

Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na reološka i pastozna svojstva škroba pšenice

Ivana Ljubić Herceg¹, D. Šubarić¹, J. Babić¹, Z. Herceg^{2*}

¹Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

²Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

originalni znanstveni rad

Sažetak

Svrha ovog rada je ispitati utjecaj ultrazvuka visokog i niskog intenziteta na reološka i pastozna svojstva suspenzija škroba pšenice. Ispitivane suspenzije sadrže 10 % pšeničnog škroba te su neposredno nakon pripreme procesirane ultrazvukom. Sva ispitivanja provedena su prije i nakon ultrazvučne obrade u ultrazvučnoj kupelji frekvencije 22 kHz, nominalne snage 150 W te ultrazvučnom sondom frekvencije 24 kHz, nominalne snage 100, 300 i 400 W. Vrijeme ultrazvučne obrade svih uzoraka bilo je 15 i 30 minuta. Reološka svojstva određena su primjenom rotacionog reometra Rheometric Scientific RM-180 pri temperaturi od 20 °C, a pastozna svojstva škrobnih suspenzija određena su primjenom Micro Visco-Amylo-Graph, Brabender Ohg Duisburg, Njemačka po metodi ICC Standard 126/1. Ultrazvučna obrada uzrokuje mehaničko oštećenje škrobne granule čime njena unutrašnjost postaje dostupnija vodi tijekom zagrijavanja što ima za posljedicu značajne promjene reoloških i pastoznih svojstava škrobnih suspenzija. Reološki parametri pokazuju da sve suspenzije imaju ne-Newtonski karakter, a ultrazvučni tretmen uzrokovao je značajno povećanje koeficijenta konzistencije svih ispitivanih sustava. Ultrazvučnim procesiranjem došlo je do značajnog sniženja temperature želatinizacije kod svih škrobnih suspenzija. Značajno smanjenje početnih temperatura želatinizacije upućuje na raniji stupanj bubrenja granule tijekom zagrijavanja.

Ključne riječi: pšenični škrob, ultrazvuk visokog intenziteta, reološka svojstva, želatinizacija

Uvod

Prehrambena industrija u posljednje vrijeme pokazuje veliki interes za razvoj postupaka koji omogućuju minimalno procesiranje hrane, a mogli bi zamijeniti standardne postupke konzerviranja koji su trenutno u primjeni. Rezultati istraživanja ukazuju da neke od novih metoda procesiranja hrane (visoki hidrostatski tlak, ultrazvuk, oscilirajuće magnetsko polje, pulsirajuće električno polje i elektromagnetsko zračenje) mogu u potpunosti zamijeniti pojedine standardne, pri čemu se dobivaju proizvodi boljih organoleptičkih svojstava i veće nutritivne vrijednosti, postiže se ušteda energije te skraćuje trajanje tehnološkog procesa. Zajedničko svim navedenim postupcima je da se tretiranje materijala odvija pri sobnoj temperaturi, odnosno da dolazi do neznatnog povišenja temperature kao posljedice procesiranja te da sam proces traje kratko vrijeme (Huang Lionetto i ost., 2006; Huang i ost., 2007). Uz primjenu visokog tlaka u konzerviranju hrane, najdalje se je otišlo u istraživanju primjene ultrazvuka visoke nominalne snage. Navedena tehnika se pokazala kao vrlo uspješna tehnika obrade različitih prehrambenih proizvoda, pri čemu su dobiveni proizvodi komplementarni proizvodima

dobivenim klasičnim postupcima obrade (Gronroos, 2008; Huang, 2007; Lionetto, 2006). Danas se ultrazvuk u prehrambenoj industriji uspješno primjenjuje u procesima emulgiranja, homogeniziranja, dispergiranja, modificiranja viskoznosti i teksture. Dosadašnja istraživanja ukazuju da ultrazvuk utječe na fizikalna svojstva biološkog materijala te je stoga pri primjeni ove tehnike u obradi hrane bitno poznavati ponašanje pojedinih sastojaka kako bi se mogao procijeniti utjecaj obrade ultrazvukom na svojstva tretiranih proizvoda, odnosno da bi se ciljano mogla mijenjati određena svojstva. Jedan od čistih sastojaka namirnica, bilo da dolazi kao sastojak sirovina ili se dodaje u svrhu postizanja ili poboljšanja određenih svojstava je škrob. Značajna je primjena škroba u prehrambenoj industriji gdje se koristi kao sredstvo za ugušćivanje, stabiliziranje koloidnih sustava, zadržavanje vlage, vezanje arome, kao sredstvo za želiranje, poboljšanje kakvoće proizvoda i dr. Izolacijom škroba iz prirodnih izvora, kao što su sjemenke i plodovi žitarica, dobiva se nativni škrob koji zadržava originalnu strukturu i karakteristike. Nativni škrob zbog svojih svojstava kao što je retrogradacija i nestabilnost u kiselim uvjetima, a što rezultira sinerezom i nestabilnom teksturom, zatim

malom stabilnošću pri visokim temperaturama te problemima vezanim za želatinizaciju ima relativno malu i ograničenu primjenu u prehrambenoj industriji (Flores i Liang, 1994, Povey, 1998). Provođenjem različitih postupaka modifikacije primjenom kemijskih, fizikalnih i enzimskih postupaka ili njihovom kombinacijom moguće je dobiti veliki broj modificiranih škrobova svojstava različitih od nativnog i različitih mogućnosti primjene kako u prehrambenoj tako i u drugim industrijama (Czechowska-Biskup, 2005; Tester, 2004; Flint, 1991; Suslick, 1988; Singh, 2003; Singh, 2008; Wang, 2004; Kaur i Singh, 2005). Budući da postoje naznake da bi obrada škroba ultrazvukom visoke nominalne snage mogla modificirati škrob, odnosno utjecati na njegova fizikalno-kemijska svojstva, svrha ovoga rada bila je istražiti na koji način ultrazvuk visokog i niskog intenziteta različitih frekvencija i

snage te duljina tretiranja može utjecati na reološka i pastozna svojstva suspenzija pšeničnog škroba.

Materijal i metode rada

U ovom radu, istraživanju, korišten je škrob pšenice komercijalnog naziva (C-gel 2006) čiji je sastav deklarirao proizvođač Cargill Benelux BV, SAS van Gent, Holland. Prema deklaraciji proizvođača udio vode bio je 12,60 %, a udio škroba 87,40 %. pH 10 %-tne škrobne suspenzije je 6,7.

Priprema suspenzija:

10 %-tna suspenzija pripremljena je miješanjem odgovarajuće količine škroba pšenice u prahu sa destiliranom vodom. Pripremljene škrobne suspenzije su homogenizirane na magnetskoj miješalici te na odgovarajući način obrađene ultrazvukom (Tablica 1).

Tablica 1. Način pripreme te obrade ultrazvukom visokog intenziteta 10 % suspenzije pšeničnog škroba
Table 1. Labels of samples and treatment times

Oznaka uzorka*	Tretiranje	Nominalna snaga ultrazvuka (W)	Vrijeme obrade (min)
P1	-	-	-
P2	Ultrazvučna kupelj	150	15
P3	Ultrazvučna kupelj	150	30
P4	Ultrazvučna sonda	100	15
P5	Ultrazvučna sonda	100	30
P6	Ultrazvučna sonda	300	15
P7	Ultrazvučna sonda	300	30
P8	Ultrazvučna sonda	400	15
P9	Ultrazvučna sonda	400	30

Obrada suspenzije pšeničnog škroba ultrazvučnim procesorom UP 400S

Ultrazvučni procesor koji je korišten u ovom istraživanju je model UP 400S, proizvođač - „Dr.Hielscher“ GMBH, Teltow, Njemačka. Karakteristike ovog ultrazvučnog procesora su: efektivna izlazna snaga – 400W, 230 V strujnog napon, frekvencija ultrazvuka – 24kHz, amplituda 12-260 μ m. Pripremljeno je 500 ml 10 %-tne suspenzije pšeničnog škroba u Erlenmayer-ovoj tikvici. Tako pripremljena suspenzija škroba tretirana je ultrazvučnom sondom promjera 7 mm, izlazne snage ultrazvuka 100, 300 i 400 W te frekvencije 24 kHz. Tretiranje je trajalo 15 minuta i 30 minuta, s konstantnim ciklusom od 100 %.

Obrada suspenzije pšeničnog škroba ultrazvučnom kupelji

Pripremljene škrobne suspenzije volumena 500 ml stavljene su u ultrazvučnu kupelj te tretirane ultrazvukom frekvencije 22 kHz u vremenu 15 i 30 minuta (uzorci P2, P3). Ultrazvučni pretvarač nominalne snage 150 W je priključen na vanjsku površinu ultrazvučne kupelji unutar koje se nalazi 500 ml modelne suspenzije škroba pšenice te je škrobna suspenzija bila izložena kontinuiranom djelovanju ultrazvučnih valova sa stjenke ultrazvučne kupelji.

Određivanje intenziteta primijenjenog ultrazvuka

Budući da ultrazvučna obrada tekućine stvara toplinu, praćenje temperature tekućine u funkciji vremena vodi ka izračunavanju ukupne ultrazvučne snage (W) prema izrazu Margulis i Margulis (2003):

$$P = m \times c_p \times \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

gdje je:

P – ukupna ultrazvučna snaga (W), m – masa tretirane tekućine (g), c_p – specifični toplinski kapacitet tekućine kod konstantnog tlaka (J/kgK), dT/dt – koeficijent smjera krivulje ovisnosti temperature o vremenu tijekom ultrazvučne obrade. Intenzitet ultrazvuka izražen je u W po jedinici emitirajuće površine odnosno površine sonde (W/cm^2).

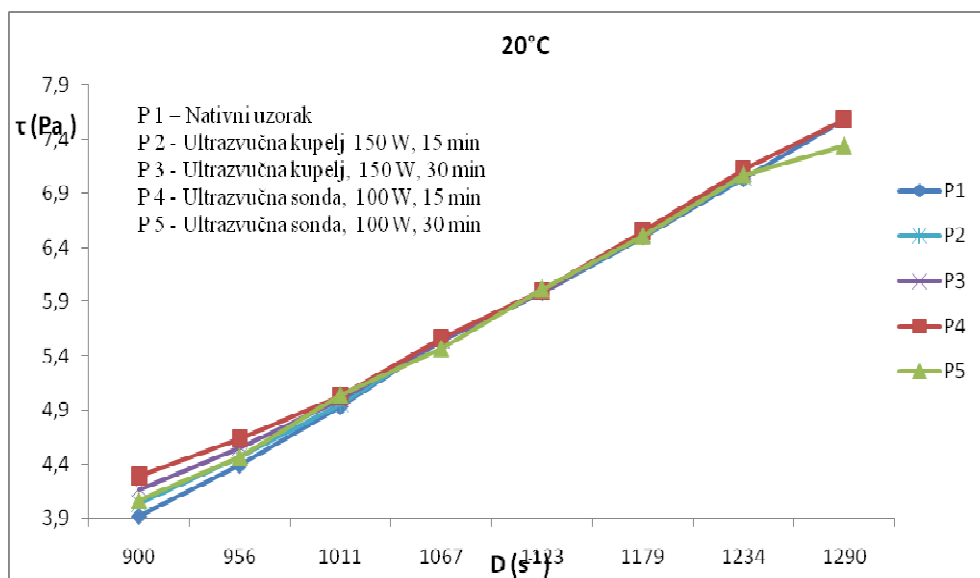
Određivanje reoloških svojstava škrobnih suspenzija

Sva mjerenja reoloških svojstava obavljena su na rotacionom reometru Rheometric Scientific RM – 180 pri temperaturi od 20 °C. Na osnovi izmjerenih podataka (brzina i napon smicanja) izračunati su reološki parametri (koeficijent konzistencije i indeks tečenja) primjenom metoda linearne regresije. Koeficijent konzistencije k ($Pa \cdot s^n$) jednak je antilogaritamskoj vrijednosti konstante linearne regresije vrijednosti smičnog naprezanja i brzine smicanja, a indeks tečenja odgovara koeficijentu linearne regresije. Za izračunavanje reoloških parametara upotrijebljen je Ostwald-de Waele-ov zakon:

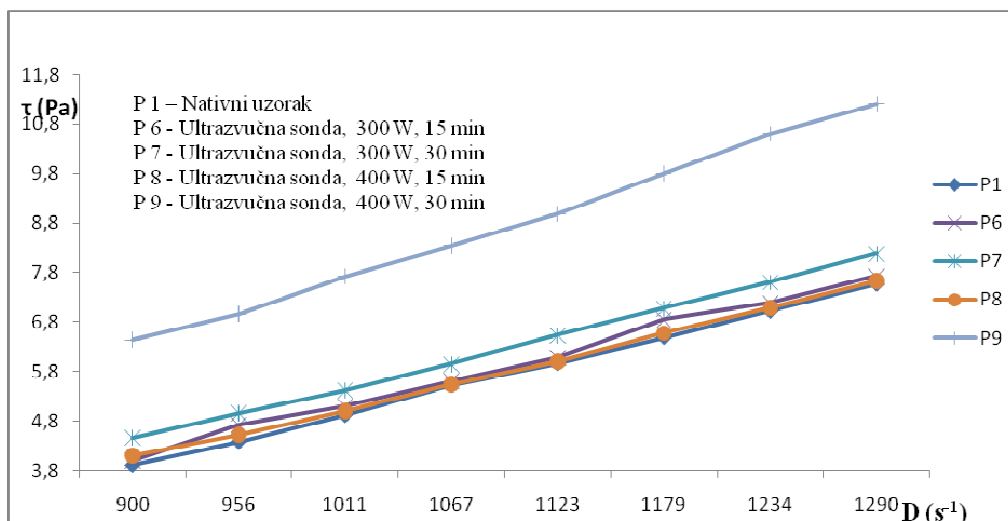
$$\tau = k \cdot D^n \quad (2)$$

gdje je:

τ - napon smicanja (Pa), k - koeficijent konzistencije ($Pa \cdot s^n$), D - brzina smicanja (s^{-1}), n – indeks tečenja.



Slika 1. Ovisnost napona smicanja o brzini smicanja suspenzija pšeničnog škroba prije i nakon ultrazvučne obrade
Fig. 1. Relationship between shear rate and shear stress of native and ultrasonically modified wheat starch suspensions



Slika 2. Ovisnost napona smicanja o brzini smicanja suspenzija pšeničnog škroba prije i nakon ultrazvučne obrade
Fig. 2. Relationship between shear rate and shear stress of native and ultrasonically modified wheat starch suspensions

Određivanje pastoznih svojstava škrobnih suspenzija

Svojstva želatinizacije škrobnih suspenzija određene su pomoću uređaja Micro Visco-Amylo-Graph, Brabender Ohg Duisburg, Njemačka po metodi ICC Standard 126/1. Tijekom određivanja svojstava želatinizacije uzorci su bili podvrgnuti temperaturnom programu zagrijavanja od 30 do 93 °C, brzinom zagrijavanja od 7,5 °C/min. Uzorci su se zadržavali 1 min na temperaturi od 52 °C i 5 min na maksimalnoj temperaturi od 93 °C. Iz dobivenih krivulja očitane su sljedeće vrijednosti: početak želatinizacije (°C), maksimalna viskoznost (BU), pad viskoznosti tijekom hlađenja (BU) i porast viskoznosti tijekom zagrijavanja (BU).

Rasprava

Širenje akustičnog vala kroz medij uzrokuje različite promjene od kojih su najznačajnije zagrijavanje, kavitacija, strukturni učinci, kompresija i širenje,

turbulencije i drugi. Kao posljedica navedenih promjena moguća je pojava selektivnog povišenja temperature kao rezultat specifične apsorpcije akustične energije (Tablica 2). Akustična kavitacija uključuje stvaranje, rast i snažan raspad malih mjehurića ili praznina u tekućini kao rezultat fluktuacije tlaka budući da je svaki element volumena izložen različitom tlaku. Zbog visokih frekvencija ultrazvuka, implozivno nestajanje mjehura je adijabatski proces koji dovodi do brzog, prolaznog porasta temperature do cca 5000 °K u plinskoj fazi kod urušavanja mjehurića, i iznad 1000 °K u tankom sloju tekućine u susjedstvu mjehurića (Mason, 1996; Mclements, 1995; Suslick, 1986). Navedeno mehaničko-kemijsko djelovanje moguće je pratiti kao intenzitet primjenjenog ultrazvuka primjenom Marguilis i Marguilis-ove jednadžbe (2003) pri čemu je intenzitet primjenjenog ultrazvuka prikazan kao snaga primjenjene sonde po jedinici emitirajuće površine sonde (W/cm²) (Tablica 2).

Tablica 2. Intenzitet ultrazvučnog tretmana suspenzija pšeničnog škroba

Table 2. Intensity of ultrasound treatment of wheat starch suspensions

Uzorak	Početna temperatura uzorka (°C)	Temperatura uzorka nakon tretiranja (°C)	Intenzitet primjenjenog ultrazvuka (W/cm ²)
P1	20,1	20,1	-
P2	20,2	20,9	1,31
P3	20,2	21,8	2,20
P4	19,9	36,9	34,23
P5	19,8	44,4	41,72
P6	20,6	39,5	37,46
P7	10,7	42,0	57,65
P8	10,3	37,9	52,15
P9	10,1	47,1	77,25

Intenzitet primijenjenog ultrazvuka računa se na osnovu porasta temperature škrobnih suspenzija kao posljedice pojave selektivnog povišenja temperature zbog specifične apsorpcije akustične energije tijekom procesiranja ultrazvukom. Na osnovu odnosa porasta temperature i vremena izrađuje se polinom drugog stupnja, a koeficijent smjera dobivene krivulje predstavlja odnos dT/dt potreban za određivanje intenziteta primijenjenog ultrazvuku iz Marguilis i Marguilis-ove jednadžbe.

Reološki parametri suspenzija pšeničnog škroba adekvatno su određeni primjenom Ostwald-de

Waele-ovog zakona budući da je koeficijent determinacije iznimno visok (od 0,992 do 0,999). Svi uzorci se prema dobivenim indeksima tečenja svrstavaju u vremenski neovisne ne-Newtonske tekućine, pri čemu sve modelne suspenzije škrobova pokazuju izrazito dilatantan karakter ($n > 1$), što je u skladu s očekivanjima za škrobne suspenzije. Ultrazvučna modifikacija škrobnih suspenzija vodi ka značajnoj promjeni u reoloških i pastoznih svojstava pšeničnog škroba (Tablice 3 i 4).

Tablica 3. Reološki parametri 10 %-tnih suspenzija pšeničnog škroba pri temperaturi 20 °C

Table 3. Rheological parameters of wheat starch suspensions (10 %) at temperature 20 °C

Uzorak	Prividna viskoznost μ (mPa s)	Koeficijent konzistencije k (μ Pa s)	Indeks tečenja n	Koeficijent determinacije R^2
P1	5,88	14,76	1,831	0,997
P2	5,81	28,13	1,746	0,998
P3	5,79	42,07	1,690	0,999
P4	5,88	69,02	1,620	0,997
P5	5,89	40,46	1,694	0,995
P6	5,99	22,23	1,783	0,992
P7	6,35	47,10	1,685	0,999
P8	5,91	30,97	1,733	0,999
P9	8,68	152,76	1,564	0,998

Tablica 4. Parametri dobiveni mjerenjem viskoznosti modelnih suspenzija pšeničnog škroba sa Micro Visco-Amylo-Graph-om

Table 4. Pasting properties of wheat starch suspensions before and after ultrasound treatment

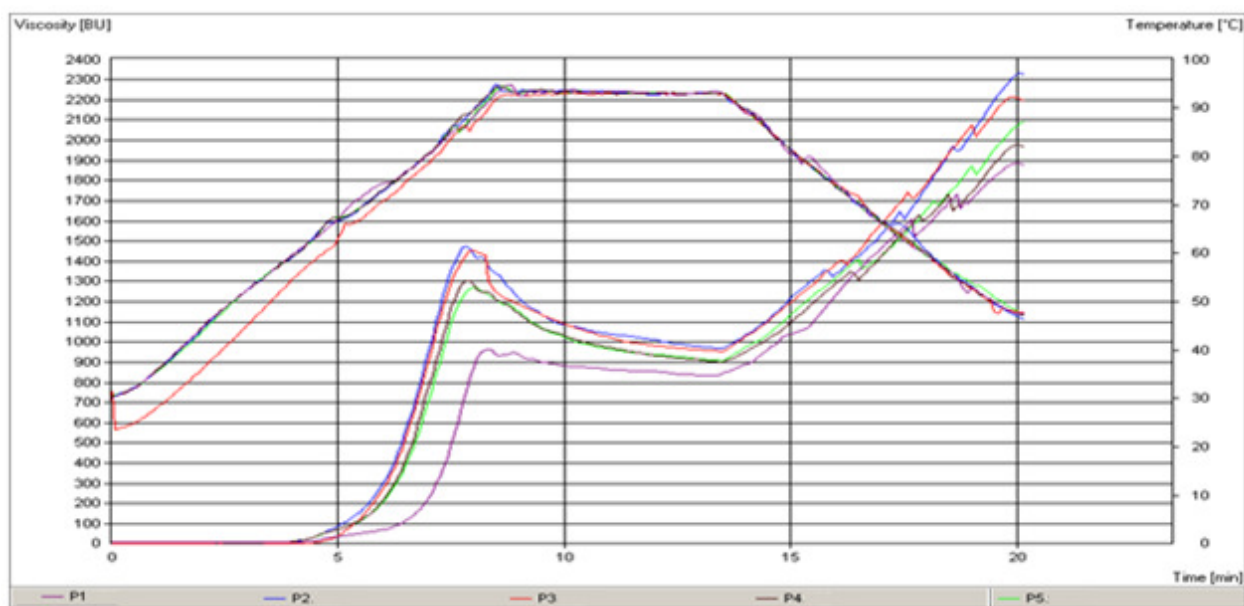
Uzorak	Maksimalni viskozitet (BU)	Pad viskoznosti tijekom hlađenja (BU)	Porast viskoznosti tijekom zagrijavanja (BU)	Početak želatinizacije (°C)
P1	965	130	896	63,5
P2	1474	503	1092	60,5
P3	1454	498	1061	60,5
P4	1300	397	863	60,4
P5	1272	363	921	60,4
P6	1288	403	990	61,2
P7	1352	475	892	61,2
P8	1219	404	717	61,1
P9	1231	433	938	61,2

Viskoznost škrobne suspenzije može biti povećana ili smanjena primjenjujući prikladan ultrazvučni tretman koji ovisi o primijenjenoj frekvenciji ultrazvuka, vremenu obrade, intenzitetu primijenjenog ultrazvuka. Odnos amiloze i amilopektina može se smatrati kao jedan od glavnih faktora utjecaja na promjene viskoznosti škrobnih suspenzija tijekom ultrazvučne modifikacije (I. Ljubić Herceg, 2010; A. Režek Jambrak, 2010). Navedene promjene mogu se objasniti preko strukture škrobne granule. Granule škroba sadržavaju sređena kristalna područja (amilopektin) i amorfna područja (amiloza) u kojima

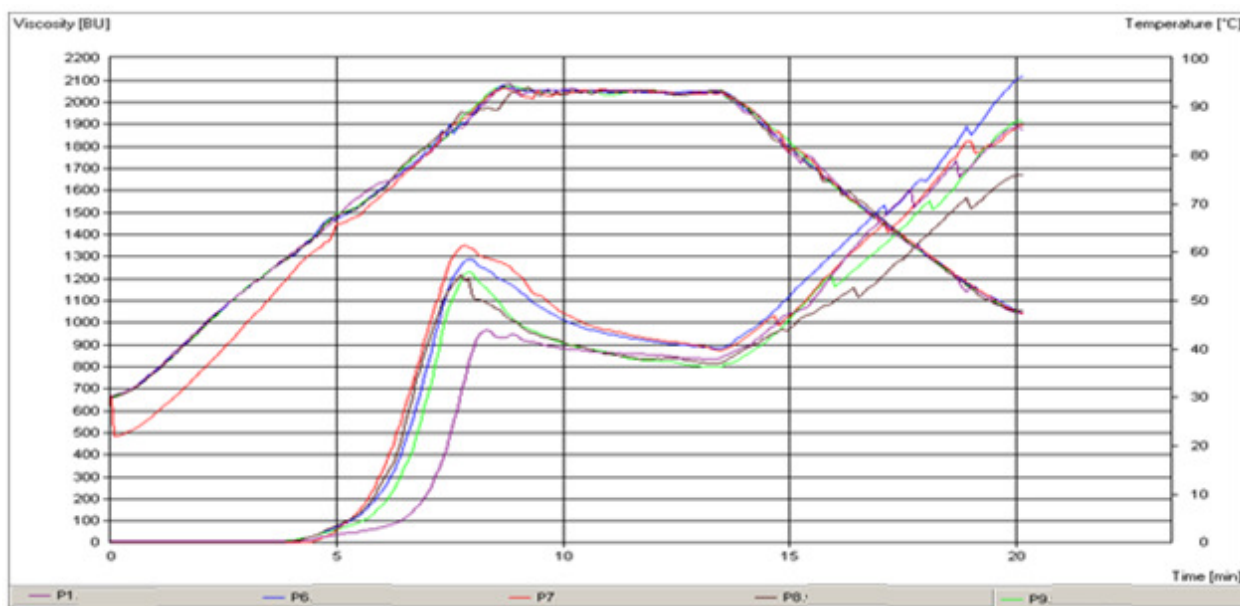
su polimerni lanci manje dobro uređeni te znatno osjetljivi na akustičnu kavitaciju. Dosadašnje spoznaje ukazuju na mogućnost obrade ultrazvukom amorfnih regija dok kompaktna kristalna područja nije lako razgraditi ultrazvukom. Posljedica razgradnje amorfnih regija ultrazvukom visokog intenziteta je povećanje kapaciteta zadržavanja vode u jezgri škrobne granule usljed čega raste i viskoznost sustava. Ovakvi rezultati mogu se objasniti utjecajem ultrazvuka na strukturu škrobne granule te na samu strukturu molekule škroba, pri čemu je zbog kavitacijskih sila, nastalih uslijed

implozija kavitacijskih mjehurića, olakšan ulazak molekula vode u škrobnu granulu. Depolimerizacija molekule škroba te površinska mehanička oštećenja uzrokovana primjenom ultrazvuka imaju direktan utjecaj na reološka svojstva tretiranih suspenzija (I. Ljubić Herceg, 2010; A. Režek Jambrak, 2010; Sandhu i Singh, 2007). Implozija kavitacijskih mjehurića uzrokuje visoke promjene tlakova i ekspanzijske vrtloge u blizini granula što uzrokuju sile smicanja koje su sposobne stvoriti procjepe u granulama škroba i razoriti lance polimera cijepanjem kovalentnih veza. Narušavanjem kristalne strukture molekula škroba, molekule vode se vežu na slobodne OH grupe amiloze i amilopektina vodikovim vezama, što dovodi do bubrenja (Singh, 2003). Pri procesiranju suspenzija pšeničnog škroba u ultrazvučnoj kupelji zbog niskog intenziteta ultrazvuka ($1,31$ do $2,20 \text{ W/cm}^2$) (Tablica 2), bio je očekivan samo homogenizacijski učinak ultrazvuka, no dobiveni rezultati upućuju, pogotovo kod vremenski dužeg procesiranja (30 minuta – P3) da ipak dolazi do promjena na škrobnoj granuli koje dovode i do promjena reoloških svojstava odnosno povećanja viskoznosti te koeficijenta konzistencije u odnosu na suspenzije pripravljene sa nativnim pšeničnim škrobom. Tijekom obrade škrobnih suspenzija u Brabenderovom viskoamilografu (Slike 3 i 4), škrobne granule geliraju kao rezultat zagrijavanja, u prisustvu vode, tj. granule bubre, kristalizirani dijelovi se tope i škrobni lanci postaju hidratizirani. Struktura se mijenja za vrijeme

želiranja, koje uključuje taljenje kristala i proširivanje dvostruke spirale (Waigh, 2000), apsorpciju vode u amorfnu pozadinu (Wang, 2004), te promjene u dijelovima amilopektina i ispuštanje amiloze iz granula (Czechowska-Biskup, 2005). Na osnovu dobivenih rezultata uočena je promjena maksimalne viskoznosti i početka želatinizacije suspenzija pšeničnog škroba prije i nakon ultrazvučne obrade. Kod svih modelnih suspenzija dolazi do povišenja maksimalnog viskoziteta. Najveći maksimalni viskozitet škroba pšenice imaju modelne suspenzije tretirane u ultrazvučnoj kupelji, a povećanjem nominalne snage ultrazvučne sonde dolazi do linearnog pada maksimalnog viskoziteta. Početak želatinizacije kod modelnih suspenzija pšeničnog škroba se smanjio u odnosu na nativni. Značajno smanjenje početnih temperatura želatinizacije upućuje na raniji stupanj bubrenja granule tijekom zagrijavanja. Takvo ponašanje je povezano sa povećanjem udjela amornih regija u granuli škroba tijekom slabljenja i narušavanja kristalnih regija u škrobu (Huang, 2007). Dakle, utvrđeni učinci ultrazvučnog procesiranja škrobnih suspenzija su u skladu s ukupnim smanjenjem sposobnosti vezivanja škrobnih lanaca i u skladu s povećanjem hidratacije škrobnih granula. Želatinizacija stoga može početi pri značajno nižim temperaturama, a veće bubrenje granule će voditi ka povećanju maksimalne viskoznosti.



Slika 3. Grafički prikaz viskoznosti modelnih suspenzija pšeničnog škroba mjenjen na Micro Visco-Amylo-Graph-u
Fig. 3. Viskosity of wheat starch suspensions measuring on Micro Visco-Amylo-Graph



Slika 4. Grafički prikaz viskoznosti modelnih suspenzija pšeničnog škroba mjenjenih na Micro Visco-Amylo-Graph-u
Fig. 4. Viskosity of wheat starch suspensions measuring on Micro Visco-Amylo-Graph

Zaključak

Rezultati ovog rada pokazali su da procesiranje suspenzije pšeničnog škroba ultrazvukom visokog intenziteta uzrokuje mehaničko oštećenje škrobne granule čime njena unutrašnjost postaje dostupnija vodi tijekom zagrijavanja što ima za posljedicu značajne promjene reoloških i pastoznih svojstava istih. Također je utvrđeno da intenzitet promjena reoloških i termofizičkih svojstava škrobnih suspenzija ovisi o primjenjenoj frekvenciji ultrazvuka, vremenu obrade i intenzitetu primjenjenog ultrazvuka. Reološki parametri suspenzija pšeničnog škroba adekvatno su određeni primjenom Ostwald-de Waele-ovog zakona te sve suspenzije imaju ne-Newtonski dilatantan karakter. Utvrđeno je da ultrazvučna obrada uzrokuje značajno povećanje koeficijenta konzistencije svih ispitivanih sustava. Ultrazvučnim procesiranjem došlo je do značajnog sniženja temperature želatinizacije kod svih škrobnih suspenzija. Značajno smanjenje početnih temperatura želatinizacije upućuje na raniji stupanj bubrenja granule tijekom zagrijavanja. Na osnovu navedenog možemo zaključiti da bi obrada suspenzija pšeničnog škroba ultrazvukom visokog intenziteta s ciljem modifikacije njegovih reoloških i pastoznih svojstava mogla zamijeniti neke postupke modifikacije škrobova koji se danas primjenjuju (kemijske, fizikalne i enzimske postupke i/ili njihove kombinacije) pri čemu bi se dobili modificirani škrobovi određene (željene) kakvoće, uz uštedu energije i skraćenje trajanja tehnološkog procesa.

Literatura

- Czechowska-Biskup, R., Rokita, B., Lotfy, S., Ulanski, P., Rosiak, J.M. (2005). Degradation of chitosan and starch by 360-kHz ultrasound, *Carbohydrate Polymers* 60 (2), 175-184.
- Flint, B.A., Suslick, S.K. (1991) The temperature of cavitation, *Science* 253, 1397-1399.
- Floros, J.D., Liang, H. (1994) Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials: High-intensity ultrasound accelerates diffusion and can be used to improve food processes, *Food Technology* 79, 123-131.
- Gronroos A., Pirkonen, P., Kyllonen, H. (2008), Ultrasonic degradation of aqueous carboxymethylcellulose, effect of viscosity, molecular mass and concentration, *Ultrasonics Sonochemistry* 15, 644-648.
- Huang Q., Li, L., Fu, X., (2007), Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules, *Starch* 59, 371-378.
- Huang, J., Schols, H.A., van Soest, J.J.G., Jin, Z., Sulmann, E., Voragen, A.G.J. (2007) Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of chickpea, cowpea and yellow pea starches, *Food Chem.* 101, 1355-1362.
- Huang, Z.Q., Lu, J.P., Li, X.H., Tong, Z.F. (2007): Effect of mechanical activation on physico-chemical properties and structure of cassava starch, *Carbohydrate Polymers* 68, 128-135.
- Kaur, L., Singh, N., Singh, J. (2004), Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches, *Carbohydrate Polymers* 55, 211-223
- Lionetto F., Mafezzoli, A., Ottenhof, M.A., Farhad, I.A., Mitchell, J.R. (2006), Ultrasonic investigation of wheat starch retrogradation, *Journal of Food Engineering* 75, 258-266.

- Ljubić Herceg I., Režek Jambrak A., Šubarić D., Brnčić M., Rimac Brnčić S., Badanjak M., Tripalo B., Ježek D., Novotny D., Z. Herceg, Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch, *Czech J. Food Sci.* 28, 2010, 83-93.
- Margulis, M.A., Margulis, I.M. (2003): Calorimetric method for measurement of acoustic power absorbed in a volume of a liquid, *Ultrasonic Sonochemistry* 10, 343-345.
- Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lorimer, J.P. (1996) The uses of ultrasound in food technology, *Ultrason. Sonochem.* 3, 253-260.
- McClements, D.J. (1995) Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing, *Trends in Food Sci. Techn.* 6, 293-299.
- Povey, M.J.W., Mason, T.J., (1998) *Ultrasound in Food Processing*. Blackie Academic & Professional, London.
- Režek Jambrak A., Herceg Z., Šubarić D., Babić J., Brnčić M., Rimac Brnčić S., Bosiljkov T., Čvek D., Tripalo B., Gelo J. (2010), Ultrasound effect on physical properties of corn starch, *Carbohydrate Polymers* 79, 91-100.
- Sandhu, K.S., Singh, N., (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties, *Food Chemistry* 101, 1499-1507.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S., Gill, B.S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources, *Food Chemistry* 81, 219-231.
- Singh, N., Kaur, L., Singh Sandhu, K., Kaur, J., Nishinari, K. (2006), Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches, *Food Hydrocolloids* 20, (4), 532-542.
- Suslick, K.S. (1988) *Ultrasound: Its Chemical, Physical, and Biological Effects*, VCH Publishers, New York.
- Tester, R. F., Karkalas, J.K, Qi, X. (2004) Starch – composition, fine structure and architecture, *J. Cereal Sci.* 39, 151- 165.
- Wang, L., Wang, Y. (2004), Rice starch isolation by neutral protease and high intensity ultrasound, *Journal of Cereal Science* 39, 291-296,.
- Waigh, T.A., Gidley, M.J., Komanshek, B.U., Donald, A.M. (2000) The phase transformations in starch during gelatinisation: a liquid crystalline, *Carbohydr. Res.* 328, 165-176.

Received: June 11, 2010

Accepted: July 9, 2010

Influence of high intensity ultrasound on rheological and pasting properties of wheat starch

Ivana Ljubić Herceg¹, D. Šubarić¹, J. Babić¹, Z. Herceg^{2*}

¹University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek, Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Croatia

²University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Croatia

original scientific paper

Summary

The aim of this paper was to examine the influence and effect of high and low power ultrasound on rheological and thermophysical properties of wheat starch suspensions. Suspensions containing ten percent of potato starch have been treated with ultrasound. All analysis have been carried out before and after power ultrasound treatment. Ultrasound bath of 22 kHz frequency and nominal power of 150 W has been used, as well as ultrasound probe of 24 kHz frequency and nominal power of 100, 300 and 400 W for 15 and 30 minute treatments. Rheological parameters have been determined with rheometer Rheometric Scientific RM-180 at 20 °C. Pasting properties have been determined with Micro Visco-Amylo-Graph, Brabender Ohg Duisburg at method ICC Standard 126/1. Ultrasonic treatment caused disrupting of starch granules by mechanical forces and made the granule more permeable to water during the heating step. Because, significant changes of rheological and pasting properties were observed. Rheological parameters showed that all suspensions exhibited non-newtonian (dilatant) character. Also, ultrasonic treatment has affected a significant increase of consistency coefficient of starch suspension. Ultrasonic treatment caused significant lowering of the beginning gelatinization temperatures, which indicated an earlier state of granule swelling during heating.

Keywords: wheat starch, high intensity ultrasound, rheological properties, gelatinization