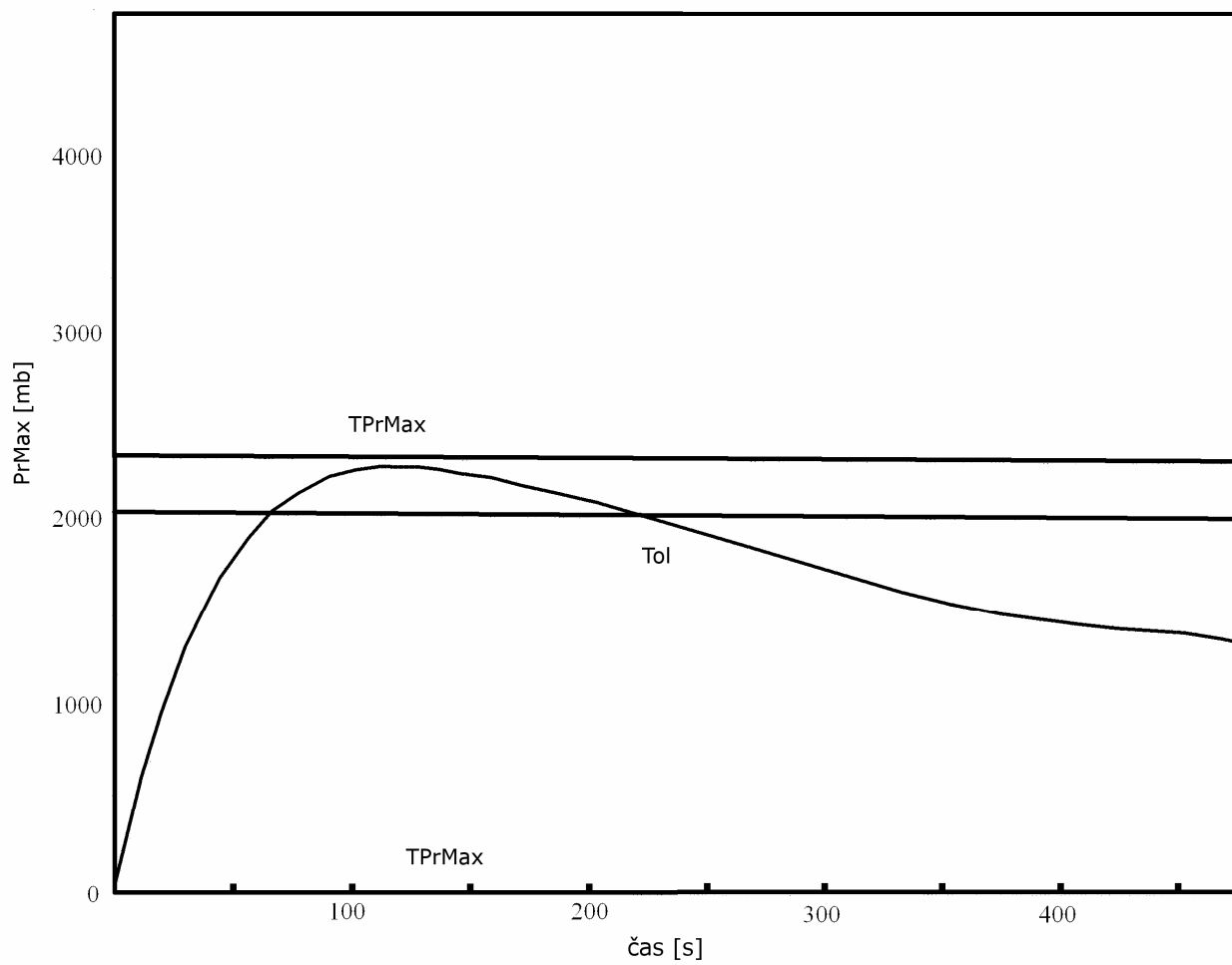
<b>Hodnoty Alveografu</b>	<b>Vysvětlivky</b>
<b>ALVEO CH</b>	konstantní hydratace – zkouška k určení pekařských vlastností mouky při vlhkosti 15 %
<b>ALVEO H</b>	adaptovaná hydratace – zkouška k určení pekařských vlastností mouky při optimálním poměru mouky a vody a při zadané pevnosti těsta
<b>P</b>	pevnost těsta (lepku) nebo maximální tlak, který vyjadřuje odolnost těsta proti deformaci
<b>L a G</b>	roztažnost a nafouknutí, které vyjadřují schopnost tvárnosti těsta před prasknutím
<b>L</b>	tažnost těsta (lepku) až k okamžiku protržení – délka křivky
<b>G</b>	index nafouknutí = $2,226 \sqrt{L}$
<b>W</b>	energie – pekařská síla mouky, práce nezbytná k deformaci bubliny až k prasknutí, vyjádřená povrchem křivky, vztažená k síle mouky
<b>P/L</b>	konfigurační poměr křivky
<b>W(40)</b>	vyjádření energie při dané délce
<b>T</b>	pevnost
<b>A</b>	prodloužení
<b>Ie</b>	index elasticity, který vyjadřuje odpor těsta – pokles křivky během deformace, je to vlastně poměr tlaku po vpuštění 200 cm <sup>3</sup> vzduchu do testovaného vzorku ku maximálnímu tlaku na křivce. Ie % = P200/Pmax
<b>Ex</b>	roztažnost
<b>Fb</b>	pečicí síla
<b>T/A</b>	konfigurační poměr
<b>Iec</b>	stupeň elasticity
<b>Fb (40)</b>	vyjádření pečicí síly při dané délce
<b>HYDHA</b>	upravená hydratace – odpovídá absorpční schopnosti mouky



Obr. 3: Alveografická křivka

Tab. 2: Popis jednotlivých hodnot znázorněných v konzistografických křivkách

Hodnoty Konzistografu	Vysvětlivky
<b>KONZISTO CH</b>	konstantní hydratace – zkouška, na jejímž základě se určí optimální poměr mouky a vody pro další měření při adaptované hydrataci
<b>KONZISTO AH</b>	adaptovaná hydratace – zkouška k určení vlastností těst
<b>PrMax</b>	pevnost těsta – maximální hodnota naměřeného tlaku, v závislosti na absorpční kapacitě mouky
<b>WA</b>	hydratační ekvivalent k 1700 mb při vlhkosti 15 %
<b>HYDHA</b>	vaznost mouky – ekonomický ukazatel (kolik vody mouka přijme), hydratační ekvivalent k 2200 mb při vlhkosti 15 %
<b>TPrMax</b>	vývin těsta – čas potřebný k dosažení PrMax
<b>Tol</b>	stabilita těsta – tolerance, doba, během níž je tlak vyšší než PrMax – 20 %
<b>D 250</b>	změknutí (zeslabení) těsta po 250 s, pokles tlaku v porovnání s PrMax, po 250 s
<b>D 450</b>	změknutí (zeslabení) těsta po 450 s, pokles tlaku v porovnání s PrMax, po 450 s
<b>WAC</b>	přesná hodnota WA obdržená v průběhu testu, hydratační ekvivalent k 1700 mb při vlhkosti 15 %



*Obr. 4: Konzistografická křivka*



## 5.6 Senzorická analýza

Senzorických analýz se účastnili jednak posuzovatelé na úrovni „vybraný posuzovatel“ a dále „expert“ ve smyslu ČSN ISO 8586-1,2 [76, 77]. Vzorky byly předkládány anonymně při pokojové teplotě ( $22 \pm 2$  °C). Hodnotitelé použili nejprve pořadový preferenční test, tzn., že seřadili vzorky bulek od nejpreferovanějších až po nejméně preferované, tj. v pořadí od 1 do 4. Senzorické hodnocení spočívalo v posuzování jednotlivých vzorků bulek pomocí jakostních ordinálních (číselných) stupnic s charakteristikou každého stupně. Orientace škály byla zvolena tak, že první stupeň odpovídal úrovni „vynikající“ a poslední stupeň byl označen např. jako úroveň „nevyhovující“ nebo velmi špatný. Tímto způsobem byly posuzovány deskriptory textury při hodnocení vzorků bulek jako vláčnost, gumovitost, pocit při polykání, suchost, jakost a textura.

Senzorická analýza byla dále doplněna párovým preferenčním testem, který přesněji a objektivněji dokáže zachytit jakostní odchylky mezi srovnávanými vzorky v porovnání se stupnicovými metodami, resp. pořadovým preferenčním testem většího souboru vzorku [78]. K hodnocení byly použity vzorky bulek vyrobené ze stejného těsta, rozdíl byl pouze v přídávku jednotlivých redukčních nebo oxidačních činidel či jejich kombinací, hodnoceny byly vždy oproti kontrolnímu vzorku.

Senzorická analýza byla statisticky vyhodnocena pomocí [79]:

- pořadového testu preferencí (Friedmanův test, Némenyiho test vícenásobného párového porovnání pro závislé výběry, test o parametrech binomického rozdělení),
- hodnocení jednotlivých sensorických znaků – vláčnost, gumovitost, pocit při polykání, suchost, jakost a textura (Kruskal – Wallisův test, Wilcoxonův test).

## 6 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

### 6.1 Chemické analýzy

#### 6.1.1 Stanovení sušiny

Celková sušina byla porovnána u těst s přidavkem redukčních či oxidačních činidel a srovnána se standartem, kterým bylo těsto bez přidavku těchto činidel (kontrolní těsto), abychom zjistili, zda množství přidavku těchto činidel a jejich kombinace neovlivňuje celkovou sušinu pšeničných těst. Přehled naměřených sušin je uveden v tabulkách 3 a 4.

Tab. 3: Přehled naměřených sušin na základě použitého aditiva

<b>Kontrolní vzorek</b>	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
	39,28	39,39	39,50	39,39	0,11
<b>Aminokyselina</b>	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
<b>L-cystein hydrochlorid monohydrát</b> [g]					
0,03	39,87	39,89	39,84	39,87	0,03
0,04	39,20	39,55	39,50	39,42	0,19
0,05	39,30	38,32	39,28	38,97	0,56
0,06	39,34	40,13	39,29	39,59	0,47
0,07	39,49	39,20	39,50	39,40	0,17
0,08	39,29	39,36	39,37	39,34	0,04
0,09	39,70	39,69	39,67	39,69	0,02
0,16	39,19	39,54	39,41	39,38	0,18
0,20	39,10	39,52	39,58	39,40	0,26
0,30	39,29	39,14	39,57	39,33	0,22
1,20	39,33	39,20	38,98	39,17	0,18
<b>L-cystein p.a.</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,03	39,49	39,34	39,41	39,41	0,08
0,05	38,87	38,74	39,07	38,89	0,17
0,07	39,25	39,09	39,29	39,21	0,11
0,09	39,17	39,10	39,11	39,13	0,04
0,12	39,40	39,44	39,47	39,44	0,04
0,16	38,99	39,13	39,26	39,13	0,14
0,20	39,19	39,23	39,18	39,20	0,03

<b>Aminokyselina</b>	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
<b>glutathion- inaktivované droždí</b> [g]					
0,10	40,76	40,76	40,77	40,76	0,01
0,15	39,98	39,82	39,96	39,92	0,09
0,20	39,65	39,95	39,88	39,83	0,16
0,30	39,65	39,67	39,35	39,56	0,18
0,50	40,69	40,62	40,60	40,64	0,05
0,70	39,24	39,30	39,65	39,40	0,22
0,90	39,48	39,58	39,46	39,51	0,06
<b>L-tryptofan</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,07	39,78	39,95	39,94	39,89	0,10
0,15	39,63	39,42	39,52	39,52	0,11
0,30	39,04	39,38	39,57	39,33	0,27
0,50	39,90	40,00	39,86	39,92	0,07
0,70	39,34	39,49	39,92	39,58	0,30
<b>L-threonin</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,07	39,07	39,26	39,25	39,19	0,11
0,15	39,22	39,35	39,26	39,28	0,07
0,20	39,87	39,91	39,74	39,84	0,09
0,30	38,31	39,29	39,02	38,87	0,51
0,50	38,64	38,94	39,35	38,98	0,36
0,70	38,88	38,81	38,96	38,88	0,08
<b>L-tyrosin</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,03	39,40	39,58	39,49	39,49	0,09
0,04	39,45	39,30	39,42	39,39	0,08
0,07	39,73	39,68	39,84	39,75	0,08
0,10	39,10	39,95	39,32	39,46	0,44
0,15	39,98	40,19	40,15	40,11	0,11
0,30	39,07	39,15	39,28	39,17	0,11
0,50	39,69	39,88	39,94	39,84	0,13
0,70	39,91	39,54	39,57	39,67	0,21

<b>Kyselina</b>	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
<b>L-askorbová kyselina</b> [g]					
0,10	39,90	39,76	39,75	39,80	0,08
0,15	39,08	39,16	39,19	39,14	0,06
0,30	39,67	39,96	39,89	39,84	0,15
0,50	39,13	39,17	39,25	39,18	0,06
0,70	39,48	39,41	39,17	39,35	0,16
0,90	39,56	39,12	39,54	39,41	0,25
1,20	39,79	39,89	39,73	39,80	0,08

Tab. 4: Přehled naměřených sušín na základě použitého aditiva

<b>Aminokyselina/Kyselina</b>	<b>+</b>	<b>Aminokyselina</b>	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
<b>L-askorbová kyselina</b> [g]	<b>+</b>	<b>glutathion- inaktivované droždí</b> [g]					
0,30		0,30	39,73	39,69	39,86	39,76	0,09
0,30		0,50	39,84	39,88	39,92	39,88	0,04
0,30		0,70	39,89	39,93	39,87	39,90	0,03
0,30		0,90	39,55	39,67	39,63	39,62	0,06
0,30		1,20	39,86	39,91	39,74	39,84	0,09
<b>L-askorbová kyselina</b> [g]	<b>+</b>	<b>L-tryptofan</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,30		0,30	39,59	39,91	39,75	39,75	0,16
0,30		0,50	39,90	39,70	39,76	39,79	0,10
0,30		0,70	39,74	39,86	39,84	39,81	0,06
0,30		0,90	40,37	40,21	40,18	40,25	0,10
<b>L-askorbová kyselina</b> [g]	<b>+</b>	<b>L-threonin</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,30		0,30	39,84	39,93	39,93	39,90	0,05
0,30		0,50	39,83	39,72	39,71	39,75	0,07
0,30		0,70	39,99	39,96	39,92	39,96	0,04
0,30		0,90	40,75	40,78	40,69	40,74	0,05
0,30		1,20	40,79	40,93	40,82	40,85	0,07
<b>L-askorbová kyselina</b> [g]	<b>+</b>	<b>L-cystein hydrochlorid monohydrát</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,30		0,03	39,97	39,84	39,91	39,91	0,07
0,30		0,06	39,94	39,87	39,72	39,84	0,11
0,30		0,08	39,95	39,86	39,91	39,91	0,05
0,30		0,12	39,61	39,68	39,33	39,54	0,19
0,30		0,16	39,75	39,70	39,67	39,71	0,04
<b>L-cystein p.a.</b> [g]	<b>+</b>	<b>glutathion- inaktivované droždí</b> [g]	<b>sušina</b>			$\bar{x}$	$\sigma^2$
0,03		0,30	39,26	39,31	39,35	39,31	0,05
0,03		0,50	39,53	39,60	39,64	39,59	0,06
0,03		0,70	39,41	39,56	39,30	39,42	0,13
0,03		0,90	38,86	39,07	39,08	39,00	0,12

## 6.1.2 Stanovení pH

pH má značný vliv na viskoelastické vlastnosti těsta. Abychom zjistili, nakolik námi užitá oxidační a redukční činidla ovlivňují hodnotu pH, rozhodli jsme se i tuto veličinu vyhodnotit.

Z výsledků vyplývá, že průmyslově používaný cystein, zde ve formě L-cystein hydrochlorid monohydrát, měl se vzrůstajícím zastoupením v těstě  $0,6 \cdot 10^{-2}$ - $24,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m nepřímo úměrný vliv na pH. pH klesalo, a to od hodnoty 5,95 do 5,77. Změnu pH však mohly mít na svědomí i další látky v této směsi obsažené.

Rostoucí zastoupení L-cysteinu p.a., který jsme používali v zastoupení  $0,6 \cdot 10^{-2}$ - $4,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m v námi připravených těstech, nijak výrazně neovlivňoval pH. Hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 6,12-5,83 s opět nelineárním průběhem.

Množství použitého glutathionu-inaktivovaného droždí se pohybovalo v zastoupení od  $1,8 \cdot 10^{-2}$ - $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m, ale i přes výrazné rozdíly v množství použitého aditiva se pH prakticky neměnilo. Rozmezí naměřených pH je 5,97-5,95.

pH L-tryptofanu bylo měřeno pro zastoupení v těstě  $1,4 \cdot 10^{-2}$ - $14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m, přičemž průměrné hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 5,96-5,93 pH. Změny hodnot pH jsou tak malé, že nevykazují žádnou závislost na zastoupení použitého aditiva.

Množství L-threoninu se pohybovalo v zastoupení od  $1,2 \cdot 10^{-2}$ - $3,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m. pH však bylo u všech použitých těst prakticky stejné a pohybovalo se v rozmezí 6,02-6,01.

U L-tyrosinu, jehož zastoupení v těstě bylo v rozmezí  $0,6 \cdot 10^{-2}$ - $14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m, byl sledován trend rostoucího pH, avšak v řádu setin jednotek pH, a nebyla zjištěna lineární závislost mezi hodnotou pH těsta a zastoupením použitého aditiva. pH se pohybovalo v hodnotách 5,77-5,92 pH.

Kyselina L-askorbová, používaná v zastoupení  $2,0 \cdot 10^{-2}$ - $24,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m, neměla na změnu pH, oproti očekávání, žádný výrazný vliv. pH se pohybovalo v rozmezí 5,97-5,6 bez jakéhokoliv trendu, či závislosti na zastoupení použitého aditiva.

Směs kyseliny L-askorbové v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m a L-tryptofanu v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$ - $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m také zřejmě nemělo vliv na hodnotu pH. S rostoucím zastoupením druhého aditiva se pH měnilo v rozmezí 5,9-6,14 bez jakéhokoliv trendu či závislosti na zastoupení.

Směs kyseliny L-askorbové v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m a L-threoninu v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$ - $24,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m nemělo také výrazný vliv na pH, které se pohybovalo v rozmezí 5,95-6,06. pH se měnilo v řádech setin jednotek pH bez jakéhokoliv trendu či závislosti.

Směs dalších dvou aditiv, L-askorbové kyseliny v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m a glutathionu-inaktivovaného droždí v zastoupení od  $6,0 \cdot 10^{-2}$ - $24,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m,

neměla žádný výrazný vliv na změnu pH, které se pohybovalo v rozmezí 6,05-6,13. Změna pH byla v řádech setin jednotek pH.

Směs dvou aditiv, a sice kyseliny L-askorbové v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m a L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu v zastoupení od  $0,6 \cdot 10^{-2}$ - $3,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m, neměla výrazný vliv na změnu pH, které se pohybovalo v rozmezí 5,95-6,01. Změna pH byla v řádech setin jednotek pH.

Další směs, a sice L-cysteinu p.a. v zastoupení  $0,6 \cdot 10^{-2}$  % m/m a glutathionu-inaktivovaného droždí, jehož zastoupení se pohybovalo v rozmezí  $6,0 \cdot 10^{-2}$ - $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m mělo očekávaný průběh při porovnávání změn pH. Stejně jako u čistého glutathionu-inaktivovaného droždí se pH prakticky nezměnilo. Rozmezí pH bylo 5,97-6,01.

## 6.2 Kapalinová chromatografie

Kromě reologických metod, které jsme užívali ke zjišťování oxidačních a redukčních účinků jednotlivých přídatných látek, jsme přistoupili k vyžití metody kapalinové chromatografie, která nám posloužila k detailnějšímu popisu účinků jednotlivých přídatných látek, které jsou schopny posilovat či rozbítet glutenovou strukturu na jednotlivé složky, a tak potvrdit, že daná přídatná látka je redukčním či oxidačním činidlem.

Tabulky 5-20 udávají retenční časy, výšky (jednotky; jednotky) a plochy (jednotky; jednotky·s) píků detekované pro jednotlivé bílkovinné frakce, které jsou zastoupeny v pšeničné mouce. V čase 10.–15. min. od začátku analýzy byly detekovány HMW GS a LMW GS, od 15. min. do 20. min. byly detekovány gliadiny, následovala detekce albuminů a globulinů (20.–25. minuta). Na konci analýzy (po 24. minutě) byly detekovány nízkomolekulární nebílkovinné složky. V tabulkách jsou uvedeny hodnoty pro čistou mouku, hodnoty pro směs mouky s přidávanými aminokyselinami (redukčními činidly, oxidačními činidly, kombinací redukčních činidel, kombinací redukčního činidla s oxidačním) o různé síle.

Z tabulky 5 vyplývá, že vzorky s L-cysteinem hydrochloridem monohydrátem se zvyšujícím se zastoupením snižovaly podíl HMW GS a LMW GS, dále gliadinů detekovaných v 16. a 17. minutě oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky, což se projevilo postupným snížením detekovaných píků. Naopak došlo ke zvýšení zastoupení gliadinů, albuminů a globulinů detekovaných v 18., 22. a 25. minutě. Se zvyšujícím se zastoupením L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu docházelo dále k rozpadu gliadinů na albuminy a globuliny. Významněji bylo tedy zvýšeno zastoupení bílkovin s molekulovou hmotností odpovídající albuminům a globulinům, což jsou bílkoviny detekované ve 22. a 25. minutě.

U vzorků s L-cysteinem p.a., uvedených v tabulce 6, nebyly se zvyšujícím se zastoupením téměř vůbec detekovány HMW GS a LMW GS. Naopak docházelo oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky ke zvýšení zastoupení gliadinů, albuminů a globulinů detekovaných v 16., 17. a 21. a 22. minutě. Významněji bylo zvýšeno zastoupení bílkovin s molekulovou hmotností odpovídající gliadinům, což jsou bílkoviny detekované v 16. a 17. minutě.



Tab. 5: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro L-cystein hydrochlorid monohydrát															
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + L-cystein hydrochlorid monohydrát											
vzorky		čistá mouka													
Množství L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu				I		II		III		IV		V		VI	
Ret. čas/Plocha/ Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	10.	-	-	26358	988	28578	1021	34551	1205	52679	1525	-	-	26517	997
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	3971	195	-	-	39283	919	24448	613	35697	1195	8245	305
gliadiny	16.	1311719	42430	8183726	123505	7452558	118827	7514502	122815	6655348	111597	6478738	108197	6523730	109295
gliadiny	17.	17191677	223163	30159284	398802	28569830	396939	30132991	423008	27523495	398582	27473985	390589	27575110	396227
gliadiny	18.	-	-	6929487	117044	7024327	116913	7524336	128877	7169725	122974	-	-	7172780	125018
gliadiny	19.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6699176	118754	-	-
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	963544	21965	919689	21250	982632	23251	890180	21079	674118	16848	852139	19650
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	3645095	64617	4362076	82323	5551522	109899	6827575	142568	6424158	147304	8734949	166453
albuminy + globuliny	25.	-	-	659546	6064	667277	6210	669294	6246	681881	6202	-	-	83444	1643
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	542448	9092	501495	8357	515633	8536	515042	8459	-	-	259140	5777
nebílkovinné frakce	28.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254476	5752	-	-
Součet															

\* I -VI postupně zvyšující se zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 6: Charakteristiky píkú pro jednotlivé zastoupení L-cysteinu p.a.; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píkú pro L-cystein p.a.							
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + L-cystein p.a.			
vzorky		čistá mouka					
Množství L-cysteinu p.a.				I		II	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	28528	594	-	-
gliadiny	16.	1311719	42430	6798280	113629	7206083	121277
gliadiny	17.	17191677	223163	28181117	391573	30605680	422240
gliadiny	18.	-	-	6796952	117805	-	-
gliadiny	19.	-	-	-	-	7388032	128507
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	647321	16729	487816	12081
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	4170615	74226	4492611	88375
nebílkovinné frakce	26.	-	-	-	-	44175	848
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	283995	6062	-	-
nebílkovinné frakce	28.	-	-	-	-	262354	5748
Součet							

\* I nejnížší zastoupení L-cysteinu p.a.

II nejvyšší zastoupení L-cysteinu p.a.; --

v daném čase pík nedetekován

U vzorků se zvyšujícím se zastoupením glutathionu-inaktivovaného droždí došlo oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky ke snížení HMW GS a LMW GS, ale oproti předešlým redukčním činidlům došlo k nejmenšímu redukčnímu účinku na bílkovinné frakce pšeničné mouky. Došlo ke zvýšení zastoupení gliadinů, albuminů a globulinů detekovaných v 17., 21. a 22. minutě. A u nejvyšších dávek glutathionu-inaktivovaného droždí, došlo dále k postupnému rozpadu albuminů a globulinů na nebílkovinné frakce detekované ve 24. a 25. minutě (Tab.7).

Z tabulky 8 je patrné, že nejlepším redukčním činidlem v zastoupení uvedených v tabulce 8 je L-cystein p.a., který se zvyšujícím se zastoupením nejvíce rozkládá gluteliny a gliadiny, dále pak L-cystein hydrochlorid monohydrát, který rozkládá HMW GS a LMW GS, a tím posiluje ostatní složky mouky. Nejslabším redukčním činidlem je glutathion-inaktivované droždí, u kterého je se zvyšujícím se zastoupením patrný rozklad HMW GS a LMW GS, a to hlavně na složky gliadinů a albuminů a globulinů.

Z tabulky 9 vyplývá, že u vzorků se zvyšujícím se zastoupením L-askorbové kyseliny dochází postupně oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky k úplnému rozkladu HMW GS a LMW GS detekovaných v 11. minutě a dále gliadinů detekovaných v 16. a 17. minutě. Na druhou stranu došlo k významnému zvýšení bílkovin s molekulovou hmotností odpovídající albuminům a globulinům, které byly detekovány ve 21. minutě.

U vzorků se zvyšujícím se zastoupením kombinací redukčních činidel (L-cystein p.a. + glutathion-inaktivované droždí), uvedených v tabulce 10, došlo oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky ke snížení zastoupení HMW GS a LMW GS na úkor zvýšení zastoupení gliadinů detekovaných v 17. a 18. minutě a dále albuminů a globulinů detekovaných ve 22. a 24. minutě a nebílkovinných frakcí.

U vzorků se zvyšujícím se zastoupením kombinací redukčních činidel (L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát) bylo oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky sníženo zastoupení HMW GS a LMW GS na úkor zvýšení zastoupení gliadinů detekovaných v 16.-18. minutě a dále albuminů a globulinů detekovaných ve 21. a 24. minutě. Zastoupení nebílkovinných frakcí detekovaných ve 27. minutě bylo oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky sníženo (Tab. 11).

V tabulce 12 je vidět, že zastoupení HMW GS a LMW GS se oproti předešlé kombinaci redukčních činidel snižovalo pomaleji, tudíž docházelo se zvyšujícím se zastoupením glutathionu-inaktivovaného droždí k L-askorbové kyselině k postupnému rozpadu těchto složek. Také docházelo ke zvyšování zastoupení gliadinů detekovaných v 17. a 18. minutě a dále zastoupení albuminů a globulinů detekovaných v 21. a 22. minutě. Dále při vysokých zastoupeních přidaného glutathionu-inaktivovaného droždí byl ve 27. minutě detekován, oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky, zvýšený podíl zastoupení nebílkovinných frakcí.

Tab. 7: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení glutathionu-inaktivovaného droždí; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro glutathion-inaktivované droždí																	
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + glutathion-inaktivované droždí													
vzorky		čistá mouka															
Množství glutathionu-inaktivovaného droždí				I		II		III		IV		V		VI		VII	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	1263640	26395	1450161	29110	1217669	26094	1464855	30276	1125638	26002	1024601	22812	738618	17569
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	24065329	215159	24250749	222983	26655226	228533	27351320	230478	30750863	237825	34000329	239513	40729277	262149
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	1157072	20856	1135733	20403	1501634	25872	1743856	29464	1843944	31829	2686629	44697	4044698	60550
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	718690	21425	-	-	777864	22417	865321	22835	749101	17367	1463687	22724	2013472	32650
albuminy + globuliny	23.	-	-	1582753	23239	2044906	21708	1502369	22747	1192162	21832	-	-	-	-	-	-
albuminy + globuliny	24.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39783	969	58509	1700
nebílkovinné frakce	25.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34383	1319	72091	2545	89643	3080
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	221953	5199	216171	5023	186719	4486	215161	5158	238090	5719	204593	5018	212156	5272
Součet																	

\* I-VII postupně zvyšující se zastoupení glutathionu-inaktivovaného droždí; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 8: Charakteristiky píků pro srovnání redukčních účinků redukčních činidel; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro srovnání redukčních účinků redukčních činidel															
Pík#	Ret. čas [min]	Mouka + redukční činidlo													
vzorky	Kontrolní vzorek	čistá mouka		L-cystein hydrochlorid monohydrát		L-cystein p.a.		glutathion-inaktivované droždí		L-cystein hydrochlorid monohydrát		L-cystein p.a.		glutathion-inaktivované droždí	
		I								II					
Ret. čas/ Plocha/Výška		Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	3971	195	28528	594	1125638	26002	39283	919	-	-	1024601	22812
gliadiny	17.	17191677	223163	30159284	398802	28181117	391573	30750863	237825	30132991	423008	30605680	422240	34000329	239513
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	963544	21965	647321	16729	1843944	31829	982632	23251	487816	12081	2686629	44697
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	3645095	64617	4170615	74226	705562	19417	5551522	109899	4492611	88375	1463687	22724
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	542448	9092	283995	6062	238090	5719	515633	8536	262354	5748	204593	5018
Součet															

\*Pozn. Vzorek glutathionu-inaktivovaného droždí je uveden v hodnotě 10 krát vyšší, aby byl svým redukčním účinkem srovnatelný s L-cysteinem hydrochloridem monohydrátem a L-cysteinem p.a.

\* I nejnižší zastoupení redukčních činidel

II nejvyšší zastoupení redukčních činidel; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 9: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-askorbové kyseliny; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro L-askorbovou kyselinu																	
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + L-askorbová kyselina													
vzorky		čistá mouka															
Množství L-askorbové kyseliny				I		II		III		IV		V		VI		VII	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	1.	-	-	1776	194	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HMW GS, LMW GS	8.	-	-	7776	913	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	1533656	33340	1296839	29338	1198728	27212	1007419	22270	785241	17658	709810	15363	595009	13717
HMW GS, LMW GS	13.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6961	561	-	-
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	16738914	199047	15056839	176470	14197297	168453	12230028	145874	10506200	125099	9493176	113692	8337896	99334
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	11117662	177644	15837061	296106	25562496	537626	36837240	836899	44815801	1031124	50403295	1185044	57569234	1355540
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	201303	4991	186129	4499	157681	4040	124643	3316	100329	2666	87192	2574	63530	1795
nebílkovinné frakce	29.	-	-	1020	112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Součet																	

\* I -VII postupně zvyšující se zastoupení L-askorbové kyseliny; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 10: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčních činidel (L-cystein p.a. + glutathion-inaktivované droždí); PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro redukční činidla													
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + redukční činidla									
vzorky		čistá mouka											
Množství redukčních činidel				I		II		III		IV		V	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	1.	-	-	-	-	34916	1486	-	-	-	-	-	-
HMW GS, LMW GS	10.	-	-	31238	1273	25073	1086	22511	978	28639	1139	11992	590
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	41621356	426749	43999065	403519	43933543	399906	46637573	425992	46489432	372173
gliadiny	18.	-	-	10447923	169859	11306210	186557	11587581	190967	15018223	226204	14698220	223969
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	-	-	4294836	84097	4409909	89261	5442399	119309	12347937	118119
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	8682901	105228	5167614	84287	5762061	94815	9492926	156584	-	-
albuminy + globuliny	24.	-	-	887924	14039	934750	16246	961719	16614	1131228	20423	1094393	19651
nebílkovinné frakce	25.	-	-	501261	8382	677032	9638	464882	9916	788525	11591	435231	10219
nebílkovinné frakce	26.	-	-	-	-	-	-	216099	6074	-	-	270767	6798
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	607379	11578	364023	6816	360562	6575	380856	6875	360941	6565
Součet													

\* I -V postupně zvyšující se zastoupení kombinací redukčních činidel; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 11: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčních činidel (L-askorbová kyselina + L-cystein p.a.); PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro redukční činidla													
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + redukční činidla									
vzorky		čistá mouka											
Množství redukčních činidel				I		II		III		IV		V	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	10.	-	-	-	-	20567	902	-	-	35606	1354	32592	1252
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	41062	1873	-	-	35048	1336	-	-	-	-
HMW GS, LMW GS	12.	-	-	261846	5884	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	16.	1311719	42430	7943758	91258	6102354	92607	5793160	96946	5417218	88049	5190679	86135
gliadiny	17.	17191677	223163	22460040	271877	23159929	311017	24265083	345618	22013588	315844	21530830	311467
gliadiny	18.	-	-	4548558	83035	5349206	93344	5133558	98291	5464814	95226	5531841	96453
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	31328089	589299	34981213	626055	35953803	691969	37842599	630261	39978285	645153
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
albuminy + globuliny	24.	-	-	-	-	97054	1450	-	-	40075	58	40121	198
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	1665297	37210	255853	6419	178077	4650	248341	6321	232946	6058
Součet													

\* I - V postupně zvyšující se zastoupení kombinací redukčních činidel ; -- v daném čase pík nedetekován



Tab. 12: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčních činidel (L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí); PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro redukční činidla													
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + redukční činidla									
vzorky		čistá mouka											
Množství redukčních činidel				I		II		III		IV		V	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	1408108	30085	1162472	25871	854867	17886	675224	15694	1645518	24472
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	-	-	-	-	27407777	194315	31567117	208364	33925789	238889
gliadiny	18.	-	-	22390622	181022	26377508	194148	-	-	-	-	9953535	170222
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	-	-	-	-	21122838	370390	19768197	334932	23915268	320891
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	23446427	477610	21288832	435679	-	-	-	-	-	-
albuminy + globuliny	24.	-	-	-	-	-	-	-	-	35267	979	43568	1074
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	-	-	-	-	244309	5777	1384819	28861	110770	2973
nebílkovinné frakce	28.	-	-	341862	8019	314157	7562	-	-	-	-	-	-
Součet													

\* I-V postupně zvyšující se zastoupení kombinací redukčních činidel; -- v daném čase pík nedetekován

Z tabulky 13 je zřejmé, že poměr zastoupení glutelinů a gliadinů je vždy vyšší u vzorků s L-askorbovou kyselinou + glutathionu-inaktivovaného droždí. Což znamená, že tato těsta budou mít lepší kvalitu, než těsta s kombinací L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát. Zastoupení albuminů a globulinů je naopak vyšší u vzorků s L-askorbovou kyselinou + L-cysteinem hydrochloridem monohydrátem.

U vzorků se zvyšujícím se zastoupením L-tyrosinu, uvedených v tabulce 14, v 11. minutě bylo detekováno relativně malé množství HMW GS a LMW GS. Největší detekovanou složku činily gliadiny, jejichž podíl byl ve srovnání s neupravenou moukou zvýšen jen nepatrně. Zastoupení albuminů a globulinů detekovaných ve 22. a 23. minutě se také zvyšovalo na úkor množství nebílkovinných frakcí, tudíž oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky došlo ke zvýšení zastoupení albuminů a globulinů, ale naopak ke snížení množství nebílkovinných frakcí.

U vzorků se zvyšujícím se zastoupením L-threoninu nebyly oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky detekovány žádné HMW GS a LMW GS. Sníženo bylo také zastoupení gliadinů detekovaných v 17. minutě a dále i albuminů a globulinů detekovaných v 21. minutě. Naopak bylo zvýšeno množství albuminů a globulinů ve 22. minutě oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky (vysoké zastoupení L-threoninu) na úkor zastoupení nebílkovinných frakcí detekovaných ve 27. minutě (Tab. 15).

Z tabulky 16 vyplývá, že u vzorků s L-tryptofanem bylo v jedenácté minutě detekováno menší množství HMW GS a LMW GS oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky, ale naopak u vysokých dávek L-tryptofanu došlo k velkému zvýšení zastoupení HMW GS a LMW GS detekovaných v 11. a 14. minutě. Také oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky byl zvýšen podíl gliadinů detekovaných v 17. minutě na úkor snížení množství albuminů a globulinů detekovaných v 21.-23. minutě. Bylo také zaznamenáno, oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky, zvýšení zastoupení nebílkovinných frakcí detekovaných ve 27. minutě.

Z tabulky 17 vyplývá, že se zvyšujícím se množstvím L-threoninu klesá zastoupení všech detekovaných bílkovinných frakcí. Nejspíše došlo ke značnému zesíťování glutenu, což se projevilo mj. tak, že u nejvyšší dávky nebylo možno HMW GS a LMW GS z roztoku vyeluovat. U vzorku s L-tryptofanem se se zvyšujícím se množstvím této aminokyseliny posílil podíl glutelinů, gliadinů i nebílkovinných frakcí.

U vzorků se zvyšujícím se zastoupením kombinací redukčního činidla s oxidačním (L-askorbová kyselina + L-threonin) došlo oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky k postupnému snížení zastoupení gliadinů detekovaných v 16. a 17. minutě a dále albuminů a globulinů detekovaných ve 21. minutě a nebílkovinných frakcí detekovaných ve 27. minutě na úkor zvýšení množství HMW GS a LMW GS (Tab. 18).

U vzorků se zvyšujícím se zastoupením kombinací redukčního činidla s oxidačním (L-askorbová kyselina + L-tryptofan) došlo oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky ke zvýšení podílu HMW GS a LMW GS detekovaných v 1. a 3. minutě na úkor snížení množství gliadinů detekovaných v 16. a 17. minutě a dále albuminů a globulinů detekovaných ve 24. minutě. Naopak bylo také, oproti kontrolnímu vzorku čisté mouky, zvýšeno zastoupení u nebílkovinných frakcí detekovaných ve 27. minutě (Tab. 19).

Tab. 13: Charakteristiky píků pro kombinace redukčních činidel; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro kombinace redukčních činidel																	
Pík#	Ret. čas [min]	Mouka + kombinace redukčních činidel															
		AsA+Cys		AsA+ID		AsA+Cys		AsA+ID		AsA+Cys		AsA+ID		AsA+Cys		AsA+ID	
vzorky		I				II				III				IV			
Množství kombinace redukčních činidel																	
Plocha/Výška		Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	41062	1873	1408108	30085	20567	902	1162472	25871	35048	1336	854867	17886	35606	1354	1645518	24472
gliadiny	18.	4548558	83035	22390622	181022	5349206	93344	26377508	194148	5133558	98291	27407777	194315	5464814	95226	9953535	170222
albuminy + globuliny	22.	31328089	589299	23446427	477610	34981213	626055	21288832	435679	35953803	691969	21122838	370390	37842599	630261	23915268	320891
nebílkovinné frakce	28.	1665297	37210	341862	8019	255853	6419	314157	7562	178077	4650	244309	5777	248341	6321	110770	2973
Součet																	

\* Pozn. Vzorek glutathionu-inaktivovaného droždí je uveden v hodnotě 10 krát vyšší, aby byl svým redukčním účinkem srovnatelný s L-cysteinem hydrochloridem monohydrátem a L-cysteinem p.a.

I -IV postupně zvyšující se zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, glutathionu-inaktivovaného droždí; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 14: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-tyrosinu; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro L-tyrosin													
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + L-tyrosin									
vzorky		čistá mouka											
Množství L-tyrosinu				I		II		III		IV		V	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	1153466	23647	1303101	25826	1497724	26421	1235567	24981	2311756	31095
HMW GS, LMW GS	13.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	342705	11179
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	16170678	183515	16624617	190227	17314165	194865	17060158	192913	17734861	200815
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	317367	8262	316097	8248	303148	8024	380556	9378	300807	7874
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	420384	12101	385221	11644	323028	10903	467716	13905	326311	11309
albuminy + globuliny	23.	-	-	23025164	496765	31263023	689546	38438117	840562	47811449	1036849	55283736	1203443
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	187456	4499	192377	4687	181100	4520	170613	4385	171777	4316
Součet													

\* I -V postupně zvyšující se zastoupení L-tyrosinu; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 15: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-threoninu; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro L-threonin															
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + L-threonin											
vzorky		čistá mouka													
Množství L-threoninu				I		II		III		IV		V		VI	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	1.	-	-	-	-	-	-	-	-	10419	379	-	-	-	-
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	18176508	202861	17478929	194987	17064621	189138	16459716	181244	14254739	158566	12673431	140927
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	262371	7466	282169	7713	245813	6940	318314	8895	221780	6095	228343	6026
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	917507	20633	958871	21673	997250	23457	1259125	28083	2467627	43947	3147935	60275
albuminy + globuliny	23.	-	-	843919	15295	780014	14338	842778	16169	658546	13398	-	-	-	-
nebílkovinné frakce	25.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19826	595	-	-
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	1261034	25361	431147	9062	1201281	24092	336099	7183	192121	4307	155178	3571
Součet															

\* I -VI postupně zvyšující se zastoupení L-threoninu; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 16: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení L-tryptofanu; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro L-tryptofan											
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + L-tryptofan							
vzorky		čistá mouka									
Množství L-tryptofanu				I		II		III		IV	V
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	2.	-	-	-	-	20843	456	-	-	-	-
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	2416946	27964	1987892	26782	1332233	23312	5250054	36462
HMW GS, LMW GS	14.	-	-	-	-	-	-	329221	5617	1403002	31065
gliadiny	15.	-	-	-	-	-	-	-	-	1298592	30999
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	17389051	195587	16857310	191005	17962080	195198	22223724	201785
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	291029	8019	283837	7703	283932	7762	150766	5224
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	507873	12195	472610	11561	428450	10659	90262	3916
albuminy + globuliny	23.	-	-	1247303	21427	1058419	18569	968469	17189	920361	15736
nebílkovinné frakce	25.	-	-	221830	3342	172429	2774	160091	2721	188656	3281
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	164809416	2465446	178095537	2628549	206674306	2975047	258460190	3500849
Součet											

\* I -V postupně zvyšující se zastoupení L-tryptofanu; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 17: Charakteristiky píků pro srovnání oxidačních účinků oxidačních činidel; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro srovnání oxidačních účinků oxidačních činidel															
Pík#	Ret. čas [min]	Mouka + oxidační činidlo													
vzorky		Kontrolní vzorek		L-threonin		L-tryptofan		L-threonin		L-tryptofan		L-threonin		L-tryptofan	
		čistá mouka		I				II				III			
Ret. čas/Plocha/Výška		Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	-	-	1332233	23312	10419	379	5250054	36462	-	-	3385932	28457,5
gliadiny	17.	17191677	223163	17064621	189138	17962080	195198	16459716	181244	22223724	201785	14254739	158566	16803166	172828
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	245813	6940	283932	7762	318314	8895	150766	5224	221780	6095	296068	6942,5
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	1201281	24092	206674306	2975047	336099	7183	258460190	3500849	192121	4307	345772332	3988431
Součet															

\* I -III postupně zvyšující se zastoupení L-threoninu, L-tryptofanu; -- v daném čase pík nedetekován

Tab. 18: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčního činidla s oxidačním (L-askorbová kyselina + L-threonin);

Tabulka píků pro kombinaci redukčního činidla s oxidačním													
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + kombinace redukčního činidla s oxidačním									
vzorky		čistá mouka											
Množství redukčního činidla s oxidačním				I		II		III		IV		V	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	4.	-	-	-	-	-	-	-	-	2834	459	-	-
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	341685	6325	577464	11178	539523	10710	396377	8574	292495	6561
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	11451817	133133	10110494	118759	9066565	106560	8192872	96896	6834825	80911
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	23088847	436881	22175181	408427	20170959	352398	20257168	341394	19110783	305797
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	109026	2649	88908	2226	68716	1802	56616	1527	37188	1057
Součet													

\* I -V postupně zvyšující se zastoupení kombinace redukčního činidla s oxidačním; -- v daném čase pík nedetekován



Tab. 19: Charakteristiky píků pro jednotlivé zastoupení kombinací redukčního činidla s oxidačním (L-askorbová kyselina + L-tryptofan); PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro kombinaci redukčního činidla s oxidačním											
Pík#		Kontrolní vzorek		Mouka + kombinace redukčního činidla s oxidačním							
vzorky		čistá mouka									
Množství redukčního činidla s oxidačním				I		II		III		IV	
Ret. čas/Plocha/Výška	Ret. čas [min]	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	1.	-	-	-	-	157618	3598	-	-	-	-
HMW GS, LMW GS	3.	-	-	-	-	-	-	114604	2483	99927	2256
HMW GS, LMW GS	11.	3023280	39284	3766608	41289	797912	10393	310968	7339	291849	6725
gliadiny	16.	1311719	42430	-	-	324338	11038	304103	9773	-	-
gliadiny	17.	17191677	223163	11427146	137050	4815164	61975	4247883	55438	4146924	50201
albuminy + globuliny	21.	391037	10088	21652285	457919	9584992	208045	8850443	185370	7989351	156910
albuminy + globuliny	22.	2428160	24069	-	-	-	-	-	-	-	-
albuminy + globuliny	24.	-	-	171317	5943	29059	1318	29806	1325	87485	4068
nebílkovinné frakce	25.	-	-	586399	16939	443469	12582	559349	15713	742440	20000
nebílkovinné frakce	27.	614384	14079	295959595	3926281	247589204	3724790	276924797	3929368	304214466	3961467
Součet											

\* I-IV postupně zvyšující se zastoupení kombinace redukčního činidla s oxidačním; -- v daném čase pík nedetekován

Z tabulky 20 je zřejmé, že lepší schopnost vyeluovat složky glutelinů, gliadinů a albuminů a globulinů byla u vzorků s kombinací L-askorbová kyselina + L-threonin. Větší poměr nebílkovinných frakcí je patrný u vzorků s L-askorbovou kyselinou + L-tryptofanem. Můžeme tedy říci, lepší oxidační účinky na těsto bude mít kombinace L-askorbová kyselina + L-tryptofan, kdy docházelo při vyšších zastoupení L-tryptofanu k většímu síťování glutenu, a tudíž nemožnosti vyeluovat HMW a LMW složky z roztoku.

Tab. 20: Charakteristiky píků pro kombinace redukčního činidla s oxidačním; PDA Ch 214 nm 4nm

Tabulka píků pro kombinace redukčního činidla s oxidačním																	
Pík#	Ret. čas [min]	Mouka + kombinace redukčního činidla s oxidačním															
vzorky		AsA+Thr		AsA+Try		AsA+Thr		AsA+Try		AsA+Thr		AsA+Try		AsA+Thr		AsA+Try	
Množství kombinace redukčního činidla s oxidačním		I				II				III				IV			
Plocha/ Výška		Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška	Plocha	Výška
HMW GS, LMW GS	11.	341685	6325	3766608	41289	577464	11178	797912	10393	539523	10710	310968	7339	396377	8574	291849	291849
gliadiny	17.	11451817	133133	11427146	137050	10110494	118759	4815164	61975	9066565	106560	4247883	55438	8192872	96896	4146924	4146924
albuminy + globuliny	21.	23088847	436881	21652285	457919	22175181	408427	9584992	208045	20170959	352398	8850443	185370	20257168	341394	7989351	7989351
nebílkovinné frakce	27.	109026	2649	295959595	3926281	88908	2226	247589204	3724790	68716	1802	276924797	3929368	56616	1527	304214466	304214466
Součet																	

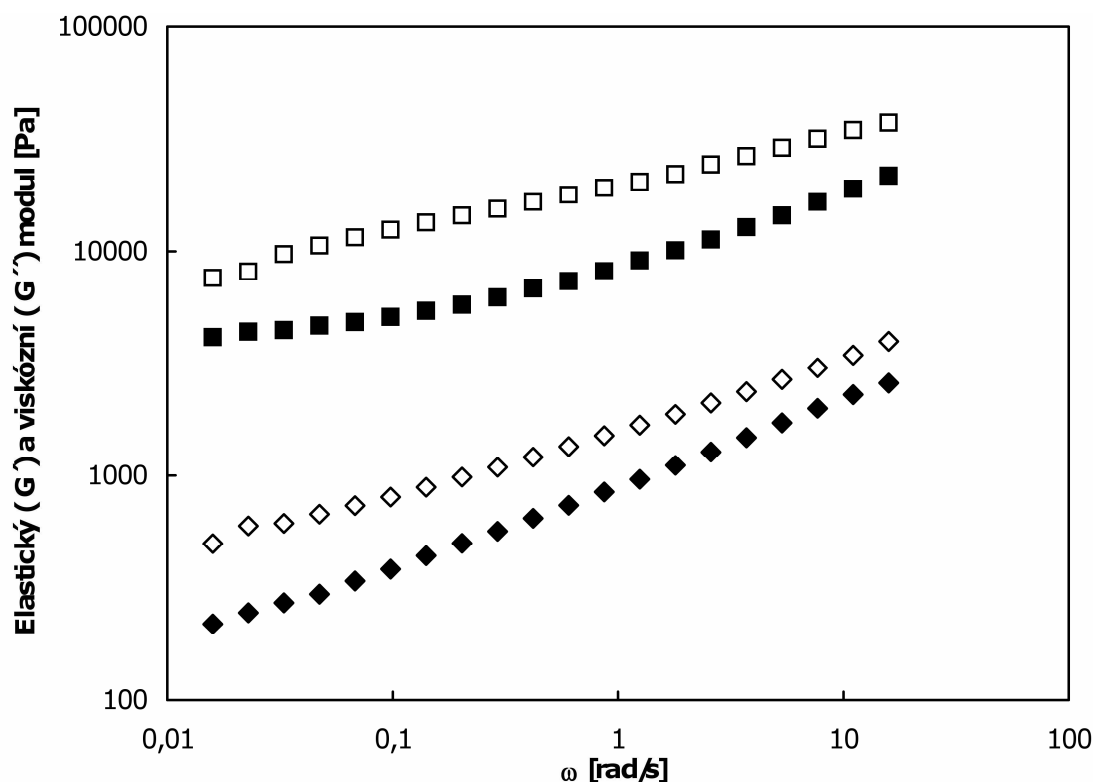
\* I-IV postupně zvyšující se zastoupení L-threoninu, L-tryptofanu; -- v daném čase pík nedetekován

### 6.3 Dynamická oscilační reometrie

Pomocí dynamické oscilační reometrie, která sloužila jako základ celé práce, byl popsán vliv redukčních a oxidačních činidel či jejich kombinací na viskoelastické vlastnosti těsta.

Rozdíl ve viskoelastických vlastnostech těsta a z něj vypraného lepku je znázorněn na následujícím obrázku.

Na obrázku 5 můžeme vidět závislost elastického ( $G'$ ) a viskózního ( $G''$ ) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ). Z daného obrázku lze konstatovat, že s rostoucí frekvencí roste jak elastický ( $G'$ ) tak viskózní ( $G''$ ) modul u kontrolního těsta. U lepku (glutenu), který byl vyprán z tohoto těsta, s rostoucí frekvencí také rostou oba moduly, ale jejich hodnoty jsou mnohem nižší. Lze tedy říci, že lepek (gluten) má jiné viskoelastické vlastnosti, tj. menší pevnost i pružnost oproti kontrolnímu těstu, a z trendu bodů je dále vidět, že oba moduly jsou více závislé na frekvenci než u kontrolního těsta.

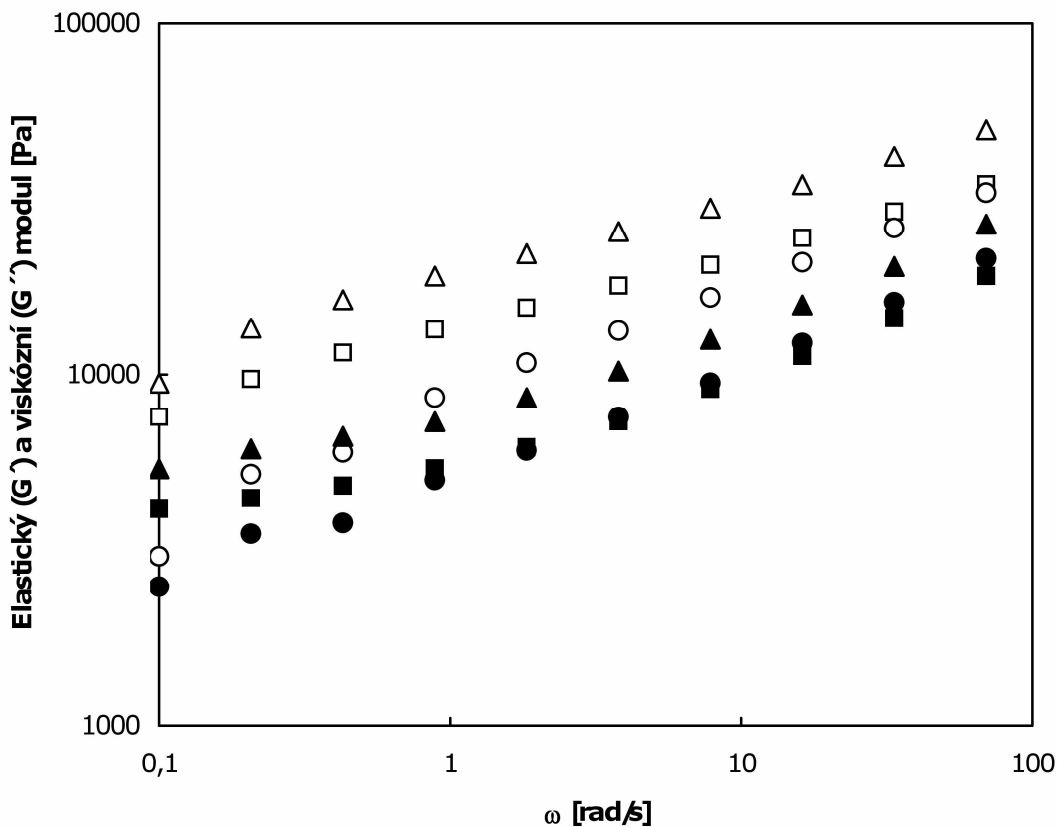


Obr. 5: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta ( $\square$ ,  $\blacksquare$ ) lepku (glutenu) ( $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ).

Na úpravu viskoelastických vlastností pšeničné mouky byly vybrány jak redukční tak oxidační činidla, či jejich kombinace, a byl posuzován jejich vliv na viskoelastické vlastnosti připravených těst. Redukční činidla se používají na zvýšení tažnosti těsta, přidávají se většinou do mouk s kvalitním lepkem, oxidační činidla se naopak používají na zvýšení elasticity a pevnosti těsta a přidávají se většinou do mouk s poškozeným lepkem.

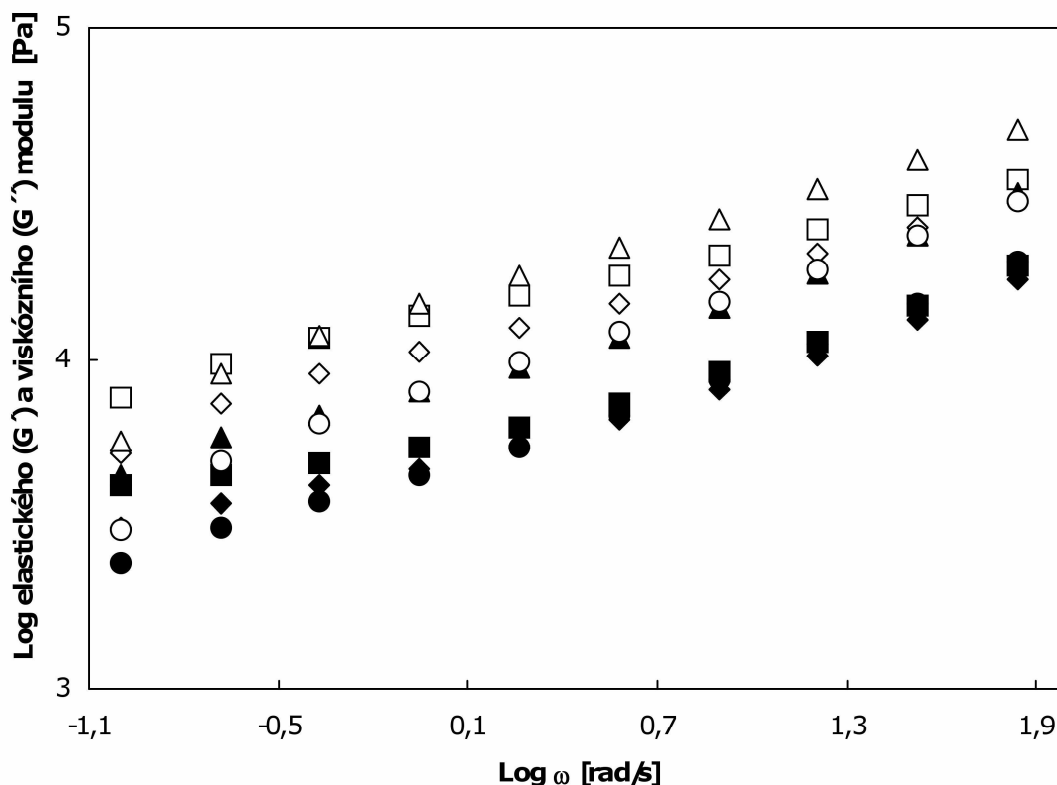
Rozdílný účinek redukčního a oxidačního činidla na viskoelastické vlastnosti těsta lze vidět na obrázku 6.

Jako redukční činidlo byl vybrán L-cystein hydrochlorid monohydrát v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m a jako oxidační činidlo L-askorbová kyselina (účinek dehydroaskorbové kyseliny) v zastoupení  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m. Byly vybrány tedy nejvyšší zastoupení daných činidel zkoumané dynamickou oscilační reometrií, kdy redukční činidlo, díky silnému účinku, je nutno přidávat v podstatně menších zastoupení. Z obrázku je patrné, že u L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu klesá elastický modul ( $G'$ ), zatímco viskózní ( $G''$ ) se téměř nemění v porovnání s kontrolním těstem. Naopak přídavek L-askorbové kyseliny jako oxidačního činidla způsobuje zvýšení tuhosti (pevnosti) těsta, což se projevuje vzrůstem obou modulů oproti kontrolnímu těstu.



Obr. 6: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta ( $\square$ ,  $\blacksquare$ ) a těsta s redukčním činidlem jako je L-cystein hydrochlorid monohydrát v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\circ$ ,  $\bullet$ ) a oxidačním činidlem L-askorbovou kyselinou (účinek dehydroaskorbové kyseliny) v zastoupení  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\triangle$ ,  $\blacktriangle$ ).

Změny elastického a viskózního modulu u těst s přidavkem redukčních činidel o stejném zastoupení jsou popsány na obrázku 7. Do těsta byla přidávána redukční činidla jako L-cystein hydrochlorid monohydrát, L-cystein p.a. a glutathion-inaktivované droždí. Z obrázku je patrné, že nejsilnějším redukčním činidlem je L-cystein hydrochlorid monohydrát, kdy se zvyšující se frekvencí dochází u L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu k největšímu poklesu elastického modulu ( $G'$ ) oproti kontrolnímu těstu, a naopak k nárustu viskózního modulu ( $G''$ ). Slabým redukčním činidlem je glutathion-inaktivované droždí, u kterého viskózní modul ( $G''$ ) roste téměř stejně rychle jako u L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, ale elastický modul ( $G'$ ) klesá pomaleji (Je nutné poznamenat, že glutathionu-inaktivovaného droždí je nutné přidávat v 10krát větších zastoupeních než L-cystein hydrochlorid monohydrát, abychom mohli porovnávat jejich redukční účinek na těsto.). Naopak, přidavek L-cysteinu p.a. do těst ukázal jiný účinek.

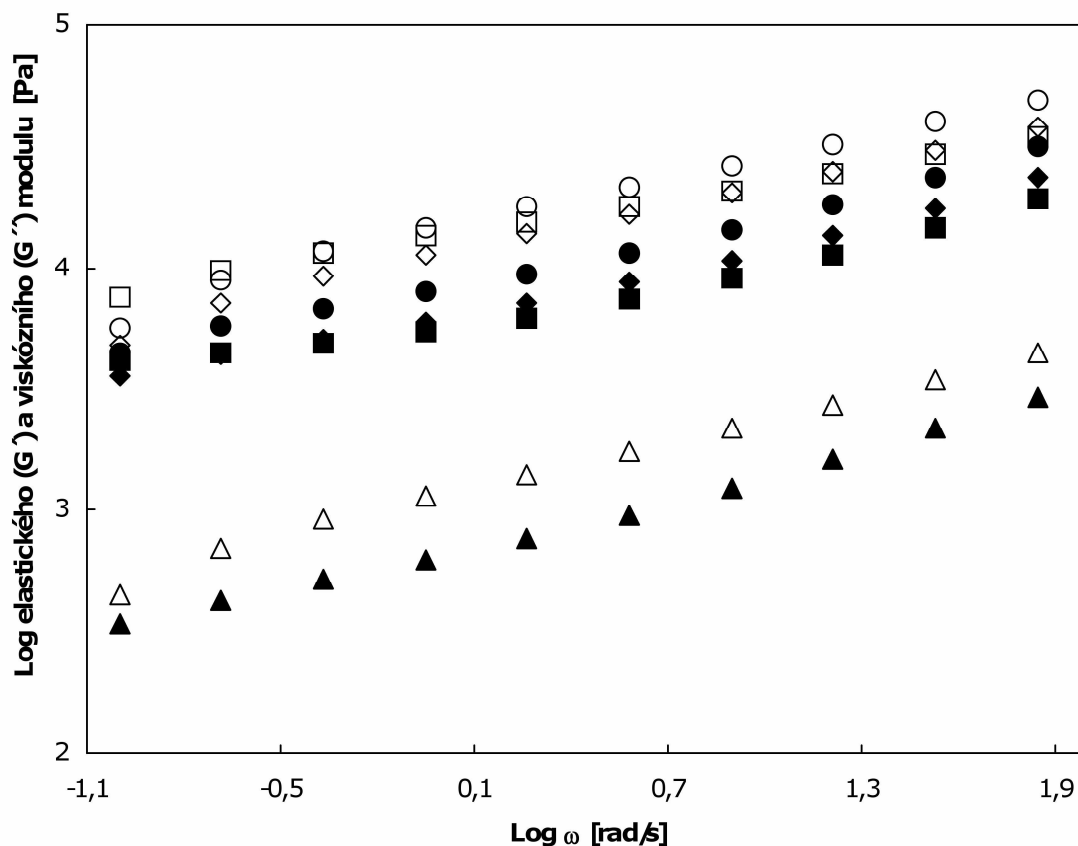


Obr. 7: Závislost elastickeho ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskozniho ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta (□, ■) a těsta s různými redukčními činidly jako je glutathion-inaktivované droždí (◇, ◆), L-cystein p.a. (△, ▲) a L-cystein hydrochlorid monohydrát (○, ●). Zastoupení aditiv:  $3,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m.

Změny elastickeho ( $G'$ ) a viskozniho ( $G''$ ) modulu v závislosti na zastoupení L-cysteinu p.a. ukazuje obrázek 8.

Z obrázku je patrné, že jak elastickeý ( $G'$ ), tak viskozni ( $G''$ ) modul jsou o hodně nižší než u kontrolního těsta do zastoupení  $1,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m. Při vyšších zastoupeních, tj.  $2,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m a výše dochází naopak k postupnému nárůstu nejen viskozniho modulu, ale také elastickeho modulu, v porovnání s kontrolním těstem. Je si ale třeba povšimnout, že vzrůst viskozniho modulu je stále větší než elastickeho modulu, a tak poměr modulů vyjadřující  $\text{tg } \delta$  ( $\text{tg } \delta = G''/G'$ ) při vyšších zastoupeních L-cysteinu p.a. představuje menší hodnotu  $\text{tg } \delta$  než při téměř zastoupení u L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. Je to zřejmě tím, že L-cystein p.a. zvyšuje pravděpodobnost tvorby většího počtu disulfidických můstků při středních a vyšších zastoupeních se sirnými aminokyselinami (cysteinem) v bílkovinách. Proto předpokládáme, že thiolová skupina v bílkovinném řetězci může být blokována menší molekulou cysteinu, a tím zabrání dalším tvorbám vyšších makromolekulárních řetězců spojených slabými vazebnými interakcemi (v tomto případě především thiolovými

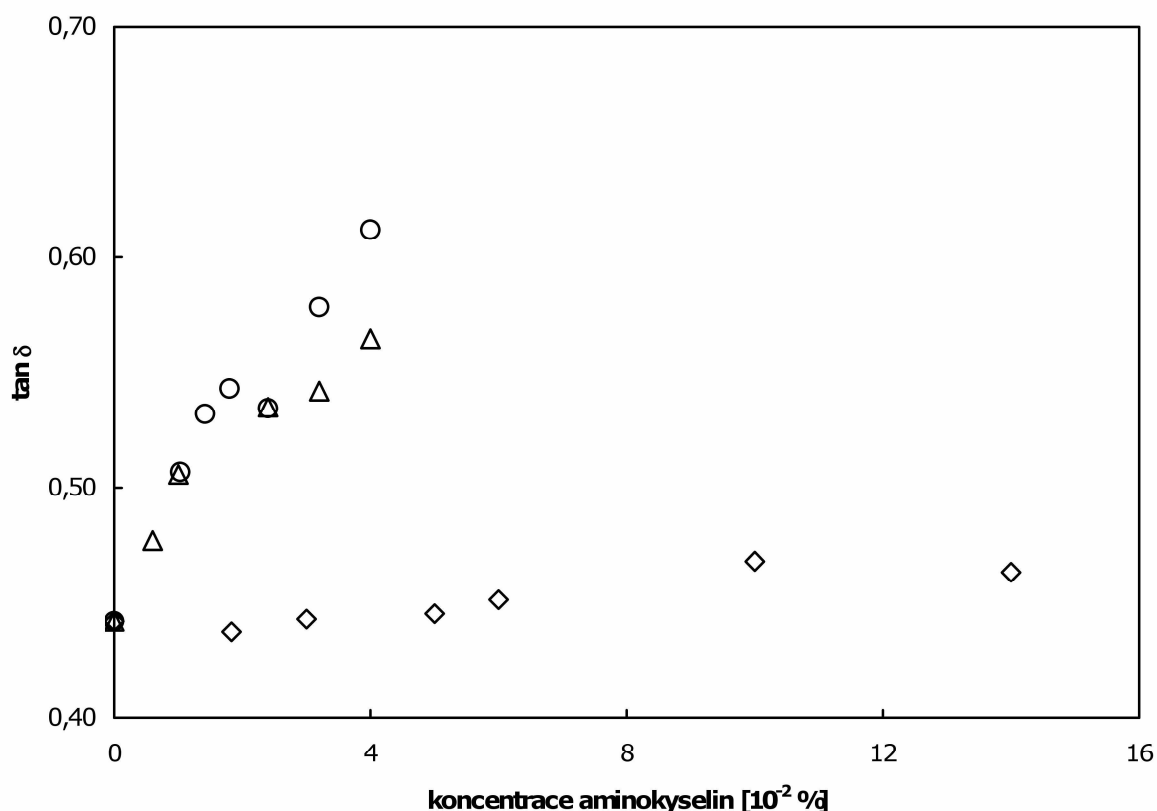
můstky). U L-cysteinu p.a. tak začíná docházet ke snižování jeho redukčních účinků (viz. Obr. 9) a dále se to může projevit také tvorbou cystinu.



Obr. 8: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci u kontrolního těsta ( $\square$ ,  $\blacksquare$ ) a těsta s L-cysteinem p.a. v zastoupení  $1,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\triangle$ ,  $\blacktriangle$ ),  $2,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ),  $3,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m ( $\circ$ ,  $\bullet$ ).

Obrázek 9 znázorňuje koncentrační závislost redukčních účinků jednotlivých aminokyselin, jako je L-cystein hydrochlorid monohydrát, glutathion-inaktivované droždí a L-cystein p.a. Přídavky L-cysteinu p.a. a L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ukazují shodný vliv na změkčení těsta do zastoupení  $2,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m. Ve vyšších zastoupeních došlo u L-cysteinu p.a. k poklesu redukčních účinků oproti L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, díky změně poměru obou modulů (viz. Obr. 8). Přídavek glutathionu-inaktivovaného droždí ukazuje relativně slabý redukční účinek (jde o slabé redukční činidlo, které rozbíjí disulfidické můstky pomaleji). Nejsilnějším redukčním činidlem je tedy L-cystein hydrochlorid monohydrát.

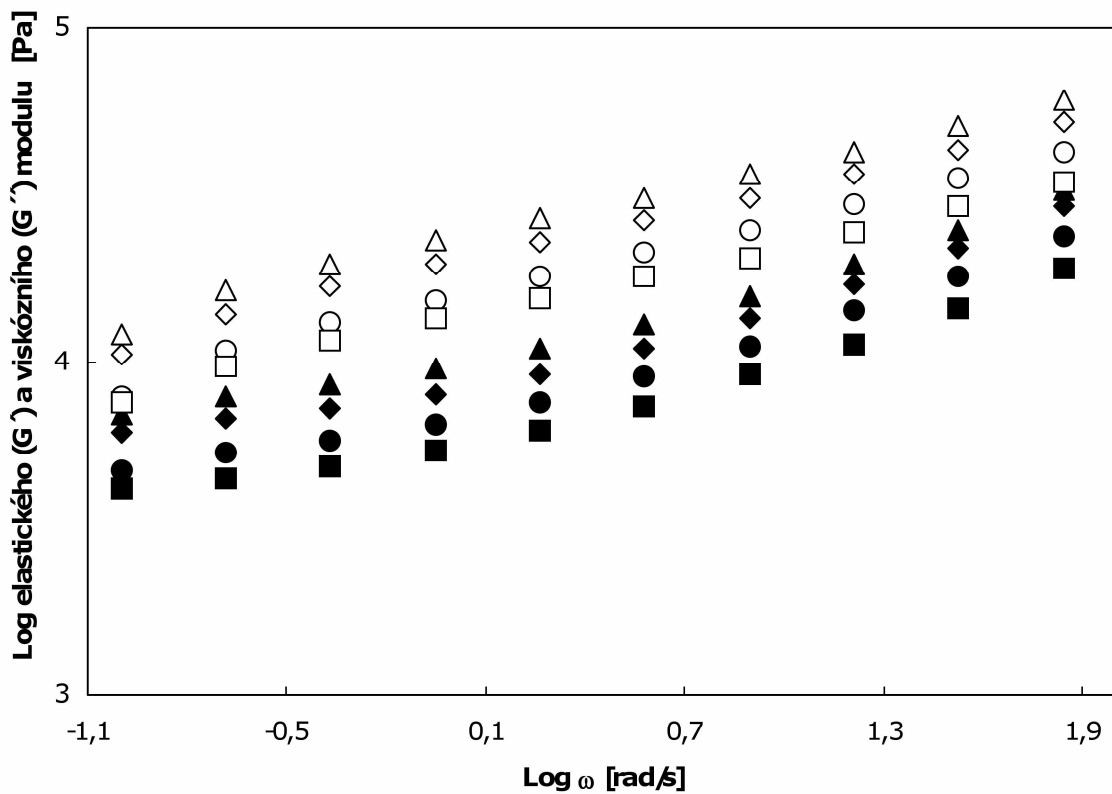




Obr. 9: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu (O), L-cysteinu p.a. ( $\Delta$ ) a glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\diamond$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1$  rad/s.

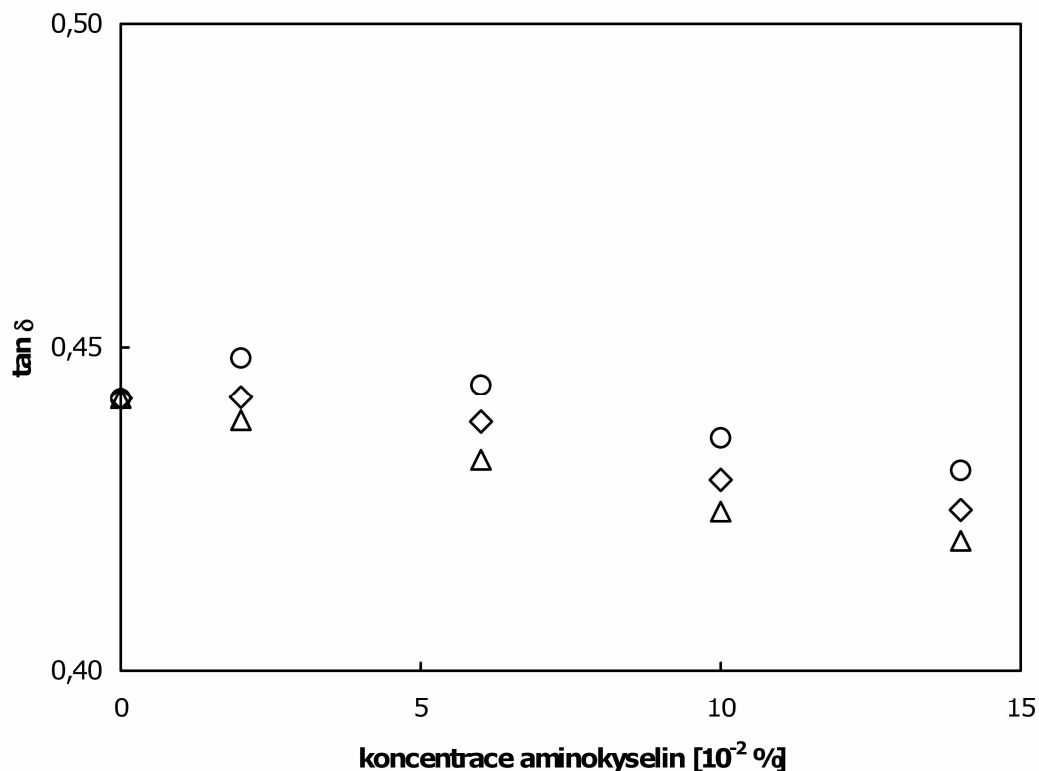
Dalšími aditivy přidávanými do těst jsou oxidační činidla, která je nutno přidávat ve vyšších zastoupeních, a která jsou naopak schopna posilovat glutenovou strukturu v těstě.

Rozdíly ve zpevnění těst s přidavkem L-tryptofanu, L-tyrosinu a L-threoninu znázorňuje obrázek 10. Největší zpevňující efekt na těsto, projevující se vzrůstem obou viskoelastických modulů, měl L-tryptofan a nejmenší L-tyrosin. L-tyrosin je schopný zpevňovat disulfidické můstky pomocí nekovalentních vazeb a u L-threoninu a L-tryptofanu předpokládáme, že způsobují zpevnění (větší stabilitu) glutenové struktury pomocí vodíkových můstků.



Obr. 10: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci  $\omega = 1 \text{ rad/s}$  u kontrolního těsta (□, ■) a těsta s různými oxidačními činidly jako je L-threonin (◇, ◆), L-tryptofan (△, ▲) a L-tyrosin (○, ●). Zastoupení aditiv:  $14,0 \cdot 10^{-2} \% \text{ m/m}$ .

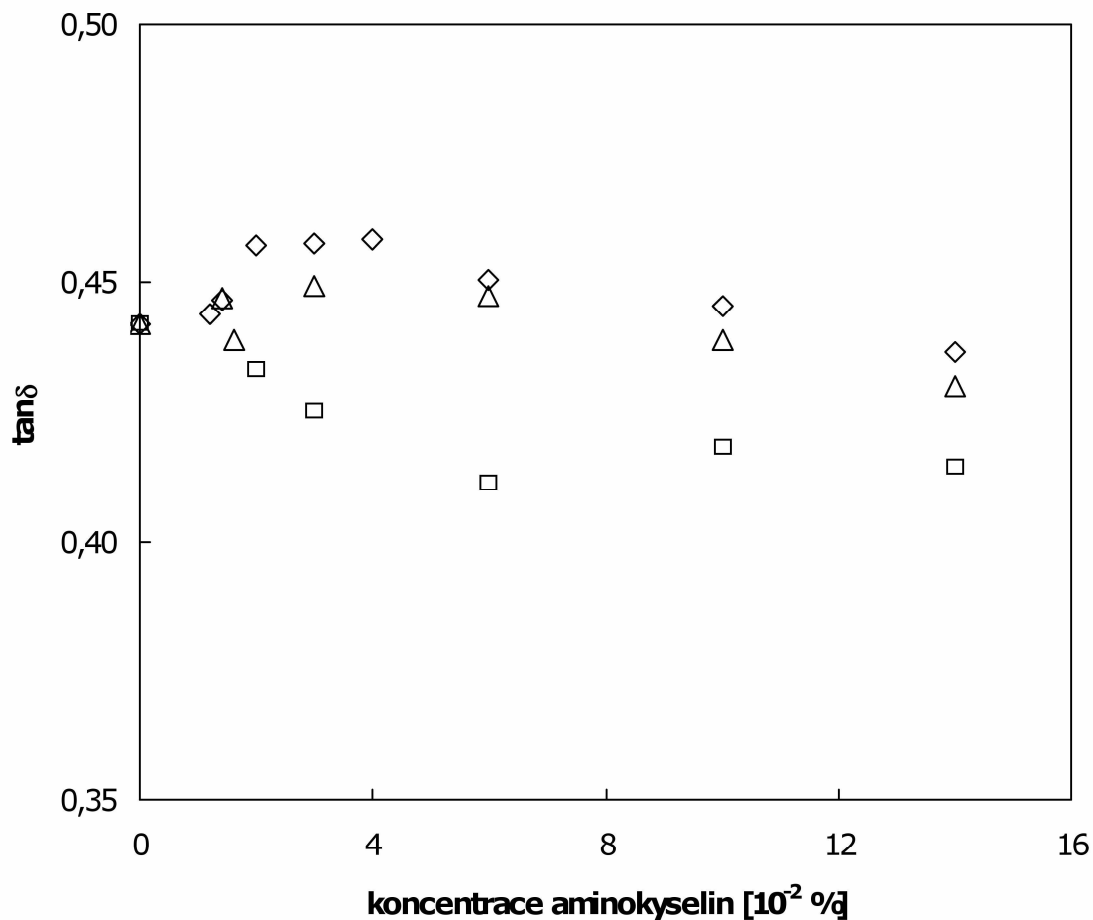
Koncentrační účinek oxidačních činidel ukazuje obrázek 11.



Obr. 11: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-threoninu ( $\diamond$ ), L-tryptofanu ( $\triangle$ ) a L-tyrosinu ( $\circ$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1$  rad/s.

Z obrázku jsou patrné malé rozdíly mezi zpěvnujícími účinky na těsto u přídatných látek ve zkoumaných zastoupeních. Lze vidět, že L-threonin a L-tryptofan jsou schopni lehce zpevňovat těsto ve všech zastoupeních, přičemž L-tryptofan o něco silněji. L-tyrosin byl nejslabším oxidačním činidlem, zpevňoval těsto pouze ve vyšších zastoupeních.

Efekt oxidačních činidel jako jsou L-askorbová kyselina (účinek dehydroaskorbové kyseliny), L-tryptofan a L-threonin na těsto popisuje obrázek 12. Nejsilnější oxidační účinek na těsto měla L-askorbová kyselina (účinek dehydroaskorbové kyseliny) a nejslabším oxidovadlem byl naopak L-threonin.



Obr. 12: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení různých oxidačních činidel jako je L-threonin ( $\diamond$ ), L-tryptofan ( $\triangle$ ) a L-askorbová kyselina (dehydroaskorbová kyselina) ( $\square$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1 \text{ rad/s}$ .

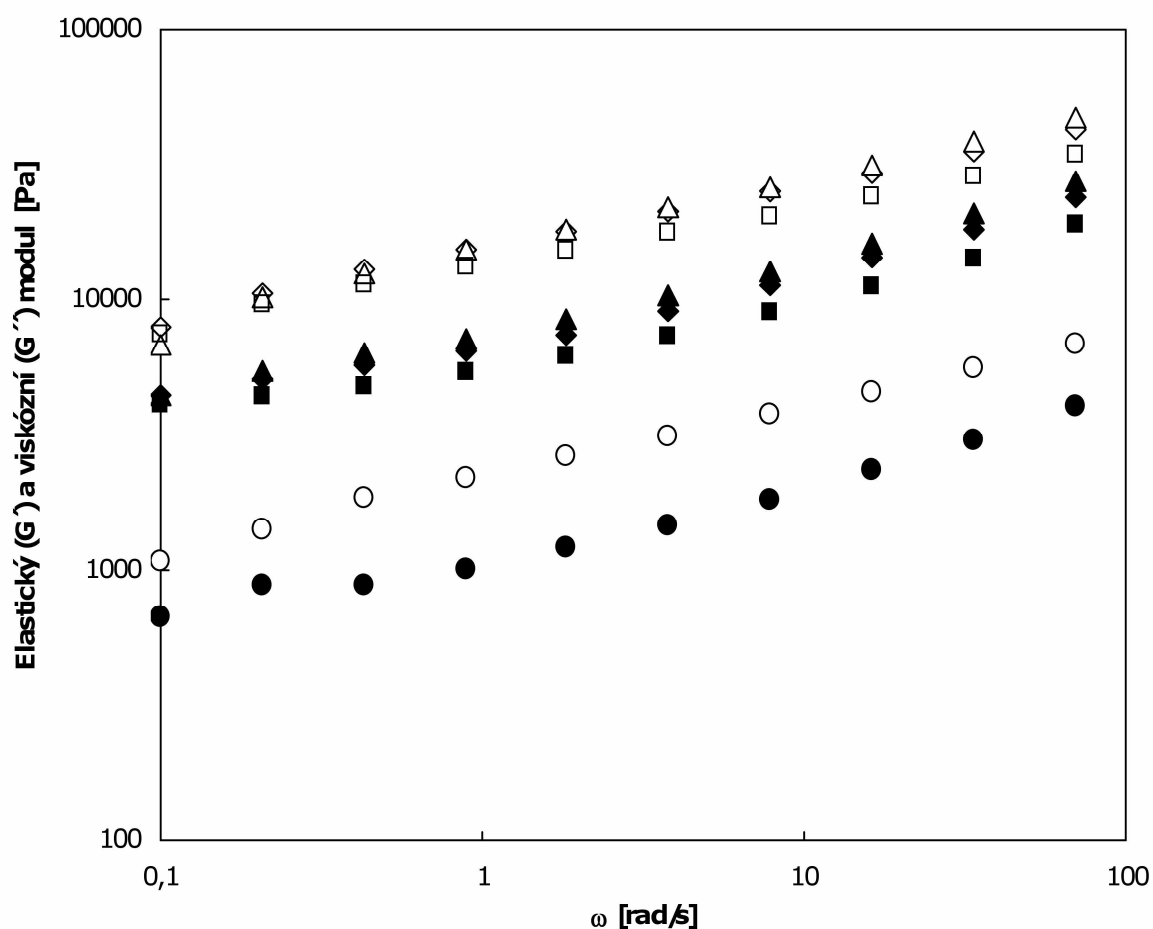
Aminokyseliny jako jsou L-cystein hydrochlorid monohydrát, L-cystein p.a. a dále kyselina L-askorbová nachází samostatně spíše využití při úpravě pšeničné mouky. Naopak vhodnou kombinací redukčního činidla s redukčním činidlem či redukčního činidla s oxidačním činidlem dochází ke zlepšení nejen kvalitativních parametrů mouky, ale i konečných pekárenských výrobků.

Právě vhodnou kombinací redukčního činidla s redukčním činidlem jako jsou L-cystein p.a. a glutathion-inaktivované droždí dochází nejen ke zvýšení tažnosti těsta, ale také k zachování většího objemu finálních pekárenských výrobků a jejich lepší pórovitosti a vláčnosti.

Vliv redukčních činidel jako jsou L-cystein p.a. a glutathion-inaktivované droždí a také jejich kombinace v porovnání s kontrolním těstem je znázorněn na obrázcích 13 a 14.

Obrázek 13 popisuje schopnost redukčních činidel účinkovat již při jejich malých zastoupeních ( $0,6 \cdot 10^{-2}$  % m/m,  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m). Znázorňuje také redukční účinek L-cysteinu p.a. a glutathionu-inaktivovaného droždí při téměř

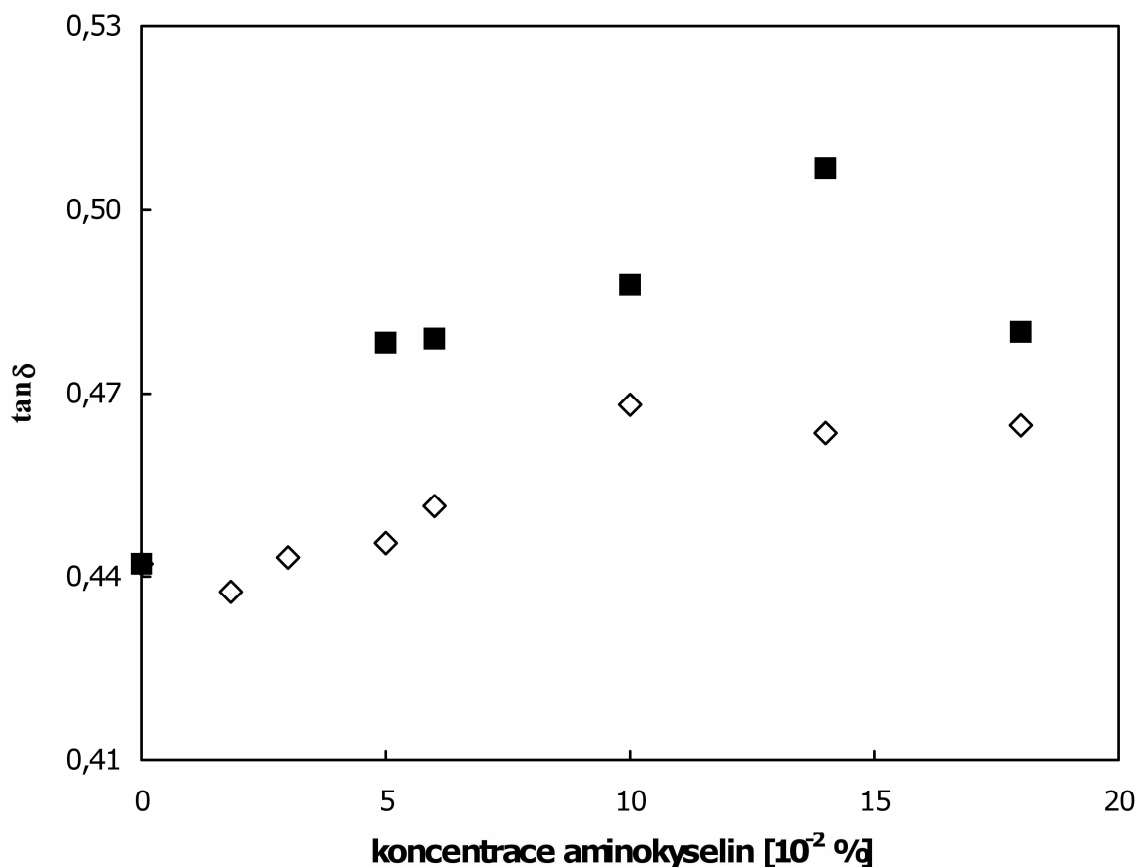
zastoupení (kdy glutathionu-inaktivovaného droždí se musí přidávat desetkrát více, aby jejich redukční účinek byl porovnatelný) a dále redukční účinek kombinace těchto dvou činidel. Při daném přídávku L-cysteinu p.a., jsou oba moduly, tj. elastický ( $G'$ ) a viskózní ( $G''$ ), o hodně nižší než moduly kontrolního těsta, což svědčí o jeho silném redukčním účinku. Naopak u glutathionu-inaktivovaného droždí elastický modul ( $G'$ ) i viskózní modul ( $G''$ ) oproti kontrolnímu těstu mírně vzrůstá. Kombinovaný účinek těchto dvou aminokyselin na viskoelastické vlastnosti těsta způsobil, že těsta byla dostatečně elastická a pružná, spíše podobná viskoelastickým vlastnostem těsta s přídávkem glutathionu-inaktivovaného droždí, a pečárenské výrobky (bulky) měly dobrý objem a pórovitost.



Obr. 13: Závislost elastického ( $G'$ ) (prázdné symboly) a viskózního ( $G''$ ) (plné symboly) modulu na úhlové frekvenci ( $\omega$ ) u kontrolního těsta ( $\square$ ,  $\blacksquare$ ) a těsta s různými redukčními činidly jako je glutathion-inaktivované droždí v zastoupení  $6,0 \cdot 10^{-2} \% m/m$  ( $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ), L-cystein p.a.  $0,6 \cdot 10^{-2} \% m/m$  ( $\circ$ ,  $\bullet$ ) a L-cystein p.a.  $0,6 \cdot 10^{-2} \% m/m$  + glutathion-inaktivované droždí v zastoupení  $10,0 \cdot 10^{-2} \% m/m$  ( $\triangle$ ,  $\blacktriangle$ ).

Obrázek 14 ukazuje závislost fázového úhlu na zastoupení redukčních činidel a jejich kombinace. Z obrázku je patrné, že přídavek glutathionu-inaktivovanému droždí k malé dávce L-cysteinu p.a. způsobil intenzivnější změkčení těsta v porovnání s použitím pouze glutathionu-inaktivovaného droždí. Nárůst v závislosti dokladuje schopnost redukčních činidel rozbít disulfidické vazby.

L-cystein p.a. způsobuje větší změkčení těsta než glutathion-inaktivované droždí. Na druhé straně, objem pečárenských výrobků je vyšší s použitím glutathionu-inaktivovaného droždí. Vybrané zastoupení L-cysteinu p.a. ( $0,6 \cdot 10^{-2} \% \text{ m/m}$ ) a glutathionu-inaktivovaného droždí ( $5,0 \cdot 10^{-2} - 18,0 \cdot 10^{-2} \% \text{ m/m}$ ) může poskytnout těsta s vyrovnanými viskoelastickými vlastnostmi a zároveň dobré vlastnosti konečných pečárenských produktů. Je také nutno zmínit, že kombinace účinku aminokyselin může také přinést ekonomický zisk.

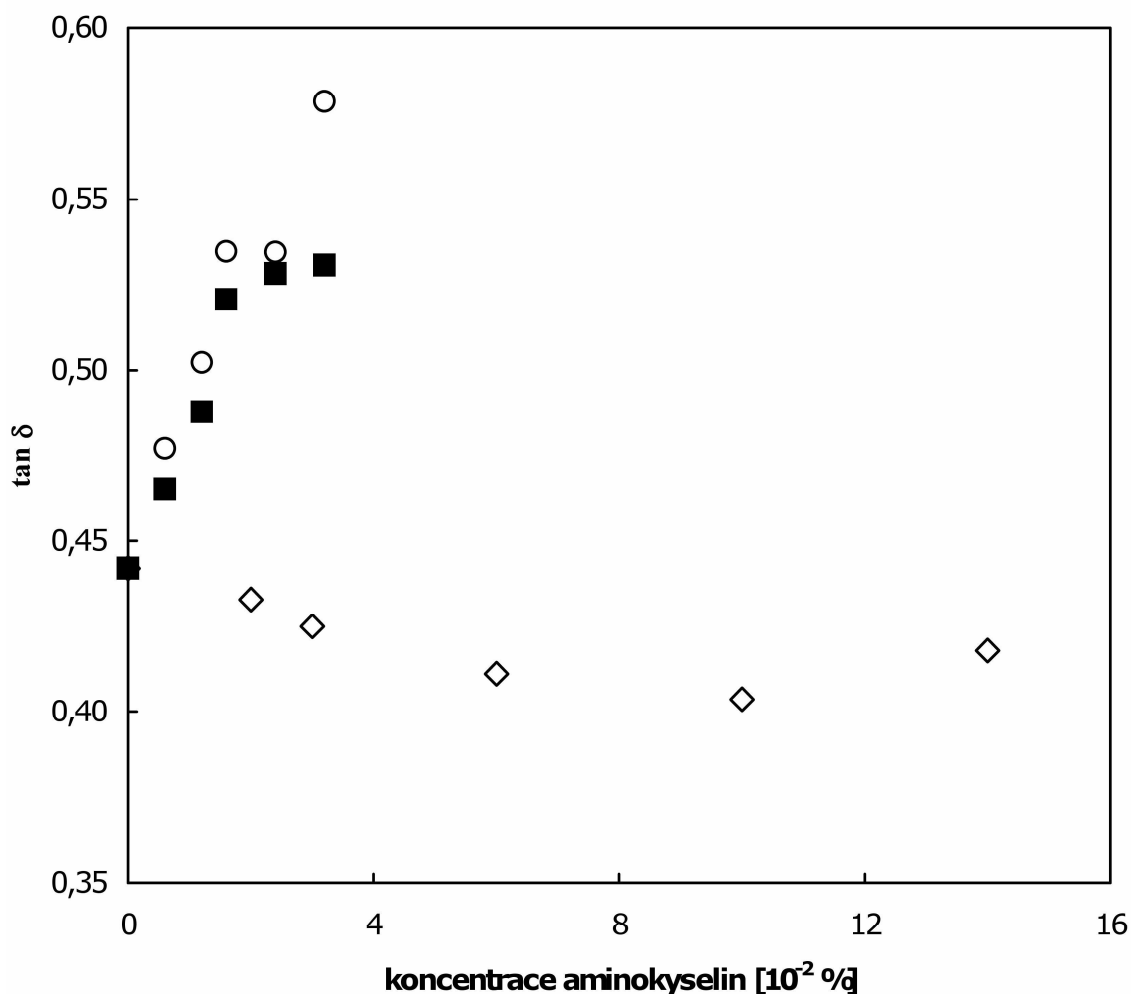


Obr. 14: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení redukčních činidel jako je glutathion-inaktivované droždí ( $\diamond$ ) a kombinaci L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\blacksquare$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1 \text{ rad/s}$ .

Oxidační účinek L-askorbové kyseliny (účinek dehydroaskorbové kyseliny), redukční účinek L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a jejich kombinace na těsto je znázorněn na obrázku 15. Z obrázku je vidět závislost 2 redukčních činidel, kdy jedním je kyselina L-askorbová, která je nestabilní a v těstě se

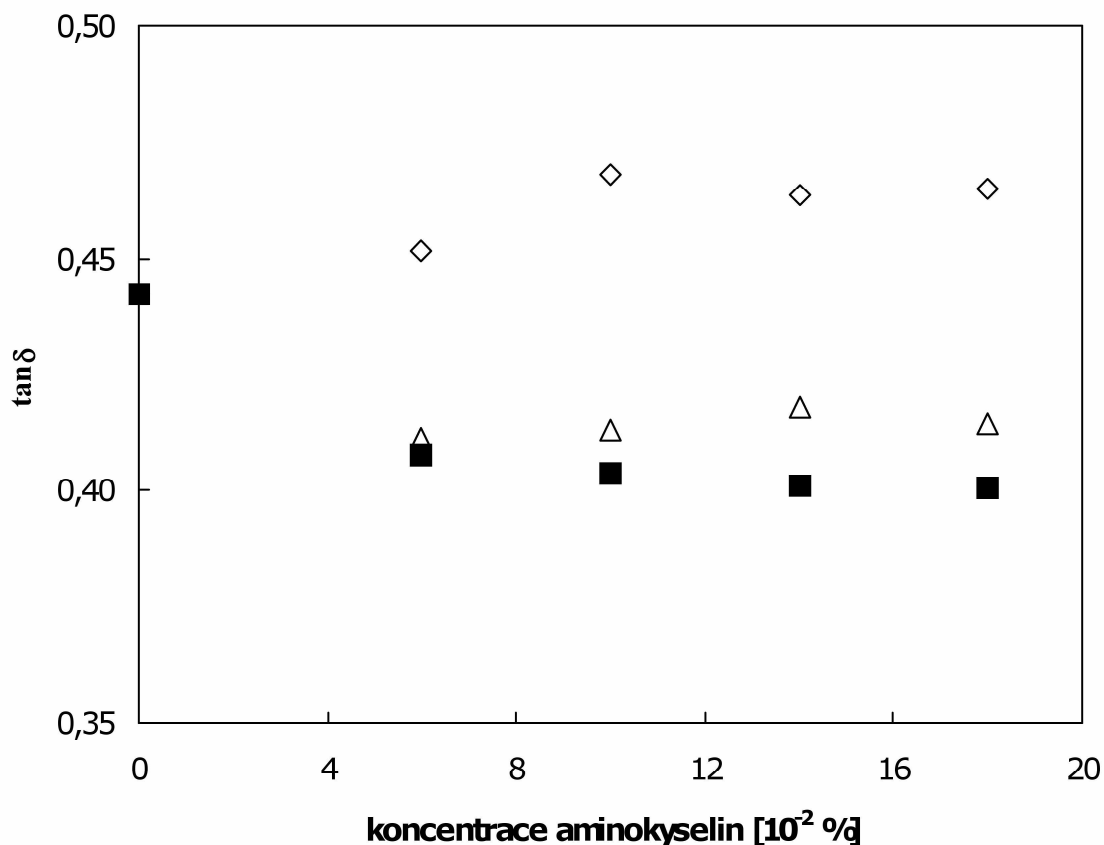
přeměňuje na kyselinu dehydroaskorbovou, která má nejspíše oxidační účinek na těsto.

Ke stejnému minimálnímu zastoupení L-askorbové kyseliny byl přidáván ve zvyšujícím se zastoupení L-cystein hydrochlorid monohydrát. Z obrázku je patrné, že tyto 2 činidla spolu reagovaly tak, že se snížila redukční schopnost L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu díky účinku L-askorbové kyseliny. Těsto se tudíž stalo více elastičtější než při samotném účinku L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, a tak trend bodů vyjadřující kombinaci L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu leží níže než trend bodů vyjadřující účinek samotného L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. Tato směs redukčních činidel také dává výrobky o větším objemu.



Obr. 15: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ( $\circ$ ), L-askorbové kyseliny ( $\diamond$ ) a kombinaci L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ( $\blacksquare$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1 \text{ rad/s}$ .

Účinek další kombinace redukčních činidel znázorňuje obrázek 16. Tentokrát ke stejnému minimálnímu zastoupení L-askorbové kyseliny (účinek dehydroaskorbové kyseliny) je přidáváno postupně větší zastoupení redukčního činidla, glutathionu-inaktivovaného droždí. Obrázek 16 ukazuje, že glutathion-inaktivované droždí reagoval s kyselinou L-askorbovou tak, že výsledný účinek na těsto byl oxidační. Je to nejspíše způsobeno vlivem glutamové kyseliny, která je jednou z hlavních aminokyselin obsažených v glutathionu-inaktivovaném droždí a je schopna reagovat s L-askorbovou kyselinou, tvořit vazby, a tím způsobit převládající oxidační efekt na těsto.



Obr. 16: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\diamond$ ), L-askorbové kyseliny ( $\triangle$ ) a kombinaci L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí ( $\blacksquare$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1 \text{ rad/s}$ .

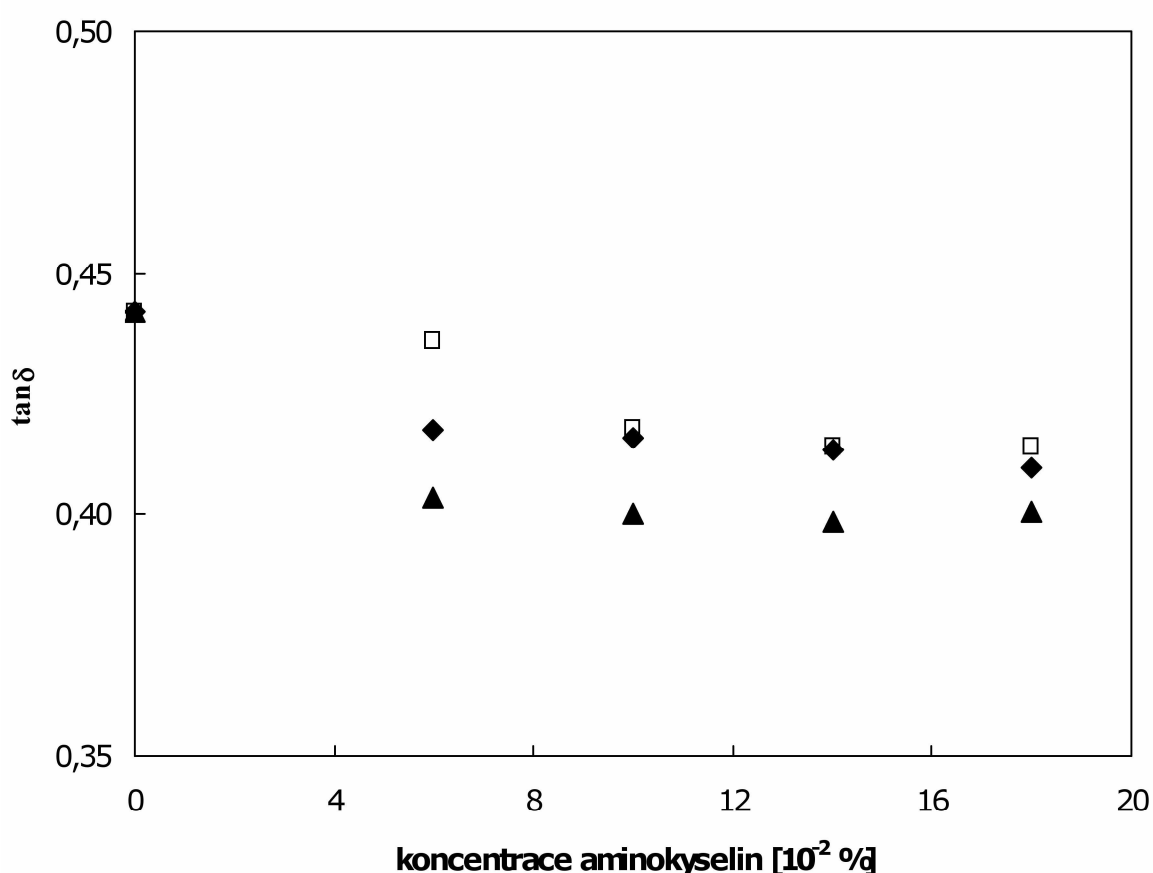
Oxidační činidla, jak už bylo dříve zmíněno, jsou přidávána do mouky na zpevnění glutenové struktury těsta, tudíž na zvýšení jeho elasticity. Kombinací oxidačních činidel lze dosáhnout optimálního zpevnění glutenové struktury těsta v závislosti na kvalitě mouky. Vyšší zastoupení je dobré přidávat do mouky s poškozeným lepem. Větší přídavek těchto směsí do mouky střední kvality by totiž vedl k opačnému účinku a došlo by k nadměrnému zvýšení elasticity těsta



na úkor téměř úplného snížení jeho viskozity, což by zabránilo možnosti nakynutí těst a vedlo tak k malému objemu pečiva.

Oxidační činidla či jejich kombinace dávají pečárenské výrobky (bulky) o velkém objemu.

Účinek oxidačních činidel v závislosti na daném zastoupení kombinace směsí znázorňuje obrázek 17 a navazuje na obrázek 12. V tomto grafu je vidět, že oxidační účinek činidel L-threoninu a L-tryptofanu, které byly přidávány postupně ve zvyšujícím se zastoupení k neustále stejnému minimálnímu zastoupení ( $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m) L-askorbové kyseliny, byl zvýšen. A to tak, že největší oxidační účinek na těsto měla kombinace L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu.



Obr. 17: Závislost fázového úhlu ( $\tan \delta = G''/G'$ ) na zastoupení L-askorbové kyseliny ( $\square$ ), kombinaci L-askorbové kyseliny + L-threoninu ( $\blacklozenge$ ) a kombinaci L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu ( $\blacktriangle$ ) při úhlové frekvenci  $\omega = 1$  rad/s.

## 6.4 Deformační měření

K dosažení komplexního popisu kvality těsta potřebného pro pekárenskou technologii bylo použito deformačního měření, kterým byl dokreslen vliv redukčních a oxidačních činidel či jejich kombinací na reologické vlastnosti těst.

Tabulky 21-24 shrnují výsledky všech vzorků přídatných látek přidávaných do pšeničné mouky. Tytéž zastoupení jednotlivých redukčních a oxidačních činidel či jejich kombinací byly užity také při přípravě těst. Tam, kde vliv aminokyselin na reologické vlastnosti těst nebyl evidentní v nízkých dávkách, byly aplikovány vyšší.

Přídavek L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu do pšeničného těsta způsobil podstatný pokles jeho pevnosti a pružnosti v porovnání s kontrolním těstem (Tab. 21). Se zvyšujícím se zastoupením dochází k většímu poklesu těchto reologických vlastností. Tabulka 22 ukazuje také pokles stability těsta a rychlejší měknutí po 250 a 450 sekundách. Tento efekt je způsoben schopností cysteinu rozbít disulfidické můstky a narušovat strukturu glutenu, způsobující vzrůst vláčnosti a lepivosti těst, která se stávají méně soudržná a hůře zpracovatelná. L-cystein hydrochlorid monohydrát je silné redukční činidlo, a proto je třeba jej přidávat do těst jen v malém množství. Je vhodný pro úpravu silných mouk.

Dalším, ale slabým redukčním činidlem byl glutathion-inaktivované droždí, kdy oproti kontrolnímu těstu se u tohoto těsta snížila nepatrně jeho pevnost a naopak zvýšila tažnost (Tab. 21). Dále také došlo ke zvýšení stability tohoto těsta oproti kontrolnímu těstu, ale naopak došlo k rychlejšímu měknutí po 250 a 450 sekundách (Tab. 22).

Obecně je známo, že oxidační činidla jsou vhodná aditiva do slabých mouk. Díky jejich schopnosti posilovat glutenovou strukturu, mají pak těsta větší pevnost a elasticitu. Silnější oxidační aditiva vytvářejí pevnější strukturu těst a zlepšují soudržnost těst zvláště při použití slabých mouk.

Další 3 zkoumané aminokyseliny L-tryptofan, L-threonin a L-tyrosin a kyselina L-askorbová, ukázaly menší či větší oxidační účinky oproti kontrolnímu těstu. Nejlepším oxidačním činidlem v rozmezí zastoupení 1,3-3,0 % m/m je L-tryptofan, se kterým vzrůstá pevnost téměř stejně jak s L-threoninem, a dále dochází vzhledem k nárůstu pevnosti těsta k menšímu poklesu tažnosti než s L-threoninem (Tab. 21). Výsledky uvedené v tabulce 22 ukazují, že v rozmezí těchto zastoupení má vyšší stabilitu těsto s L-tryptofanem a menší stabilitu těsto s L-threoninem. Rychlejší měknutí po 250 sekundách a 450 sekundách můžeme vidět u těsta s L-threoninem a pomalejší měknutí u těsta s L-tryptofanem.

Další zkoumanou aminokyselinou byl L-tyrosin, který vykazuje také silnější oxidační účinek na glutenovou strukturu. L-tyrosin je schopný zpevnit glutenovou síť a těsto se stává pevnější a elastičtější. Při vyšších dávkách ale dochází k větší ztrátě pružnosti (Tab. 21). Těsto je stabilní, dochází ale u něj k většímu měknutí než u těsta s L-tryptofanem (Tab. 22).

Poslední samostatně zkoumanou přídatnou látkou je L-askorbová kyselina, která je značně nestabilní. Při zvyšování zastoupení dochází k nestejnomyšernému nárůstu pevnosti a poklesu pružnosti, což můžeme vidět v tabulce 23. Dále tabulka 24 uvádí pomalý pokles stability těsta v rámci zkoumaného rozmezí zastoupení, a také pomalý a nestejnomyšerný pokles měknutí těsta, kdy po 250 sekundách měkne velmi pomalu, ale po 450 sekundách měkne těsto už podobně jako s L-tryptofanem.

Můžeme tedy říci, že L-tryptofan je nejlepším oxidačním činidlem a dále následuje L-threonin. Rychlejší měknutí u těsta s L-threoninem může být ale eliminováno pomocí rychlejšího zpracování, zkrácením doby míchání a fermentace.

Přídatné látky jako L-tyrosin a L-askorbovou kyselinu je vhodné přidávat do těst s jinými redukčními činidly.

Jako další byly zkoumány jednotlivé kombinace směsí, (L-askorbové kyseliny + L-threoninu, L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu, L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí, L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí). Díky těmto směsím může být dosaženo optimálního poměru v pevnosti, pružnosti, stabilitě těsta a jeho měknutí, což se pak také pozitivně projeví na kvalitě pečárenských výrobků.

Účinek L-askorbové kyseliny + L-threoninu způsobil zvýšení pevnosti a nestejnomyšerný pokles pružnosti těsta při zvýšení zastoupení (Tab. 23). Dále se zvyšujícím se zastoupením této směsi se těsto stávalo méně stabilní, což je způsobeno nestabilitou L-askorbové kyseliny a odráží se to i u pomalého, ale nerovnoměrného měknutí těsta po 250 a 450 sekundách (Tab. 24).

Kombinace směsí L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu způsobuje se zvyšujícím se zastoupením větší nárůst pevnosti, ale také větší snížení pružnosti než u kombinace směsi L-askorbová kyselina + L-threonin (Tab. 23). Tabulka 24 dále ukazuje, že dochází také ke snižování stability, ale pomalejšímu měknutí těsta po 250 sekundách. Po 450 sekundách těsto měkne podobně jako u přídávku L-askorbové kyseliny + L-threoninu.

Kombinace směsi L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí způsobuje se zvyšujícím se zastoupením glutathionu-inaktivovaného droždí zvýšení pevnosti těsta. Dále se zvyšujícím se zastoupením glutathionu-inaktivovaného droždí dochází k pomalému nárůstu pružnosti, která je navíc ale také vyšší v porovnání s předchozími kombinacemi směsí (Tab. 23). Tabulka 24

dále uvádí, že se zvyšujícím se zastoupením této směsi se těsta stávají dostatečně stabilní, a navíc oproti předešlým kombinacím těsto měkne pomaleji po 250 i 450 sekundách.

Kombinace směsi L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu vede se zvyšujícím se zastoupením L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu k poklesu pevnosti i pružnosti díky redukčním účinkům L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu (Tab. 23). Dále dochází ke snižování stability těsta a k jeho rychlému měknutí (Tab. 24).

Kombinace směsi L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí vede se zvyšujícím se zastoupením glutathionu-inaktivovaného droždí k pomalejšímu poklesu pevnosti a tažnosti těsta (Tab. 23). Dále dochází k pomalejšímu poklesu stability těsta, ale k rychlému měknutí, zvláště po 450 sekundách (Tab. 24).

Tab. 21: Alveografické charakteristiky zkoumaných těst

<b>Zastoupení [10<sup>-2</sup> %]</b>	<b><i>P</i> [mm]</b>	<b><i>L</i> [mm]</b>	<b><i>P/L</i></b>	<b><i>G</i> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b><i>W</i> [10<sup>-4</sup> J]</b>
<b>Kontrolní těsto</b>	95	89	1,06	21,0	287
<b>L-cystein hydrochlorid monohydrát</b>					
1,3	53	55	0,96	16,5	74
1,5	51	52	0,98	16,0	66
1,8	46	43	1,07	14,5	53
<b>Glutathion-inaktivované droždí</b>					
1,3	93	93	1,01	21,4	291
1,5	92	91	1,01	21,2	280
1,8	92	93	0,99	21,4	286
3,0	93	92	1,01	21,3	288
<b>L-tryptofan</b>					
1,3	95	95	1,00	21,7	303
1,5	96	86	1,12	20,6	289
1,8	96	89	1,07	21,0	295
3,0	96	83	1,16	20,3	287
<b>L-threonin</b>					
1,3	97	86	1,13	20,7	294
1,5	97	82	1,19	20,2	286
1,8	98	81	1,21	20,0	282
3,0	97	79	1,23	19,8	275
<b>L-tyrosin</b>					
1,3	98	83	1,18	20,2	285
1,5	98	82	1,19	20,1	284
1,8	98	89	1,11	21,0	304
3,0	97	77	1,26	20,5	302

\**P* – pevnost, *L* – tažnost, *P/L* – konfigurační poměr křivky, *G* – index nafouknutí =  $2,226 \sqrt{L}$ , *W* – energie

Tab. 22: Konzistografické hodnoty zkoumaných těst

<b>Zastoupení [10<sup>-2</sup> %]</b>	<b><i>PrMax</i> [mb]</b>	<b><i>TPrMax</i> [s]</b>	<b><i>Tol</i> [s]</b>	<b><i>D</i> 250 [mb]</b>	<b><i>D</i> 450 [mb]</b>
<b>Kontrolní těsto</b>	2237	173	241	197	742
<b>L-cystein hydrochlorid monohydrát</b>					
1,3	2169	87	104	1257	1513
1,5	2150	83	95	1372	1607
1,8	2142	80	94	1405	1636
<b>Glutathion-inaktivované droždí</b>					
1,3	2249	164	242	204	711
1,5	2257	158	242	220	742
1,8	2157	155	294	136	638
3,0	2157	160	264	160	663
<b>L-tryptofan</b>					
1,3	2240	166	279	141	690
1,5	2299	138	280	321	792
1,8	2199	164	274	129	652
3,0	2193	194	296	53	652
<b>L-threonin</b>					
1,3	2208	151	280	199	708
1,5	2281	172	266	141	708
1,8	2237	145	268	212	745
3,0	2240	158	258	220	722
<b>L-tyrosin</b>					
1,3	2264	142	282	170	692
1,5	2163	154	278	155	651
1,8	2206	162	261	188	719
3,0	2219	168	256	189	720

\**PrMax* – pevnost těsta, *TPrMax* –vývin těsta, *Tol* –stabilita těsta, *D 250* –změknutí těsta po 250 sekundách, *D 450* – změknutí těsta po 450 sekundách

Tab. 23: Alveografické charakteristiky zkoumaných těst

<b>Zastoupení [10<sup>-2</sup> %]</b>	<b><i>P</i> [mm]</b>	<b><i>L</i> [mm]</b>	<b><i>P/L</i></b>	<b><i>G</i> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b><i>W</i> [10<sup>-4</sup>J]</b>
<b>Kontrolní těsto</b>	95	89	1,06	21,0	287
<b>L-askorbová kyselina</b>					
6,0	171	31	5,55	12,3	239
14,0	150	35	4,32	13,1	233
24,0	171	29	5,92	12,0	224
<b>L-askorbová kyselina + L-tryptofan</b>					
6,0+10,0	198	48	4,15	15,4	407
6,0+14,0	200	41	4,86	14,3	360
6,0+18,0	204	40	5,04	14,2	359
<b>L-askorbová kyselina + L-threonin</b>					
6,0+10,0	198	46	4,30	15,1	396
6,0+14,0	202	44	4,61	14,8	388
6,0+18,0	201	47	4,32	15,2	408
<b>L-askorbová kyselina + glutathion- inaktivované droždí</b>					
6,0+10,0	225	38	5,86	13,8	382
6,0+14,0	231	38	6,14	13,7	391
6,0+18,0	212	49	4,36	15,5	440
<b>L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát</b>					
6,0+1,2	114	63	1,80	17,7	220
6,0+2,4	90	40	2,22	14,1	110
6,0+3,2	99	23	4,26	10,7	95
<b>L-cystein p.a. + glutathion- inaktivované droždí</b>					
0,6+6,0	127	61	2,09	17,4	239
0,6+10,0	131	60	2,17	17,3	249
0,6+14,0	121	54	2,24	16,4	210

\**P* – pevnost, *L* – tažnost, *P/L* – konfigurační poměr křivky, *G* – index nafouknutí = 2,226 √ *L*, *W* – energie

Tab. 24: Konzistografické hodnoty zkoumaných těst

<b>Zastoupení [10<sup>-2</sup> %]</b>	<b><i>PrMax</i> [mb]</b>	<b><i>TPrMax</i> [s]</b>	<b><i>Tol</i> [s]</b>	<b><i>D</i> 250 [mb]</b>	<b><i>D</i> 450 [mb]</b>
<b>Kontrolní těsto</b>	2237	173	241	197	742
<b>L-askorbová kyselina</b>					
6,0	2215	274	284	19	506
14,0	2248	206	270	51	720
24,0	2127	212	263	40	670
<b>L-askorbová kyselina + L-tryptofan</b>					
6,0+10,0	2285	146	304	150	614
6,0+14,0	2215	178	296	106	540
6,0+18,0	2101	184	287	95	587
<b>L-askorbová kyselina + L-threonin</b>					
6,0+10,0	2306	156	322	190	602
6,0+14,0	2198	188	326	51	536
6,0+18,0	2272	149	302	181	633
<b>L-askorbová kyselina + glutathion- inaktivované droždí</b>					
6,0+10,0	2150	196	296	61	544
6,0+14,0	2167	176	317	87	557
6,0+18,0	2284	206	301	52	528
<b>L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát</b>					
6,0+1,2	2104	100	114	1134	1470
6,0+2,4	2291	90	96	1665	1957
6,0+3,2	2218	81	90	1723	1980
<b>L-cystein p.a. + glutathion- inaktivované droždí</b>					
0,6+6,0	2188	117	144	733	1048
0,6+10,0	2172	112	138	799	1082
0,6+14,0	2171	113	131	847	1151

\**PrMax* – pevnost těsta, *TPrMax* – vývin těsta, *Tol* – stabilita těsta, *D 250* – změknutí těsta po 250 sekundách, *D 450* – změknutí těsta po 450 sekundách



## 7 SENZORICKÁ ANALÝZA

V rámci této kapitoly bude pojednáno o výsledcích sensorického posouzení I. až IV. řady vzorků bulek. Srovnán byl kontrolní vzorek oproti vzorkům s různými zastoupeními redukčních nebo oxidačních činidel či jejich kombinací. Sensorické posouzení provedli vybraní pozorovatelé či naopak pozorovatelé „expertí“.

### 7.1 Hodnocení vzorků bulek I. řady

Výsledky hodnocení znaků suchost, gumovitost, vláčnost, pocit při polykání, jakost a textura jsou hodnoceny na základě kategorové jakostní stupnice u vzorků bulek. Výsledky jsou uvedeny ve formě mediánu v tabulce 25.

Na hladině významnosti 5 % byl shledán statisticky významný rozdíl v suchosti bulek mezi kontrolním vzorkem bulek a bulkami se střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a dále bulkami s nejnižší a střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu.

Dále byl shledán statisticky významný rozdíl u jakosti a textury bulek mezi vzorky bulek s nejnižší a střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, střední a nejvyšší dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu.

V dalších charakteristikách nebyl na hladině významnosti 5 % shledán statisticky významný rozdíl.

U bulek s různými zastoupeními L-tryptofanu a kontrolními vzorky nebyl shledán statisticky významný rozdíl v jednotlivých sensorických charakteristikách. Je tedy možné akceptovat tvrzení, že srovnávané vzorky mají obdobnou suchost, gumovitost, vláčnost, vzbuzují stejný pocit při polykání, a mají shodnou jakost a texturu.

Pořadový test preferencí (součty pořadí) pokusných vzorků bulek byl formulován tak, že čím je vyšší součet pořadí, tím nižší preference vzorek získal.

S 95% spolehlivostí byly zjištěny statisticky významné rozdíly v preferencích mezi srovnávanými vzorky bulek, a to kontrolním vzorkem (bez přídavku L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu - vzorky A) a bulkami s 3 různými zastoupeními L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ( $0,8 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $1,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m - vzorky C;  $1,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D). Statisticky významné rozdíly byly shledány v preferencích mezi vzorky bulek bez přídavku L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, nejnižší a střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a mezi střední a nejvyšší dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu.

U hodnocení kontrolního vzorku (bez přídavku L-tryptofanu - vzorky A) oproti bulkám se 2 různými zastoupeními L-tryptofanu ( $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m –

vzorky B;  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C). Statisticky významné rozdíly byly shledány v preferencích mezi vzorky s nižší a vyšší dávkou L-tryptofanu.

Z výsledků pořadového testu preferencí u L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a L-tryptofanu přesvědčivě vyplynulo, že spotřebitelé dávají přednost bulkám s nejnižší a střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a kontrolním vzorkům. Jako nejméně preferovaný byl hodnocen vzorek bulek s nejvyšším množstvím L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. Tyto bulky měly nejmenší objem a jejich střída byla sypká, tzn. posuzovatelé zhodnotili tyto vzorky jako suché.

U vzorků bulek s L-tryptofanem spotřebitelé dávají přednost bulkám s nižší dávkou L-tryptofanu nebo kontrolnímu vzorku. Jako nejméně preferovaný byl hodnocen vzorek bulek s vyšší dávkou L-tryptofanu. Tyto bulky měly sypkou střídu, tzn. posuzovatelé zhodnotili tyto vzorky jako málo vláčné a při zastoupení  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m dochází také ke snižování objemu oproti nižším zastoupením ( $2,0 \cdot 10^{-2}$  -  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m). Je to způsobeno tím, že díky velkému zpevnění těst a nedostatečné tažnosti, nebyly schopny pekárenské výroby (bulky) nakynout (viz. Příloha I-J).

Dále byly provedeny párové porovnávací testy mezi vzorky bulek bez a s L-cysteinem hydrochloridem monohydrátem A-B, A-C, A-D, B-C, B-D a C-D a mezi vzorky bulek bez a s L-tryptofanem A-B, A-C, B-C. Test byl formulován tak, že čím vyšší preference vzorek u hodnotitelů získal, tím vyšší je součet bodů. Výsledky párového porovnávacího testu preferencí posuzovatelů pro jednotlivé vzorky bulek ukázaly, že s 95 % spolehlivostí lze říci, že vzorky se střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu jsou preferovanější než vzorky s nejnižší a nejvyšší dávkou této aminokyseliny a kontrolní vzorky. Posuzovatelé tedy preferují v tomto případě bulky se střední dávkou L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu než bulky s nejnižším a nejvyšším přídávkem této aminokyseliny či kontrolní vzorky. Z toho důvodu, že malý přírůstek této aminokyseliny byl těžko sensoricky rozpoznatelný od kontrolního vzorku, který nebyl tolik vláčný. A naopak bulky s vysokým přídávkem L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu měly malý objem, drobivou střídu a nedostatečnou vláčnost. Mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek nebyl shledán statisticky významný rozdíl, tudíž posuzovatelé tedy nebyli schopni mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek rozeznat rozdíl.

Dále u vzorků bulek s L-tryptofanem lze s 95 % spolehlivostí říci, že vzorek s nižší dávkou L-tryptofanu je preferovanější než vzorky bulek s vyšší dávkou této aminokyseliny. Posuzovatelé tedy preferují v tomto případě bulky s nižším přídávkem L-tryptofanu. Mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek nebyl shledán statisticky významný rozdíl, tudíž posuzovatelé nebyli schopni rozeznat rozdíl mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek.

Tab. 25: Výsledky sensorického hodnocení I. řady vzorků bulek s jednotlivými aminokyselinami.

Řada	Aminokyselina	Sensorický znak	Medián vzorků			
			A*	B*	C*	D*
I	L-cystein hydrochlorid monohydrát	suchost	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>b</sup>	2 <sup>a,b</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	3,5 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
		pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		jakost	3 <sup>a,b</sup>	3,5 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>a</sup>
		textura	3 <sup>a,b</sup>	3,5 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>a</sup>
	L-tryptofan, experti	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	-
		vláčnost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-
		pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-
		jakost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-
		textura	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-

\*A kontrolní vzorek - bez přídavku aminokyselin,

B vzorek bulek s nejnižším přídavkem L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, L-tryptofanu,

C vzorek bulek se středním přídavkem L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, L-tryptofanu,

D vzorek bulek s nejvyšším přídavkem L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, L-tryptofanu

1 vynikající, 3 dobrá (průměrná), 5 nevyhovující

## 7.2 Hodnocení vzorků bulek II. řady

Výsledky hodnocení znaků suchost, gumovitost, vláčnost, pocit při polykání, jakost a textura na základě kategorové jakostní stupnice u vzorků bulek. Výsledky jsou uvedeny ve formě mediánu v tabulce 26.

Na hladině významnosti 5 % nebyl shledán statisticky významný rozdíl v suchosti, gumovitosti, vláčnosti, pocitu při polykání, jakosti a textuře u vzorků bulek bez a s přidávanými aminokyselinami (glutathion-inaktivované droždí, L-tyrosin, L-tryptofan, L-threonin) mezi srovnávanými bulkami. Je tedy možné akceptovat tvrzení, že srovnávané vzorky mají obdobnou suchost, gumovitost, vláčnost, vzbuzují stejný pocit při polykání, a mají shodnou jakost a texturu.

S 95 % spolehlivostí nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v preferencích mezi srovnávanými vzorky bulek, a to kontrolním vzorkem (bez přídavku glutathionu-inaktivovaného droždí – vzorky A) oproti bulkám s 3 různými zastoupeními glutathionu-inaktivovaného droždí ( $3,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $4,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $5,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D).

U hodnocení kontrolního vzorku (bez přídavku L-tyrosinu – vzorky A) oproti bulkám se 3 různými zastoupeními L-tyrosinu ( $0,6 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $0,8 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $1,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D).

Dále hodnocení kontrolního vzorku (bez přídavku L-tryptofanu – vzorky A) oproti bulkám se 3 různými zastoupeními L-tryptofanu ( $2,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $3,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D)

Při hodnocení kontrolního vzorku (bez přídavku L-threoninu – vzorky A) oproti bulkám se 3 různými zastoupeními L-threoninu hodnocenými vybranými pozorovateli ( $2,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $3,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D) a dále pozorovateli „experty“ ( $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C).

Statisticky významné rozdíly u žádných přidávaných aminokyselin však shledány v preferencích nebyly.

Z výsledků pořadového testu preferencí u glutathionu-inaktivovaného droždí, L-tyrosinu a L-threoninu hodnocenými vybranými posuzovateli a dále posuzovateli „experty“ vyplynulo, že spotřebitelé dávají přednost bulkám se střední nebo nejnižší dávkou glutathionu-inaktivovaného droždí. Jako nejméně preferované byly hodnoceny kontrolní vzorky bulek a dále s nejvyšší dávkou glutathionu-inaktivovaného droždí, jelikož byly málo vláčné.

U vzorků bulek s L-tyrosinem dávají spotřebitelé přednost kontrolním vzorkům bulek nebo bulkám s nejnižším množstvím L-tyrosinu. Jako nejméně preferované byly hodnoceny vzorky bulek s nejvyšší a střední dávkou L-tyrosinu, díky tomu, že tyto bulky byly drobivé a málo vláčné.

U vzorků bulek s L-tryptofanem dávají spotřebitelé přednost bulkám s nejnižší nebo střední dávkou L-tryptofanu. Jako nejméně preferované byly

hodnoceny vzorky bulek s nejvyšší dávkou L-tryptofanu nebo kontrolní vzorek, díky tomu, že byly málo vláčné.

U vzorků bulek s L-threoninem dávají vybraní posuzovatelé přednost bulkám se střední nebo nejnižší dávkou L-threoninu. Jako nejméně preferované byly hodnoceny kontrolní vzorky bulek a s nejvyšší dávkou L-threoninu (Fotografie testovaných vzorků bulek viz. Příloha G).

A dále u vzorků bulek s L-threoninem dávají posuzovatelé „experti“ přednost bulkám s jednotlivými přídávky L-threoninu, jelikož měly lepší chuť, vláčnější střídu a větší objem (viz. Příloha H). Jako nejméně preferované byly hodnoceny vzorky bulek bez přídatku L-threoninu.

Dále byly provedeny párové porovnávací testy mezi vzorky A-B, A-C, A-D, B-C, B-D a C-D a u vzorků s L-threoninem hodnocených posuzovateli „experty“ mezi vzorky A-B, A-C, B-C. Test byl formulován tak, že čím vyšší preference vzorek u hodnotitelů získal, tím vyšší je součet bodů.

V tomto testu byly společně posuzovány bulky s rozdílnými přídávky aminokyselin mezi sebou nebo oproti kontrolním vzorkům. S 95 % spolehlivostí lze říci, že mezi danými kombinacemi vzorků bulek u glutathionu-inaktivovaného droždí, L-tyrosinu a L-threoninu (hodnoceného posuzovateli „experty“) nebyl shledán statisticky významný rozdíl. Posuzovatelé tedy nebyli schopni rozeznat rozdíl mezi těmito kombinacemi vzorků bulek. U dalších kombinací vzorků bulek s L-tryptofanem a L-threoninem hodnoceného vybranými posuzovateli lze s 95 % spolehlivostí říci, že pozorovatelé tedy preferují v tomto případě bulky se střední dávkou L-tryptofanu než kontrolní vzorky bulek z důvodu jejich lepší chuti a vláčnosti. Mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek nebyl shledán statisticky významný rozdíl, což znamená, že posuzovatelé nebyli schopni rozeznat rozdíl mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek.

Dále u vzorků bulek s L-threoninem posuzovatelé preferují bulky s nejnižší dávkou L-threoninu než bulky s nejvyšší dávkou této aminokyseliny. Mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek nebyl shledán statisticky významný rozdíl, lze tedy říci, že posuzovatelé nebyli schopni rozeznat rozdíl mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek.

Tab. 26: Výsledky senzoričkého hodnocení II. řady vzorků bulek s jednotlivými aminokyselinami.

Řada	Aminokyselina	Senzoričkový znak	Medián vzorků			
			A*	B*	C*	D*
II	Glutathion-inaktivované droždí (kombinace aminokyselin)	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		pocit při polykání	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		jakost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		textura	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
	L-tyrosin	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3,5 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		jakost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		textura	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
	L-tryptofan, vybraní posuzovatelé	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		jakost	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		textura	3 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
	L-threonin, vybraní posuzovatelé	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		jakost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		textura	2,5 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
L-threonin, experti	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	-	
	gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-	
	vláčnost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-	
	pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-	
	jakost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-	
	textura	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	-	

\*A kontrolní vzorek - bez přídavku aminokyselin,

B vzorek bulek s nejnižším přídavkem glutathionu-inaktivovaného droždí, L-tyrosinu, L-tryptofanu, L-threoninu,

C vzorek bulek se středním přídavkem glutathionu-inaktivovaného droždí, L-tyrosinu, L-tryptofanu, L-threoninu,

D vzorek bulek s nejvyšším přídavkem glutathionu-inaktivovaného droždí, L-tyrosinu, L-tryptofanu, L-threoninu

1 vynikající, 3 dobrá (průměrná), 5 nevyhovující

### 7.3 Hodnocení vzorků bulek III. řady

Výsledky hodnocení znaků suchost, gumovitost, vláčnost, pocit při polykání, jakost a textura na základě kategorové jakostní stupnice u vzorků bulek. Výsledky jsou uvedeny ve formě mediánu v tabulce 27.

Na hladině významnosti 5 % byl shledán statisticky významný rozdíl v suchosti a vláčnosti vzorků bulek mezi kontrolními vzorky bulek a bulkami s nejnižší dávkou L-askorbové kyseliny + L-threoninu. V dalších sensorických charakteristikách nebyl shledán statisticky významný rozdíl mezi srovnávanými bulkami.

U vzorků bulek bez a s přidavkem L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu byl shledán statisticky významný rozdíl ve vláčnosti vzorků bulek mezi vzorky s nejnižší a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu. Na druhou stranu, na hladině významnosti 5 % nebyl shledán statisticky významný rozdíl mezi srovnávanými bulkami v dalších sensorických charakteristikách.

S 95 % spolehlivostí nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v preferencích mezi srovnávanými vzorky bulek, a to kontrolním vzorkem (bez přidavku L-askorbové kyseliny + L-threoninu – vzorky A) oproti bulkám s 3 různými zastoupeními L-askorbové kyseliny + L-threoninu ( $6,0 \cdot 10^{-2} + 10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D).

Dále hodnocení kontrolního vzorku (bez přidavku L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu – vzorky A) oproti bulkám se 3 různými zastoupeními L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu ( $6,0 \cdot 10^{-2} + 10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D). Statisticky významné rozdíly však shledány v preferencích nebyly.

Z výsledků pořadového testu preferencí přesvědčivě vyplynulo, že spotřebitelé dávají přednost bulkám s jednotlivými přidavky L-askorbové kyseliny + L-threoninu, kdy nejlépe byly hodnoceny vzorky s nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-threoninu, které měly nejvyšší objem a vláčnou střídu (viz. Příloha B). Jako nejméně preferované byly hodnoceny kontrolní vzorky bulek. Tyto bulky měly nejmenší objem a nedostatečnou vláčnost, tzn. posuzovatelé zhodnotily tyto vzorky jako suché.

U vzorků bulek s přidavky L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu dávají spotřebitelé přednost bulkám s nejvyššími či nejnižšími přidavky L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu (Fotografie testovaných vzorků bulek viz. Příloha C). Jako nejméně preferovaný byl hodnocen kontrolní vzorek bulek či vzorek se střední dávkou L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu. Tyto bulky pozorovatelé zhodnotili jako méně vyhovující, díky své nedostatečné vláčnosti.

Dále byly provedeny párové porovnávací testy mezi vzorky A-B, A-C, A-D, B-C, B-D a C-D. Test byl formulován tak, že čím vyšší preference vzorek u posuzovatelů získal, tím vyšší je součet bodů.

V tomto testu byly společně hodnoceny bulky s rozdílnými přídávky redukčního činidla s oxidačními činidly mezi sebou nebo oproti kontrolním vzorkům. S 95 % spolehlivostí lze říci, že u přídávků L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu nebyl shledán statisticky významný rozdíl, tudíž posuzovatelé nebyli schopni rozeznat rozdíl mezi kombinacemi vzorků bulek. A dále u přídávků L-askorbové kyseliny + L-threoninu lze s 95 % spolehlivostí říci, že vzorek s nejnižší dávkou L-askorbové kyseliny + L-threoninu je u posuzovatelů preferovanější než kontrolní vzorek. Mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek posuzovatelé nebyli schopni rozeznat rozdíl.

Tab. 27: Výsledky senzoričského hodnocení III. řady vzorků bulek s jednotlivými kombinacemi směsí.

Řada	Kombinace redukčního činidla s oxidačním	Senzoričský znak	Medián vzorků			
			A*	B*	C*	D*
III	L-askorbová kyselina + L-threonin 3:5; 3:7; 1:3	suchost	2 <sup>a</sup>	3 <sup>b</sup>	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a,b</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	4 <sup>a</sup>	3 <sup>b</sup>	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a,b</sup>
		pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		jakost	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
		textura	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
	L-askorbová kyselina + L-tryptofan 3:5; 3:7; 1:3	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		gumovitost	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	3 <sup>a,b</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a,b</sup>	4 <sup>b</sup>
		pocit při polykání	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
		jakost	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
		textura	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>

\*A kontrolní vzorek - bez přídávku kombinace směsí,

B vzorek bulek s nejnižším přídávkem kombinace směsí (L-askorbová kyselina + L-threonin, L-askorbová kyselina + L-tryptofan),

C vzorek bulek se středním přídávkem kombinace směsí (L-askorbová kyselina + L-threonin, L-askorbová kyselina + L-tryptofan),

D vzorek bulek s nejvyšším přídávkem kombinace směsí (L-askorbová kyselina + L-threonin, L-askorbová kyselina + L-tryptofan)

1 vynikající, 3 dobrá (průměrná), 5 nevyhovující



## 7.4 Hodnocení vzorků bulek IV. řady

Výsledky hodnocení znaků suchost, gumovitost, vláčnost, pocit při polykání, jakost a textura na základě kategorové jakostní stupnice u vzorků bulek. Výsledky jsou uvedeny ve formě mediánu v tabulce 28.

Na hladině významnosti 5 % byl shledán statisticky významný rozdíl ve vláčnosti vzorků bulek mezi vzorky s nejnižší a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. Dále byl shledán statisticky významný rozdíl v pocitu při polykání vzorků bulek, jakosti a textuře mezi vzorky s nejnižší a střední dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, nejnižší a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu a u jakosti i textury navíc ještě rozdíl mezi kontrolními vzorky a vzorky s nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. V dalších sensorických charakteristikách nebyl na 5 % hladině významnosti shledán statisticky významný rozdíl mezi srovnávanými bulkami.

U vzorků bulek s přídatkem L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí byl shledán statisticky významný rozdíl v suchosti, vláčnosti, pocitu při polykání, jakosti a textuře vzorků bulek mezi kontrolním vzorkem a vzorky s nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí u všech těchto charakteristik, navíc u pocitu při polykání a jakosti vzorků bulek byly rozdíly mezi kontrolním vzorkem a vzorky bulek se střední dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí a u vláčnosti, rozdíly mezi kontrolním vzorkem a vzorky se střední dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí a dále mezi vzorky s nejnižší a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí. U další sensorické charakteristiky nebyl na 5 % hladině významnosti shledán statisticky významný rozdíl.

U vzorků bulek s přídatkem L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí byl shledán statisticky významný rozdíl v suchosti vzorků bulek mezi kontrolním vzorkem a vzorky s nejvyšší dávkou L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí. U zbývajících sensorických charakteristik nebyl na 5 % hladině významnosti shledán statisticky významný rozdíl mezi srovnávanými bulkami.

S 95% spolehlivostí byly zjištěny statisticky významné rozdíly v preferencích mezi srovnávanými vzorky bulek, a to kontrolním vzorkem (bez přídatku L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu – vzorky A) oproti bulkám s 3 různými zastoupeními L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu ( $6,0 \cdot 10^{-2} + 1,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 2,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 3,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D).

Statisticky významné rozdíly byly shledány v preferencích mezi vzorky s nejnižší a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu.

U hodnocení kontrolního vzorku (bez přídavku L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí – vzorky A) oproti bulkám se 3 různými zastoupeními L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí ( $6,0 \cdot 10^{-2} + 10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $6,0 \cdot 10^{-2} + 24,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D).

Statisticky významné rozdíly byly shledány v preferencích mezi kontrolními vzorky bulek a bulkami se střední dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí, dále mezi kontrolními vzorky bulek a bulkami s nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí a mezi vzorky bulek s nejnižší a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí.

Dále u hodnocení kontrolního vzorku (bez přídavku L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí – vzorky A) oproti bulkám se 3 různými zastoupeními L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí ( $0,6 \cdot 10^{-2} + 10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky B;  $0,6 \cdot 10^{-2} + 14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky C;  $0,6 \cdot 10^{-2} + 18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m – vzorky D).

Statisticky významné rozdíly byly shledány v preferencích mezi kontrolním vzorkem bulek a vzorky s nejvyšší dávkou L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí, dále mezi vzorky se střední a nejvyšší dávkou L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí.

Z výsledků pořadového testu preferencí přesvědčivě vyplynulo, že spotřebitelé dávají přednost bulkám s nejnižší a střední dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu nebo kontrolním vzorkům. Jako nejméně preferované byly hodnoceny bulky s nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. Tyto bulky pozorovatelé zhodnotili jako méně vyhovující, díky svému malému objemu (Fotografie testovaných vzorků bulek viz. Příloha D) a drobné střídky.

U vzorků bulek s přídavky L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí dávají spotřebitelé přednost bulkám s jednotlivými přídavky L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí. Jako nejméně preferované byly hodnoceny kontrolní vzorky bulek. Tyto bulky pozorovatelé zhodnotili jako méně vláčné a také měly nejmenší objem (Fotografie testovaných vzorků bulek viz. Příloha E).

U vzorků bulek s přídavky L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí dávají spotřebitelé přednost bulkám s jednotlivými přídavky L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí. Jako nejméně preferované byly hodnoceny kontrolní vzorky bulek. Tyto bulky pozorovatelé zhodnotili jako méně vyhovující (Fotografie testovaných vzorků bulek viz. Příloha F).

Dále byly provedeny párové porovnávací testy mezi vzorky A-B, A-C, A-D, B-C, B-D a C-D. Test byl formulován tak, že čím vyšší preference vzorek u posuzovatelů získal, tím vyšší je součet bodů.

V tomto testu byly společně hodnoceny bulky s rozdílnými přídávky dvou redukčních činidel mezi sebou nebo oproti kontrolnímu vzorku. S 95 % spolehlivostí lze říci u vzorků bulek s přídávky L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, že vzorek s nejnižší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu je preferovanější než kontrolní vzorek a vzorek s nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, díky malému objemu a drobné stříde. Posuzovatelé tedy preferují v tomto případě bulky s nejnižší dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. Mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek nebyli schopni posuzovatelé rozeznat rozdíl.

Dále u vzorků bulek s přídávky L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí, že vzorek se střední a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí je preferovanější než kontrolní vzorky bulek a bulky s nejnižší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí. Posuzovatelé tedy preferují v tomto případě bulky se střední a nejvyšší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí než kontrolní vzorky bulek a bulky s nejnižší dávkou L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí. Mezi dalšími kombinacemi nebyli schopni posuzovatelé rozeznat rozdíl.

U vzorků bulek s přídávky L-cystein p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí, že vzorek s nejvyšší dávkou L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí je preferovanější než kontrolní vzorek a vzorky s nejnižší a střední dávkou L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí. Posuzovatelé tedy preferují v tomto případě bulky s nejvyšší dávkou L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí než bulky bez přídávky L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí a s nejnižší a střední dávkou L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí. Mezi dalšími kombinacemi vzorků bulek nebyl shledán statisticky významný rozdíl, a tudíž posuzovatelé nebyli schopni rozeznat rozdíl.

Tab. 28: Výsledky senzoričkého hodnocení IV. řady vzorků bulek s jednotlivými kombinacemi směsí.

Řada	Kombinace redukčních činidel	Senzoričkový znak	Medián vzorků			
			A*	B*	C*	D*
IV	L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát 5:1; 5:2; 15:8	suchost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a,b</sup>	4 <sup>b</sup>
		pocit při polykání	3 <sup>a,b</sup>	2 <sup>a</sup>	4 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>
		jakost	3 <sup>a,b</sup>	2 <sup>a</sup>	4 <sup>a,b</sup>	4 <sup>b</sup>
		textura	3 <sup>a,b</sup>	2 <sup>a</sup>	4 <sup>b</sup>	4 <sup>b</sup>
	L-askorbová kyselina + glutathion- inaktivované droždí 3:5; 1:3; 1:4	suchost	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a,b</sup>	4 <sup>b</sup>
		gumovitost	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
		vláčnost	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a,b</sup>	2 <sup>c,b</sup>	2 <sup>c</sup>
		pocit při polykání	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>b</sup>	2 <sup>b</sup>
		jakost	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>b</sup>	2 <sup>b</sup>
		textura	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a,b</sup>	2 <sup>b</sup>
	L-cystein p.a. + glutathion- inaktivované droždí 3:50; 3:70; 1:30	suchost	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>a,b</sup>	3 <sup>b</sup>
		gumovitost	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		vláčnost	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
		pocit při polykání	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
		jakost	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
		textura	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>

\* A kontrolní vzorek - bez přídavku kombinace směsí,

B vzorek bulek s nejnižším přídavkem kombinace směsí (L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát, L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí, L-cystein p.a. + glutathion-inaktivované droždí),

C vzorek bulek se středním přídavkem kombinace směsí (L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát, L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí, L-cystein p.a. + glutathion-inaktivované droždí),

D vzorek bulek s nejvyšším přídavkem kombinace směsí (L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát, L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí, L-cystein p.a. + glutathion-inaktivované droždí)

1 vynikající, 3 dobrá (průměrná), 5 nevyhovující

## **8 PŘÍNOS PRO DALŠÍ ROZVOJ VĚDY A POTŘEBY PRAXE**

Na základě poznatků, získaných z literárního přehledu a z vlastních experimentálních prací vyplývá, že kvalita mouky a její chemické složení je rozhodujícím faktorem pro kvalitu těsta i konečných pekárenských výrobků.

Řešená problematika přispívá k hledání aditiv ve formě jednotlivých redukčních nebo oxidačních činidel či jejich kombinací, a snaží se na základě poznatků z literatury a realizovaných experimentů vysvětlit mechanismus probíhajících dějů. Tyto přídatné látky jednak zvyšují nutriční hodnotu pekárenského produktu, ale také jsou schopny upravovat či pozměňovat viskoelastické vlastnosti pšeničného těsta podle pekárenských požadavků bez jakýchkoliv dalších chemických přísad, a to tak, že jsou schopny tvořit vazby (posilovat gluten – oxidovadla), či naopak rozbíjet vazby, např. –SH (zeslabovat gluten – redukovadla).

### ***Přínos pro další rozvoj vědy:***

- charakterizace interakcí jednotlivých redukčních nebo oxidačních činidel či jejich kombinací s proteiny pšeničné mouky
- charakteristika organoleptických vlastností nových výrobků
- popis probíhajících dějů na molekulární úrovni

### ***Přínos pro potřeby praxe:***

- zavedení nových výrobků
- ověření proveditelnosti technologie výroby pekárenských výrobků s těmito redukčními nebo oxidačními činidly či jejich kombinacemi a porovnání kvality oproti kontrolnímu vzorku, do kterého nebyly přidány tyto přídatné látky
- dodatečné zvýšení nutriční hodnoty pekárenských produktů způsobený přidáním redukčních nebo oxidačních činidel či jejich kombinací

Výsledky disertační práce byly a jsou připraveny k publikování v domácím i zahraničním odborném tisku, vědeckých časopisech a prezentovány na tuzemských i zahraničních konferencích.

## 9 ZÁVĚR

Z výsledků získaných z chemických analýz vyplývá, že vzhledem k porovnání průběhu změn pH se vzrůstajícím zastoupením aditiv v těstě a změnám v jeho reologii, nelze říci, že má změna pH způsobená přidávkou redukčních nebo oxidačních činidel či jejich kombinací vliv na vaznost těsta. Jedná se tedy čistě o vlastnosti redukčních nebo oxidačních činidel či jejich kombinací způsobené jejich chemickou povahou, jako zvýšení schopnosti tvořit vodíkové můstky či jiné slabé vazebné interakce, nebo naopak blokovat či zvyšovat tvorbu thiolových můstků.

Ani tyto fyzikálně-chemické jevy však neovlivnily výrazně změnu pH (v průměru 0,3 pH), nehledě na to, že také nebyla nalezena závislost mezi množstvím přídavné látky a změnou pH.

pH bylo tedy měřeno z důvodu vyvrácení domněnky, že by použité přídavné látky mohly mít zásadní vliv na pH těsta, a tím i na jeho reologii.

Sušina byla určena jako základní ukazatel každého těsta a jeho stejnorodosti. Množství vody v těstě má zásadní vliv na jeho viskozitu. Sušina byla tedy měřena pro potvrzení, že viskozita byla vztahována k použitým aditivům.

Z výsledků kapalinové chromatografie je patrné, že nejlepšími redukčními činidly jsou L-cystein p.a. a L-cystein hydrochlorid monohydrát a nejslabším redukčním činidlem je glutathion-inaktivované droždí. Zvyšující se zastoupení L-cysteinu p.a. způsobovalo zvýšení zastoupení gliadinů a albuminů a globulinů detekovaných v 23. minutě na úkor snížení zastoupení albuminů a globulinů detekovaných v 21. minutě.

L-cystein hydrochlorid monohydrát snižoval množství vysokomolekulárních hmotnostních podjednotek (HMW GS) a nízkomolekulárních hmotnostních podjednotek (LMW GS) a současně posiloval zastoupení ostatních složek mouky. Nejslabším redukčním činidlem je glutathion-inaktivované droždí, u kterého je se zvyšujícím se zastoupením patrný pomalý pokles zastoupení HMW GS a LMW GS, a to ve prospěch gliadinů, albuminů a globulinů. Tato redukční činidla je dobré přidávat do silných mouk na upravení jejich viskoelastických vlastností, zvláště na zvýšení tažnosti, které silné mouky postrádají, a dávají výrobky sice velkého objemu, ale špatné pórovitosti a vláčnosti.

Také se zvyšujícím se zastoupením L-askorbové kyseliny dochází postupně k úplnému rozkladu HMW GS a LMW GS a gliadinů. Na druhou stranu došlo k významnému zvýšení albuminů a globulinů.

U oxidačních činidel bylo zjištěno, že se zvyšujícím se množstvím L-tyrosinu bylo detekováno relativně malé množství HMW GS a LMW GS, největší detekovanou složku činily gliadiny. Také bylo zvýšeno zastoupení albuminů a globulinů na úkor nebílkovinných frakcí. Dále se zvyšujícím se množstvím L-threoninu klesá u vzorku zastoupení nízkomolekulárních nebílkovinných frakcí, a naopak je posílen podíl glutelinů, kdy nejspíše došlo ke značnému

zesíťování glutenu, kdy u nejvyšší dávky nebylo možno HMW GS a LMW GS vůbec vyeluovat. U vzorku s L-tryptofanem se se zvyšujícím se množstvím této aminokyseliny posiloval podíl glutelinů, gliadinů i nízkomolekulárních nebílkovinných frakcí. Z toho plyne, že největší vliv na zesíťování glutenu, a tudíž na zlepšení kvality a použitelnosti těsta má L-tryptofan. Oxidační činidla je naopak dobré dodávat do slabých mouk, kdy těsta jsou málo elastická, mají vysokou tažnost a lepivost a výrobky z těchto těst mají malý objem.

Při porovnání kombinací redukčních činidel (L-cystein p.a. + glutathion-inaktivované droždí) došlo ke snížení zastoupení HMW GS a LMW GS, a naopak bylo zvýšeno množství gliadinů, albuminů a globulinů a nebílkovinných frakcí. Dále u dalších dvou kombinací redukčních činidel je patrné, že silnější redukční účinek, tudíž větší vliv na viskozitu a tažnost těsta, měla kombinace L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát. Větší soudržnost těsta, a tudíž lepší viskoelastické vlastnosti (elasticita a tažnost těsta) budou očekávány u těsta s přídatkem L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí. Hodnocení rozdílů zastoupení bílkovinných frakcí a nízkomolekulárních nebílkovinných frakcí přítomných ve vzorcích se stejným množstvím sledovaných kombinací redukčních činidel ukázalo, že poměr gluteninů a gliadinů je vždy vyšší u vzorků s L-askorbovou kyselinou + glutathionu-inaktivovaného droždí. Což znamená, že tato těsta budou mít lepší kvalitu, než těsta s kombinací L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát. Zastoupení albuminů a globulinů je naopak vyšší u vzorků s L-askorbovou kyselinou + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu. Tato těsta budou mít tudíž menší objem než těsta s kombinací L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí.

U kombinace redukčního činidla s oxidačními bylo zjištěno, že silnější oxidační účinky měla kombinace L-askorbová kyselina + L-tryptofan, kdy s rostoucím množstvím L-tryptofanu nebylo možno postupně detekovat jednotlivé bílkovinné frakce. A dále při sledování rozdílů zastoupení bílkovinných frakcí a nízkomolekulárních nebílkovinných frakcí se stejným množstvím a kombinací těchto činidel bylo zjištěno, že lepší schopnost vyeluovat složky gluteninů, gliadinů a albuminů a globulinů byla u vzorků s kombinací L-askorbová kyselina + L-threonin. Větší zastoupení nebílkovinných frakcí byl patrný u vzorků s L-askorbovou kyselinou + L-tryptofanem. Můžeme tedy říci, že lepší oxidační účinky na těsto bude mít kombinace L-askorbová kyselina + L-tryptofan, kdy docházelo při vyšších zastoupeních L-tryptofanu k většímu síťování glutenu, a tudíž nemožnosti vyeluovat a následně detekovat bílkovinné frakce. Pekárenské výrobky z těchto směsí budou mít větší objem a lepší pórovitost než těsta s kombinací L-askorbová kyselina + L-threonin. Ale pro dobré oxidační schopnosti obou kombinací lze doporučit obě varianty v závislosti na kvalitě požadované mouky.

Aminokyseliny L-threonin a L-tryptofan nepatří k aminokyselinám, které by byly běžně přidávány do těsta či mouky na upravení jejich reologických vlastností, a tak o jejich vlivu není dostatek informací. Tudíž předmětem našeho výzkumu bylo zjistit, zda tyto aminokyseliny budou nějakým způsobem ovlivňovat poměr HMW a LMW složek, dále jakým způsobem, zda budou rozkládat či naopak posilovat hlavně vysokomolekulární složky glutenu, tudíž zda budou účinkovat jako redukční či oxidační činidla.

Výsledky získané z reologických měření ukázaly, že nejsilnějším redukčním činidlem ze studovaných aminokyselin byl L-cystein hydrochlorid monohydrát. Bylo zjištěno, že L-cystein p.a. se chová v nízkých zastoupení podobně jako L-cystein hydrochlorid monohydrát, ale ve vyšším zastoupení jsou jeho redukční schopnosti slabší. Naopak nejslabším redukčním činidlem byl glutathion-inaktivované droždí.

L-askorbová kyselina (účinek dehydroaskorbové kyseliny) má největší zpevňující účinek, a se zvyšujícím se zastoupením vede k nestejnomyšlnému nárůstu pevnosti a poklesu pružnosti a těsto se stává celkově méně stabilní. Tuto kyselinu je tudíž dobré přidávat v nízkých zastoupeních do těst v kombinaci s jinými oxidačními či redukčními činidly.

Ostatní oxidační činidla, L-tryptofan, L-threonin a L-tyrosin mají menší zpevňující účinek na těsto než L-askorbová kyselina (účinek dehydroaskorbové kyseliny). L-tryptofan je nejvhodnějším oxidačním činidlem, pak následuje L-threonin. Avšak u L-threoninu je zapotřebí eliminovat rychlé měknutí těst pomocí zkrácení času na zpracování, např. zkrácením doby potřebné na vymíchání těsta a doby nutné k fermentaci těst.

L-tyrosin není vhodné používat jako oxidační činidlo. Ve vysokém zastoupení dochází ke zpevnění těsta a ztrátě pružnosti, což vede k závažným problémům při zpracovávání těsta a lze jej přidávat pouze v nízkém zastoupení, nejlépe do mouk s poškozeným lepem (tzv. slabé mouky) či v kombinaci s redukčními činidly.

Dále u použitých kombinací redukčních činidel bylo zjištěno, že kombinace L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí má velký vliv na změkčení těsta na rozdíl od použití samotného glutathionu-inaktivovaného droždí. Navíc kombinace účinku těchto dvou druhů aminokyselin poskytuje zlepšení vlastností konečných pečárenských produktů stejně tak, jako přínos ekonomický.

Při použití kombinace L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu je dále vidět, že se snížila redukční schopnost L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu díky L-askorbové kyselině, těsto se stalo více elastičtější a méně tažnější než při samotném účinku L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu.

Naopak glutathion-inaktivované droždí reagovalo s kyselinou L-askorbovou tak, že výsledný účinek na těsto byl oxidační.



Dále účinek 2 slabých oxidačních činidel L-threoninu a L-tryptofanu, které byly postupně přidávány ve zvyšujícím se zastoupení k neustále stejnému minimálnímu zastoupení L-askorbové kyseliny, byl zvýšen. A to tak, že největší oxidační účinek na těsto měla kombinace L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu.

Již ze zmíněných směsí (L-askorbová kyselina + L-threonin, L-askorbová kyselina + L-tryptofan, L-askorbová kyselina + glutathion-inaktivované droždí) se doporučuje spíše kombinace L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí a L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu, díky pomalejšímu měknutí po 250 a 450 sekundách. Jinak obecně efekt těchto výše zmíněných směsí je srovnatelný a lze je doporučit jako vhodná aditiva do slabých mouk.

Tyto směsi jsou obecně schopny posilovat glutenovou síť, a tudíž dochází k nárůstu elasticity těst. Pekárenské produkty pak budou mít vyšší objem a lepší pórovitost.

U dalších 2 kombinací směsí (L-askorbová kyselina + L-cystein hydrochlorid monohydrát, L-cystein p.a. + glutathion-inaktivovaného droždí) v daných zastoupeních se ukázala lepší kombinace směsi L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí díky tomu, že dává těstu větší pevnost, pružnost a těsto je stabilnější.

Tyto směsi jsou naopak schopny zeslabovat glutenovou síť, a tak zvyšovat tažnost těst, a naopak zeslabovat jeho elasticitu, čímž zaručují dobrý průběh kvašení. Jsou vhodné do mouk s pevným lepem.

Ze sensorické analýzy vyplývá, že v rámci první řady vzorků bulek hodnotitelé preferují bulky s nižšími či středními dávkami jak L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, tak L-tryptofanu (posouzeno posuzovateli „experty“). Tyto vzorky mají požadovanou vláčnost a objem.

U druhé řady vzorků bulek hodnotitelé preferují bulky s nejnižší a střední dávkou glutathionu-inaktivovaného droždí, L-tryptofanu a L-threoninu hodnocené vybranými posuzovateli. U vzorků bulek s L-tyrosinem hodnotitelé preferují bulky bez a s nejmenší dávkou tohoto aditiva, dále u vzorků bulek s L-threoninem posuzovatelé experti preferují bulky s jednotlivými přídávky této aminokyseliny oproti kontrolnímu vzorku.

U třetí řady vzorků bulek posuzovatelé experti preferují bulky s jednotlivými kombinacemi přídatných látek, a to bulky s jednotlivými dávkami L-askorbové kyseliny + L-threoninu oproti kontrolnímu vzorku a bulky s nízkými či vysokými dávkami L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu.

U čtvrté řady vzorků bulek posuzovatelé experti preferují také bulky s jednotlivými kombinacemi přídatných látek, a to bulky s jednotlivými dávkami L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí či L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí oproti kontrole, dále bulky s nízkou, střední dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu

či kontrolní vzorky oproti bulkám s vysokou dávkou L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu.

Nejhůře byly posuzovateli zhodnoceny bulky s L-tyrosinem. Tuto aminokyselinu je možné přidávat do pekárenských výrobků pouze ve velmi malých dávkách. Se zvyšujícím se zastoupením této aminokyseliny byly bulky málo vláčné a drobné.

Další bulky s používanými přídatnými látkami či kombinacemi směsí těchto přídatných látek (L-tryptofanem, L-threoninem, glutathionem-inaktivovaným droždím, L-askorbové kyseliny + L-threoninu, L-askorbové kyseliny + L-tryptofanu, L-askorbové kyseliny + glutathionu-inaktivovaného droždí, L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu či L-cysteinu p.a. + glutathionu-inaktivovaného droždí) posuzovatelé hodnotili pozitivně. Tyto vzorky byly nejlépe hodnoceny zejména z pohledu jejich velkého objemu, dobré pórovitosti a vláčnosti. Jen u přídatků aminokyselin jako L-tryptofan a L-threonin jsou požadovány spíše nižší či střední dávky, jelikož ve vysokých dávkách mají nežádoucí účinky na lepkovou strukturu, kdy dochází k velkému zpevnění této struktury, což není vhodné u mouk s kvalitním lepem, ale může to být využito u mouk se špatnou glutenovou strukturou (nekvalitní lepek (gluten)), kde je toto zpevnění požadováno. Naopak při vysokých dávkách směsi L-askorbové kyseliny + L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu dochází ke značnému rozbití glutenové struktury díky účinku L-cysteinu hydrochloridu monohydrátu, a tudíž je dobré tuto směs přidávat do silných mouk.

Navíc je nutno zmínit, že námi přidávané redukční a oxidační činidla či jejich kombinace jsou přidávány nejen na úpravu viskoelastických vlastností těsta, což vede ke kvalitním pekárenským výrobkům, ale jsou také důležité z hlediska nutričního, jelikož v pšeničné mouce je buď námi přidávaných aminokyselin malé množství (hlavně threoninu či tryptofanu), a tak jejich dodáním do pšeničné mouky zvyšujeme také výživovou hodnotu konečného pekárenského výrobku (bulek).

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PŘÍHODA, P., HUMPOLÍKOVÁ, P., NOVOTNÁ, D. *Základy pekárenské technologie*. Praha: Pekař a Cukrář s.r.o., 2003. 363 s. ISBN 80-902922-1-6.
- [2] KHATKAR, B. S., BELL, A. E., SCHOFIELD, J. D. A Comparative Study of the Inter Relationships Between Mixograph Parameters and Breadmaking Quality of Wheat Flour and Glutens. *J. Sci. Food Agric.* 1996, vol. 72, p. 71–85.
- [3] COULTATE, T. P. *Food: The Chemistry of its Components*. London: Royal Society of Chemistry, 1989. 325 p. ISBN 0851 864 333.
- [4] INGLETT, G. E. *Wheat: Production and Utilization*. Westport: AVI Publishing Company, Inc., 1974. 500 p.
- [5] PRUGAR, J., HRAŠKA, Š. *Kvalita pšenice*. Bratislava: Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov, n.p., 1986. 221 s. ISBN 67-133-86.
- [6] SHEWRY, P. R., TATHAM, A. S. The Prolamin Storage Proteins of Cereal Seeds: Structure and Evolution. *J. Biochem.* 1990, vol. 267, p. 1–12.
- [7] DENDY, D. A. V., DOBRASZCZYK, B. J. *Cereals and Cereal Products. Chemistry and Technology*. Gaithersburg: Aspen Publishers, 2001. 429 p. ISBN 978-0-8342-1767-6.
- [8] WIESER, H. Chemistry of Gluten Proteins. *Food Mikrobiology*. 2007, vol. 24, p. 115-119.
- [9] MEGAN, P., SKERRITT, L. J. H. The Glutenin Macropolymer of Wheat Flour Doughs Structure–Function Perspectives. *Trends Food Sci. Tech.* 1999, vol. 10, p. 247-253.
- [10] SKERRITT, J.H., HAC, L., BEKES, F. Depolymerisation of the Gluten Macropolymer During Dough Mixing. 1. Changes in Levels, Molecular Weight Distribution and Overall Composition. *Cereal Chem.* 1999, vol. 76, p. 395–401.
- [11] SKERRITT, J. H., HAC, L., LINDSAY, M. P., BEKES, F. Depolymerisation of the Gluten Macropolymer During Mixing. 2. Differences in the Retention of Specific Glutenin Subunits. *Cereal Chem.* 1999, vol. 76, p. 402–409.
- [12] WEEGELS, P. L., HAMER, R.J., SCHOFIELD, J. D. Functional Properties of Wheat Glutenin. *J. Cereal Sci.* 1996, vol. 23, p. 1–18.
- [13] WEEGELS, P. L., PIJPEKAMP, A. M., GRAVELAND, A., HAMER, R.J., SCHOFIELD, J. D. Depolymerisation and Repolymerisation of Wheat Glutenin During Dough Processing. I. Relationships Between Glutenin Macropolymer Content and Quality Parameters. *J. Cereal Sci.* 1996, vol. 23, p. 103–111.
- [14] MASCI, S., EGOROV, T. A., RONCHI, C., KUZMICKY, D. D., KASARDA, D. D., LAFIANDRA, D. Evidence for the Presence of Only One Cysteine Residue in the D-type Low Molecular Weight Subunits of Wheat Glutenin. *J. Cereal Sci.* 1999, vol. 29, p. 17–25.
- [15] SHEWRY, P. R., TATHAM, A. S. Disulphide Bonds in Wheat Gluten Proteins. *J. Cereal Sci.* 1997, vol. 25, p. 207–227.

- [16] RAO, V. K., MULVANEY, S. J., DEXTER, J. E. Rheological Characterisation of Long-and Short-Mixing Flours Based on Stress-Relaksation. *J. Cereal Sci.* 2000, vol. 31, p. 159-171.
- [17] KASARDA, D. D. Glutenin Polymers: The in Vitro to in Vivo Transition. *Cereal Foods World.* 1999, vol. 44, p. 566–571.
- [18] HUANG, D. Y., KHAN, K. Quantitative Determination of High Molecular Weight Glutenin Subunits of Hard Red Spring Wheat by SDS-PAGE. I. Quantitative Effects of Total Amounts on Breadmaking Quality Characteristics. *Cereal Chem.* 1997, vol. 74, p. 781–785.
- [19] LÉTANG, C., PIAU, M., VERDIER, C. Characterization of Wheat Flour–Water Doughs. Part I: Rheometry and Microstructure. *J. Food Eng.* 1999, vol. 41, p. 121-132.
- [20] GIANIBELLI, M. C., LAROQUE, O. R., MACRITHIE, F., WRIGLEY, C. W. Biochemical, Genetic and Molecular Characterization of Wheat Endosperm Proteins. Online review Am. Assoc. Cereal Chem. Inc. 2001. <http://www.aaccnet.org>.
- [21] BELTON, P. S., COLQUHOUN, I. J., GRANT, A., WELLNER, N., FIELD, J. M., SHEWRY P. R., TATHAM, A. S. FTIR and NMR Studies on the Hydration of a High-Mr Subunit of Glutenin. *J. Biol. Macromol.* 1995, vol. 17, p. 74-80.
- [22] WEEGELS, P.L., HAMER, R.J., SCHOFIELD, J.D. Depolymerisation and Re-polymerisation of Wheat Glutenin During Dough Processing. II. Changes in Composition. *J. Cereal Sci.* 1997, vol. 25, p. 155–163.
- [23] BELDEROK, B., MESDAG, J., DONNER, D. A. *Bread-Making Quality of Wheat. A Century of Breeding in Europe. Part One: Developments in Bread-Making Processes. Part Two: Breeding for Bread-Making Quality in Europe.* Dordrecht: Kluwe Academic Publishers, 2000. 416 p. ISBN 0-7923-6383-3.
- [24] HOSENEY, R. C., ROGERS, D. E. The Formation and Properties of Wheat Flour Doughs. *J. Food Sci. Nutr.* 1990, vol. 292, p. 73–93.
- [25] ANGIOLONI, A., DALLA ROSA, M. Effects of Cysteine and Mixing Conditions on White/Whole Dough Rheological Properties. *J. Food Eng.* 2007, vol. 80, p. 18-23.
- [26] INDRANI, D., RAO, G. V. Effect of Additives on Rheological Characteristics and Quality of Wheat Flour Parotta. *J.Texture Stud.* 2006, vol. 37, p. 315–338.
- [27] WILSON, L. G., FRY, S. C. Extensinsa Major Cell Wall Glycoprotein. *Plant Cell Environ.* 1986, vol. 9, p. 239-260.
- [28] ABD ELMONEIM, O. E., ABDULLAHI, H. E. Effect of Cysteine on Bakery Products from Wheat–Sorghum Blends. *Food Chem.* 2002, vol.77, p. 133-137.

- [29] COLLADO, M., LEYN, I. D. Relationship Between Loaf Volume and Gas Retention of Dough During Fermentation. *Cereal Foods World*. 2000, vol. 45, p. 214–218.
- [30] BOLLAÍN, C., COLLAR, C. Dough Viscoelastic Response of Hydrocolloid/ Enzyme/Surfactant Blends Assessed by Uni- and Bi-axial Extension Measurements. *Food Hydrocolloids*. 2004, vol. 18, p. 499–507.
- [31] ELKHALIFA, A. E. O., EL-TINAY, A. H. Effect of Cysteine on Bakery Products from Wheat–Sorghum Blends. *Food Chem.* 2002, vol. 77, p. 133–137.
- [32] POMERANZ, Y. *Composition and Functionality of Wheat Flour Components*. Wheat Chemistry and Technology, 3rd ed. POMERANZ, Y. (ed.) Am. Assoc. Cereal Chem. St Paul, MN: 1988, vol. 2, p. 219-230.
- [33] SRINIVASAN, M., WANISKA, R. D., ROONEY, L. W. Effects of Ingredients and Processing on Dough Rheology of Wheat Flour Tortillas. *Food Sci. Tech. Int.* 2000, vol. 6, p. 331–338.
- [34] COLLAR, C., MARTÍNEZ, J. C., ANDREU, P., ARMERO, E. Effects of Enzyme Association on Bread Dough Performance. A Response Surface Analysis. *Food Sci. Tech. Int.* 2000, vol. 6, p. 217–226.
- [35] COLLAR, C., BOLLAÍN, C. Impact of Microbial Transglutaminase on the Viscoelastic Profile of Formulated Bread Doughs. *European Food Research and Technology*. 2004, vol. 218, p. 139–146.
- [36] MITA, T., BOHLIN, L. Shear Stress Relaxation of Chemically Modified Gluten. *Cereal Chem.* 1983, vol. 60, p. 93.
- [37] HLYNKA, I. Effect of Bisulphite, Acetaldehyde and Similar Reagents on the Physical Properties of Dough and Gluten. *Cereal Chem.* 1949, vol. 26, p. 307–316.
- [38] FRATER, R., HIRD, F. J. R., MOSS, H. J., YATES, J. R. A Role for Thiol and Disulphide Groups in Determining the Rheological Properties of Dough Made from Wheat Flour. *Nature (London)*. 1960, vol. 186, p. 451.
- [39] BLOKSMA, A. H. Rheology of Bread Making Process. *Cereal Foods World*. 1990b, vol. 35, p. 228–236.
- [40] DOBRASZCZYK, B. J., MORGENSTERN, M. P. Rheology and the Breadmaking Process. *J. Cereal Sci.* 2003, vol. 38, p. 229–245.
- [41] NAEEM, H. A., DARVEY, N. L., GRAS, P. W., MACRITCHIE, F. *Cereal Chem.* 2002, vol. 79, p. 332–339.
- [42] KILBORN, R. H., TIPPLES, K. H. Implications of the Mechanical Development of Bread Dough by Means of Sheetting Rolls. *Cereal Chem.* 1974, vol. 51, p. 648–657.
- [43] SLIWINSKI, E. L., KOLSTER, P., VLIET, T. Large-Deformation Properties of Wheat Dough in Uni- and Biaxial extension. Part I. Flour Dough. *Rheol. Acta*. 2004, vol. 43, p. 306-320.
- [44] ROSS, K. A., PYRAK-NOLTE, L. J., CAMPANELLA, O. H. The Use of Ultrasound and Shear Oscillatory Tests to Characterize the Effect of

- Mixing Time on the Rheological Properties of Dough. *Food Research International*. 2004, vol. 37, p. 567–577.
- [45] MANI, K., ELIASSON, A. C., LINDHAL, L., TRAGARDH, C. Rheological Properties and Breadmaking Quality of Wheat Flour Doughs Made with Different Dough Mixers. *Cereal Chem.* 1992, vol. 69, p. 222–225.
- [46] KILBORN, R. H., TIPPLES, K. H. Factors Affecting Mechanical Dough Development. IV. *Cereal Chem.* 1973, vol. 50, p. 70-86.
- [47] MOSS, R. Bread Microstructure as Affected by Cysteine, Potassium Bromate and Ascorbic Acid. *Cereal Foods World*. 1975, vol. 20, p. 289-292.
- [48] SULLIVAN, B., HOWE, M., SCHMALZ, F. D., ASTLEFORD, G. R. The Action of Oxidizing and Reducing Agents on Flour. *Cereal Chem.* 1940, vol. 17, p. 507-528.
- [49] HOLLER, T. P., HOPKINS, P. B. A Qualitative Fluorescence Based Assay For Tyrosyl Radical Scavenging Activity: Ovothiol A is an Efficient Scavenger. *Anal. Biochem.* 1989, vol. 180, p. 326 -330.
- [50] KOH, B. K., KARWE, M. V., SCHAICH, K. M. Effects of Cysteine on Free Radical Production and Protein Modification in Extruded Wheat Flour. *Cereal Chem.* 1996, vol. 73, p. 115-122.
- [51] TILLEY, K. A., BENJAMIN, R. E., BAGOROGOZA, K. E., OKOT-KOTBER, B. M., PRAKASH, O., KWEN, H. Tyrosine Cross-Links: Molecular Basis of Gluten Structure and Function. *J. Agric. Food Chem.* 2001, vol. 49, p. 2627-2632.
- [52] FRATER, R., HIRD, J. F. R., MOSS, H. J., YATES, J. R. A Role for Thiol and Disulphide Groups in Determining the Rheological Properties of Dough Made from Wheat Flour. *Nature*. 1960, vol. 186, p. 451-454.
- [53] HRUŠKOVÁ, M., NOVOTNÁ, D. Effect of Ascorbic Acid on the Rheological Properties of Wheat Fermented Dough. *Czech J. Food Sci.* 2003, vol. 21, p. 137-144.
- [54] SHEWRY, P.R., TATHAM, A.S. *Wheat Gluten*. Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry, 2000. 271–282 p. ISBN 0-85404-865-0.
- [55] BLOKSMA, A.H. Effect of Potassium Iodate on Creep and Recovery and on Thiol and Disulphide Contents of Wheat Flour Doughs. In *Rheology and Texture of Foodstuffs*. 1968, p. 153–166.
- [56] COLE, M.S. An Overview of Modern Dough Conditioners. *Bakers Digest*. 1973, vol. 47, p. 21–23, p. 64.
- [57] BRADY, J. D., SADLER, I. H., FRY, S. C. Di-Isodityrosine, a Novel Tetrameric Derivative of Tyrosine in Plant Cell Wall Proteins: a New Potential Cross-Link. *J. Biochem.* 1996, vol. 315, p. 323-327.
- [58] PENA, E., BERNARDO, A., SOLER, C., JOUVE, N. Do Tyrosine Crosslinks Contribute to the Formation of the Gluten Network in Common

- Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Dough?. *J. Cereal Sci.* 2006, vol. 44, p. 144-153.
- [59] KENT, N. L., EVERS, A. D. *Technology of Cereals* (4th Edition). Oxford: Pergamon Press., 1994. 352 p. ISBN 1-85573-361-7.
- [60] CHAMBERLAIN, N. Gases – the Neglected Ingredients, in Proceedings of the 49th Conference of the British Society of Baking. *British Society of Baking*, 1979, p. 12–17.
- [61] BLOKSMA, A. H., BUSHUK, W. *Rheology and Chemistry of Dough*. In: Pomeranz, Y. *Wheat Chemistry and Technology*. (ed.) St. Paul, MN: Am. Assoc. Cereal Chem. 1988, vol. 2, p. 407-420.
- [62] FARIDI, H., FAUBION, J. M. *Dough Rheology and Baked Product Texture*. New York (USA): Van Nostrand Reinhold, 1990. ISBN 04-423-17964. Bibliography, <http://www.fao.org/agris/>.
- [63] JANSSEN, A. M., VLIET, T., VEREIJKEN, J. M. Fundamental and Empirical Rheological Behaviour of Wheat Flour Doughs and Comparison with Bread Making Performance. *J. Cereal Sci.* 1996, vol. 23, p. 43–54.
- [64] PETROFSKY, K. E., HOSENEY, R. C. Rheological Properties of Dough Made with Starch and Gluten from Several Cereal Sources. *Cereal Chem.* 1995, vol.72, p. 53-58.
- [65] WEIPERT, D. The Benefits of Basic Rheometry in Studying Dough Rheology. *Cereal Chem.* 1990, vol. 67, p. 311-317.
- [66] HIBBERD, G. E. Dynamic Viscoelastic Behavior of Wheat Flour Doughs. Part II. Effects of Water Content in the Linear Region. *Rheol. Acta.* 1970a, vol. 9, p. 497-500.
- [67] NARPINDER, S., INDERPREET, K. B., SINGH, R. P., HARDEEP, S. G. Effect of Different Additives on Mixograph and Bread Making Properties of Indian Wheat Flour. *J. Food Eng.* 2002, vol. 56, p. 89–95.
- [68] Tanner, R. I., Qi, F., Dai, S. C. Bread Dough Rheology and Recoil I. Rheology. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 2008, vol. 148, p. 33-40.
- [69] UTHAYAKUMARAN, S., NEWBERRY, M., PHAN-THIEN, N., TANNER, R. I. Small and Large Strain Rheology of Wheat Gluten. *Rheol. Acta.* 2002, vol. 41, p. 162-172.
- [70] BLOKSMA, A.H. Dough Structure, Dough Rheology, and Baking Quality. *Cereal Foods World.* 1990, vol. 35, p. 237-244.
- [71] ČSN 56 0116-3, Metody zkoušení pekařských výrobků, Část 3: Stanovení obsahu vody, 1995, s. 1-5.
- [72] DACHKEVITCH, T., AUTRAN, J. C. Prediction of Baking Quality of Bread Wheats in Breeding Programs by SE - HPLC. *Cereal Chem.* 1989, vol. 66, p. 448 – 456.

- [73] HUBÍK, K. Využití SE-HPLC analýzy prolaminových zásobních bílkovin pro predikci technologické jakosti odrůd ozimé pšenice. *Rostlinná výroba*, 2000, vol. 46, p. 213-217.
- [74] AACC Method 54-50, Determination of the water absorption of wheat flours and of physical properties of wheat flour doughs using the Consistograph, AACC 1999.
- [75] AACC Method 54-30A, Alveograph method for wheat flour (soft and hard), AACC 1994.
- [76] ČSN ISO 8586-1 Senzorická analýza – Obecná směrnice pro výběr, výcvik a sledování činnosti posuzovatelů – Část 1: Vybraní posuzovatelé, 2002, s.1-7.
- [77] ČSN ISO 8586-2, Senzorická analýza – Obecné směrnice pro výběr, výcvik a sledování činnosti posuzovatelů – Část 2: Experti, Český normalizační institut, 1999, s.16.
- [78] ČSN ISO norma 5530-4, Pšeničná mouka – Fyzikální charakteristiky těst 1, Stanovení vaznosti a reologických vlastností na alveografu.
- [79] Vyhláška Ministerstva zemědělství ČR č.304/2004 Sb., v platném znění.



## SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

### *Články v ostatních vědeckých a odborných časopisech ve světovém jazyce*

- PEČIVOVÁ, P., PAVLÍNEK, V., HRABĚ, J., KRÁČMAR, S.: The influence of reducing and oxidising agents on the rheology of wheat flour dough. /*Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun/.*, 2008, 56, 5, 163---170 ISSN: 1211-8516.

### *Príspevky v recenzovaných sbornících z konferencí v jiném než světovém jazyce*

- PEČIVOVÁ P., PAVLÍNEK V., HRABĚ J. Vliv přídavku 1-monoacylglycerolů na reologii pšeničného těsta a sensorickou jakost výrobků. In. *Zborník prác z medzinárodnej vedeckej konferencie, II. diel. Bezpečnosť a kontrola potravín*, Nitra, 2007, p. 407- 411. ISBN 978-80-8069-861-4.

### *Príspevky v recenzovaných sbornících z konferencí ve světovém jazyce*

- PEČIVOVÁ P., , HRABĚ J., PAVLÍNEK V. The influence the additive on rheology of the wheat flour dough. In. *Zborník prác z medzinárodnej vedeckej konferencie. Rizikové faktory potravného reťazca VII.*, Nitra, 2007, p. 171- 173. ISBN 978-80-8069-948-2.
- PEČIVOVÁ P., PAVLÍNEK V, HRABĚ J., KRÁČMAR S. Effect of combination of amino acids on the rheological properties of wheat dough. In. *Sborník příspěvků V. ročníku mezinárodní konference. PROTEINY 2008 mezinárodní vědecká konference*, Zlín, 2008, p. 141-144. ISBN 978-80-7318-706-4.
- PEČIVOVÁ P., HRABĚ J., HOZA I., OTAKAR R. The influence of L-threonine and L-tryptophan on rheology of wheat dough. In. *Zborník vedeckých prác z III. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou spojená s 5. výročím vzniku FBP SPU v Nitre. Bezpečnosť a kvalita surovín a potravín*, Nitra, 2008, p. 437-440. ISBN 978-80-8069-996-3.
- PEČIVOVÁ P., HRABĚ J., PAVLÍNEK V. The influence of amino acids on rheology of wheat dough. Book of abstracts. 4<sup>th</sup> Central European Congress on Food 6<sup>th</sup> Croatian Congress of food technologists, biotechnologists, and nutritionists, Cavtat, Croatia, 2008, p. 85. ISBN 978-953-99725-2-1.

## CURRICULUM VITAE

**Jméno:** Ing. Pavlína Pečivová  
**Adresa:** Sídliště svobody 1/3, 796 01 Prostějov  
**Telefon:** +420 777 018 152  
**E-mail:** pecivova@ft.utb.cz  
**Datum narození:** 2. ledna 1983  
**Stav:** svobodná

### *Vzdělání:*

1995 – 2001 Gymnázium JW Prostějov  
2001 – 2003 VVŠ PV ve Vyškově  
2003 – 2006 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav potravinářského inženýrství, studijní obor Ekonomika a hygiena výživy  
2006-doposud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav potravinářského inženýrství, doktorský studijní program Technologie potravin

### *Pracovní zkušenosti:*

2006 měsíční praxe na SZPI Olomouc  
IX/2006 – I/2009 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav potravinářského inženýrství  
II/2009 – doposud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav technologie a mikrobiologie potravin

### *Jazykové znalosti:*

- anglický jazyk – aktivně slovem i písmem (úroveň pokročilá)
- francouzský jazyk – pasivně

### *Dovednosti:*

- Práce s PC MC Office (Word, Excel, PowerPoint, Outlook), Windows 3.11-Vista, Internet Explorer, Mozilla suit, Microcal Origin, Grapher, Chemsketch, Adobe Photoshop
- Ostatní řidičský průkaz skupiny B

**Reference:**

doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.  
vědecko – pedagogický pracovník, Ústav  
potravinářského inženýrství, Univerzita Tomáše Bati  
ve Zlíně, fakulta technologická, nám. T. G. Masaryka  
275, 762 72 Zlín

## **Příloha A: Vzor protokolu pro senzorické hodnocení vzorků bulek**

### **Senzorické hodnocení vzorků bulek**

Jméno:

Datum:

U 4 předložených vzorků bulek proveďte hodnocení :

1. Seřadte vzorky podle pořadového preferenčního testu do pořadí od č.1 (nejpreferovanější) až po č.4 (nejméně preferovaný)

<b>Označení vzorku</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Pořadí</b>				

2. Proveďte párový preferenční test u následujících dvojic vzorků bulek a zakroužkujte přijatelnější (preferovaný vzorek)

Pár vzorků A nebo B

Pár vzorků A nebo C

Pár vzorků A nebo D

Pár vzorků B nebo C

Pár vzorků B nebo D

Pár vzorků C nebo D

### **HODNOCENÍ TEXTURY (KONZISTENCE) VZORKŮ BULEK**

1. Hodnocení konzistence vzorků bulek při prvním kousnutí (dílčí profily).  
Odpovídající hodnocení zakřížkujte

#### **a) Suchost bulek**

<b>Vzorek</b>	<b>Velmi suchá</b>	<b>Suchá</b>	<b>Středně suchá</b>	<b>Vlhká</b>	<b>Velmi vlhká</b>
	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					

## HODNOCENÍ TEXTURY (KONZISTENCE) BĚHEM ŽVÝKÁNÍ

### a) Gumovitost (pružnost)

Vzorek	Velmi vysoká	Značná	Střední	Malá	Nepatrná
	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					

### b) Vláčnost (žvýkatelnost) bulek

Vzorek	Velmi značná	Dosti vysoká	Prostřední	Dosti malá	Velmi malá
	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					

### c) Pocit při polykání sousta

Vzorek	Velmi snadné, příjemné	Snadné, hladké	Průměrné	Horší, vázne v krku	Špatné, vázne, škrábe, lepí se
	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					

CELKOVÉ (KOMPLEXNÍ) HODNOCENÍ JAKOSTI A TEXTURY  
VZORKŮ BULEK (CELKOVÝ SENZORICKÝ PROFIL)

Na hodnocení použijte přiloženou pětibodovou kategorovou stupnici. Celkové hodnocení jakosti proveďte označením v příslušné kolonce: jakosti **O** a textury **X**

<b>Vzorek</b>	<b>Vynikající</b>	<b>Velmi dobrá</b>	<b>Dobrá, průměrná</b>	<b>Špatná</b>	<b>Velmi špatná, nevyhovující</b>
	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					

DEFINICE POUŽITÉ PĚTIBODOVÉ KATEGOROVÉ STUPNICE PRO  
VZORKY BULEK

<b>Stupeň</b>	<b>Označení stupně (jakosti)</b>	<b>Definice stupně</b>
<b>1</b>	<b><i>Vynikající</i></b>	Bulka má chuť a vůni po použitých surovinách, čistou bez cizích pachů a příchutí, dostatečně výraznou, jemnou a lahodnou. Výrobek vykazuje odpovídající čerstvou chuť pečiva. Textura (konzistence) bulek je vláčná na skusu, velmi dobře polykatelná.
<b>2</b>	<b><i>Velmi dobrá</i></b>	Chuť a vůně harmonická, čistá. Cizí příchuti jsou nepřijatelné, připouští se méně výrazná vůně. Textura bulek je vláčná, dobře polykatelná, měkká, homogenní.
<b>3</b>	<b><i>Dobrá, průměrná</i></b>	Výrobek má průměrnou jakost, objevují se drobné vady v hodnoceném znaku, které však nijak výrazně neovlivní jakost. Vůně a chuť je prázdnější, málo výrazná, málo harmonická. Textura je vláčná, dobře polykatelná, měkká, homogenní.
<b>4</b>	<b><i>Špatná</i></b>	Výrobek má dílčí odchylky od standardní jakosti, s určitými výhradami je však přijatelný. Chuť neharmonická, kyselejší, slanější, cizí příchut' aj. Textura bulek je suchá nebo příliš mazlavá, střída nepropečená, hůře polykatelná, slabě rozpadavá apod.
<b>5</b>	<b><i>Velmi špatná, nevyhovující</i></b>	Výrobek je netypické chuti (např. přesolený, příliš kyselý s kvasničnou či cizí příchutí), vůně je cizí, netypická, po plísni, zatuchlá apod. Textura je suchá, rozpadavá nebo silně mazlavá, těžko polykatelná, gumovitá aj.

## Příloha B: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 18: K – kontrolní vzorek, 2A+TRE1 – kyselina L-askorbová a  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-threoninu; 2A+TRE2 – kyselina L-askorbová a  $14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-threoninu; 2A+TRE3 – kyselina L-askorbová a  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-threoninu.

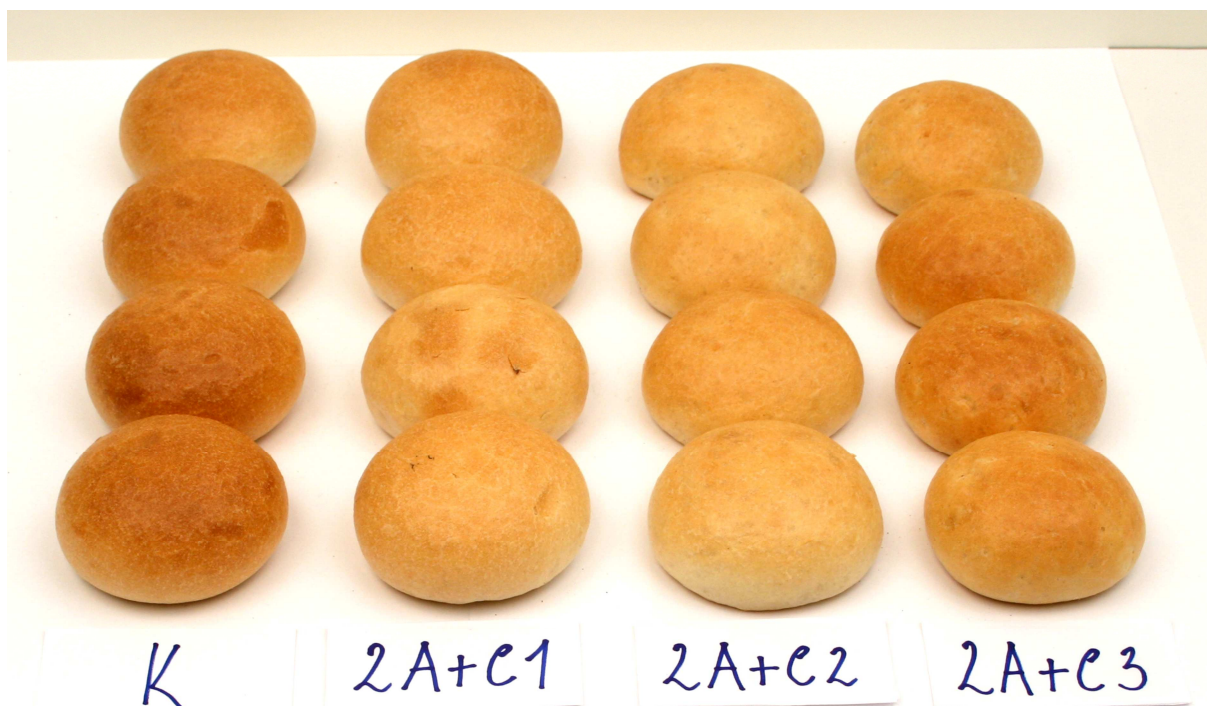


## Příloha C: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



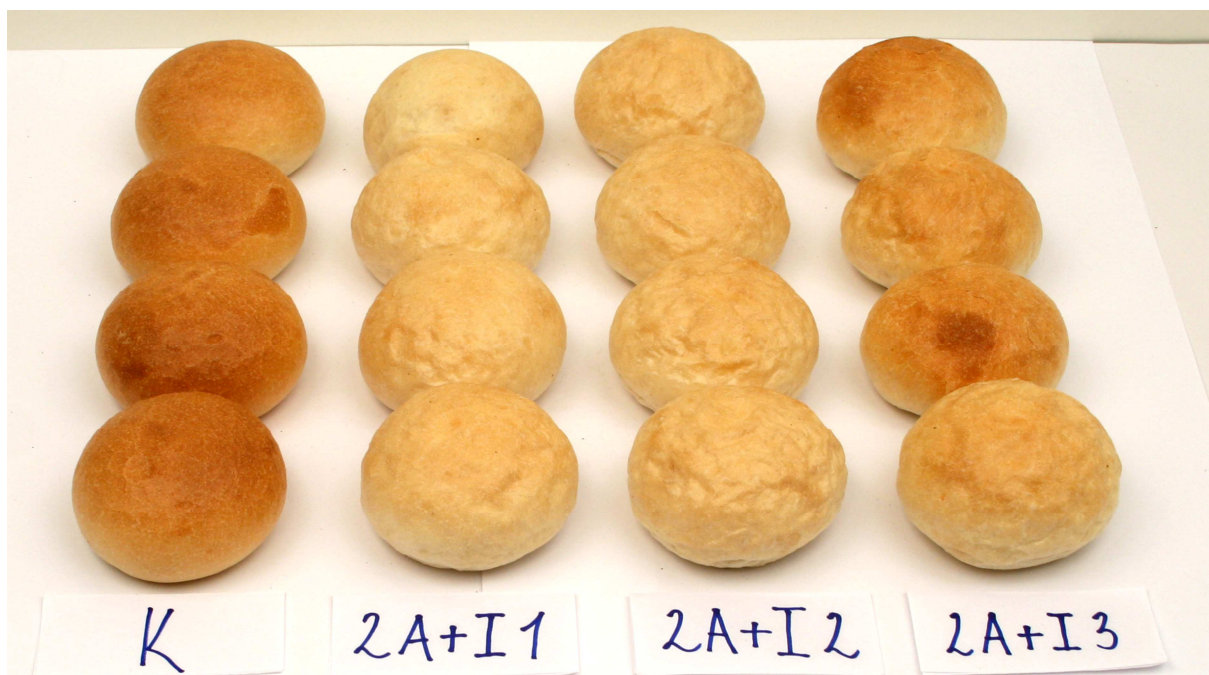
Obr. 19: K – kontrolní vzorek, 2A+TRY1 – kyselina L-askorbová a  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-tryptofanu; 2A+TRY2 – kyselina L-askorbová a  $14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-tryptofanu; 2A+TRY3 – kyselina L-askorbová a  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m L-tryptofanu.

## Příloha D: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 20: K – kontrolní vzorek, 2A+C1 – kyselina L-askorbová a  $1,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m L – cysteinu hydrochloridu monohydrátu; 2A+C2 – kyselina L-askorbová a  $2,4 \cdot 10^{-2}$  % m/m L – cysteinu hydrochloridu monohydrátu; 2A+C3 – kyselina L-askorbová a  $3,2 \cdot 10^{-2}$  % m/m L – cysteinu hydrochloridu monohydrátu.

## Příloha E: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 21: K – kontrolní vzorek, 2A+I1 – kyselina L-askorbová a  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2A+I2 – kyselina L-askorbová a  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2A+I3 – kyselina L-askorbová a  $24,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí.



## Příloha F: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 22: K – kontrolní vzorek, 2C+I1 – L-cystein p.a. a  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2C+I2 – L-cystein p.a. a  $14,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí; 2C+I3 – L-cystein p.a. a  $18,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m glutathionu – inaktivovaného droždí.

## Příloha G: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 23: K – kontrolní vzorek, TRE1 - *L*-threonin  $2,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m; TRE2 - *L*-threonin  $3,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m; TRE3 - *L*-threonin  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m.

## Příloha H: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 24: K – kontrolní vzorek, TRE1 -  $L$ -threonin  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m; TRE2 -  $L$ -threonin  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m.

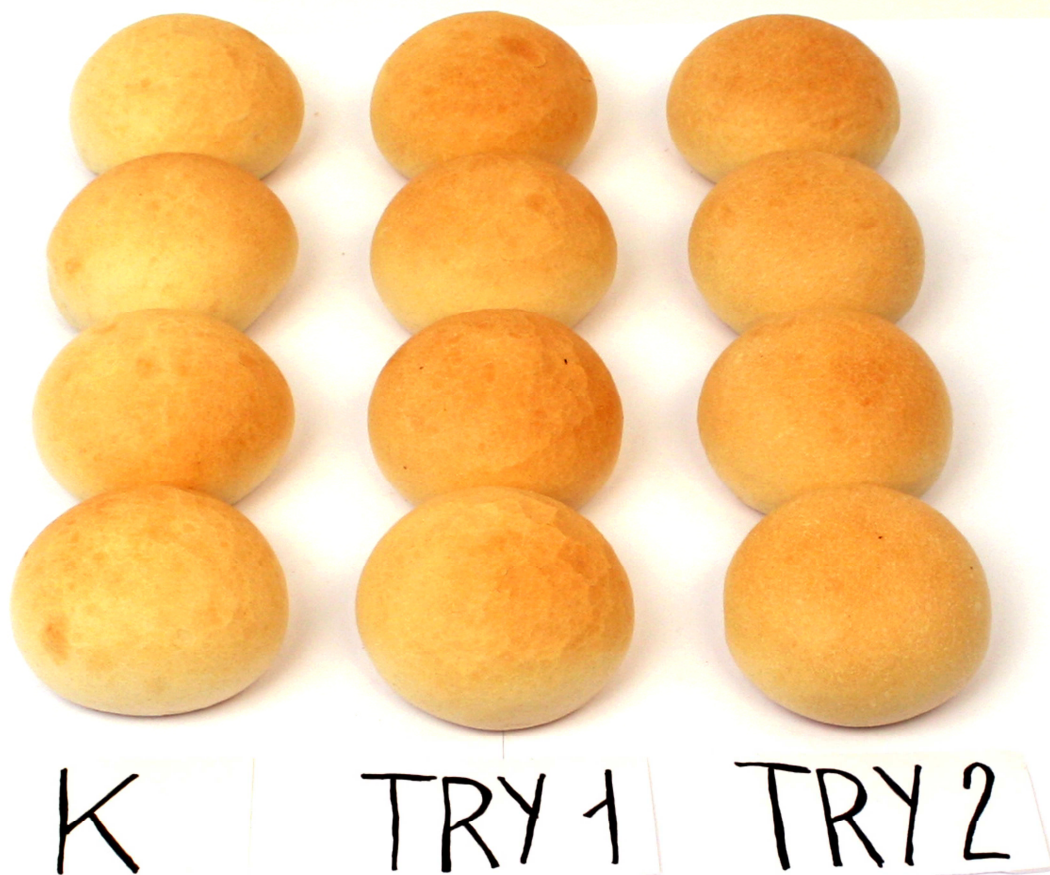


## Příloha I: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 25: K – kontrolní vzorek, TRY1 -  $L$ -tryptofan  $2,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m; TRY2 -  $L$ -tryptofan  $3,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m; TRY3 -  $L$ -tryptofan  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m.

## Příloha J: Vzorčky bulek s použitými přídatnými látkami



Obr. 26: K – kontrolní vzorek, TRY1 - *L*-tryptofan  $6,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m; TRY2 - *L*-tryptofan  $10,0 \cdot 10^{-2}$  % m/m.