

# Investigation and Modelling of Stress Relaxation of Wheat Kernels in View of Grinding Prediction

*Jawad Kadhim Zeyad Al Aridhee*

## Abstract

Among main challenges to food rheology the relation of time-dependent properties with food texture as well as with solid mechanics and fracture mechanics have imperative role.

The motivation for the study sourced from statements that the kernel of wheat is made up of structures of different ability to withstand stress, dissipate energy and apparent viscosities. Therefore, its structure can be classified into a number of model elements, which can be used to characterize the overall stress relaxation behaviour. Related to this a practical hypothesis concerns the applicability of rheological measurements to processing. This potential applicability in the study was verified on the basis of wheat grinding, as giving a possibility for prediction of selected grinding outcomes.

The relaxation experiments were made with a help of an universal machine Zwick Z020. The measurements were made for four wheat varieties (two soft type and two hard type endosperm) at seven levels of moisture content. The experiments were conducted for four distinct initial load levels, i.e., 20, 30, 40, and 50 N. In addition, the relaxation characteristics were sectioned at different time intervals from 0 to 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, and 300 s. They were approximated with the help of Peleg and Normand equations as well as generalized Maxwell models with 3, 5, and 7 elements with free spring in parallel. The constants of the Peleg and Normand model were estimated by using Excel software, and the constants of the Maxwell models by using Levenberg–Marquardt algorithm in the non-linear regression module of Statistica software.

Grinding experiments were carried out on a laboratory hammer mill. The mill was equipped with a computer system that allowed grinding energy consumption to be recorded. The experiments were performed for the same conditions as for stress relaxation, i.e. for four wheat varieties and seven moisture levels. Three screen mesh sizes: 1.5, 2.0, and 3.0 mm were applied. The Mastersizer 3000 (laser diffraction method) was used to estimate the mean particle size and surface specific of ground material.

Similar equations were derived for describing the influence of constants of Peleg and Normand model on grinding parameters. They were predicted as a sum of reciprocals of the constants  $k_1$  and  $k_2$ . For the generalized Maxwell models (3, 5, and 7 elements) linear dependencies were confirmed between all spring constants and grinding outcomes. For the dashpots, the relations were found to be very weak. The final formula for predicting grinding results was similar for all three models and included two terms only: the residual force and the spring constant for the longest time scale effect. Slightly higher accuracy of the prediction of four grinding parameters was observed for a larger screen sizes. In spite of the significantly different precession in the prediction of relaxation data by Peleg and Normand and Maxwell models (not

considered in the thesis), the accuracy of the prediction of grinding outcomes based on these models was comparable. The number of elements in the used Maxwell models had no significant effect on this accuracy.

**Keywords:** wheat, rheological models, moisture, load, relaxation time, hammer mill

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'W. J. ...', is located in the upper right quadrant of the page. The signature is written in a cursive style and is partially obscured by a large, light blue oval scribble.

## **Badania i modelowanie relaksacji naprężeń ziarna pszenicy w aspekcie procesu rozdrabniania**

*Jawad Kadhim Zeyad Al Aridhee*

Streszczenie

Wśród głównych wyzwań związanych z reologią żywności, znajdują się określenie zależności pomiędzy właściwościami reologicznymi i teksturą żywności, jak również związków z mechaniką ciał stałych i mechaniką pękania.

Inspiracja dla podjętych badań eksperymentalnych bierze swoje uzasadnienie w stwierdzeniu, że ziarno pszenicy stanowi obiekt o złożonej budowie strukturalnej, a struktury te wykazują odmienną podatność na obciążenia mechaniczne, zdolność do rozpraszania energii i właściwości lepkosprężyste. Z powyższego wynika uzasadniona hipoteza, że reakcja na obciążenia ziarna pszenicy może znaleźć swe odzwierciedlenie w mechanicznych analogach wykorzystywanych do opisu zjawisk relaksacji. Związana z powyższym, praktyczna hipoteza dotyczy możliwości zastosowania pomiarów reologicznych do analizy procesów przetwarzania. Ta możliwość została w pracy zweryfikowana na podstawie rozdrabniania ziarna pszenicy, w kontekście prognozowania wybranych parametrów przebiegu tego procesu.

Badania relaksacji naprężeń wykonano przy wykorzystaniu uniwersalnej maszyny Zwick Z020. Pomiary wykonano dla czterech odmian pszenicy (dwie miękkie i dwie twarde) i dla siedmiu poziomów wilgotności. Badania prowadzono w odmiennych warunkach pomiarów, dla czterech różnych poziomów obciążenia początkowego ziarniaka, tj. 20, 30, 40 i 50 N. Dodatkowo, uzyskane charakterystyki relaksacji podzielono na zróżnicowane przedziały czasowe od 0 do 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240 i 300 s.

Otrzymane w wyniku badań krzywe relaksacji aproksymowano przy wykorzystaniu równań Pelega i Normanda oraz uogólnionych modeli Maxwella z 3, 5 i 7 elementami i dodatkowym elementem sprężystym, połączonym równolegle. Stałe modelu Pelega i Normanda oszacowano za pomocą oprogramowania Excel, natomiast stałe modeli Maxwella przy użyciu algorytmu Levenberga-Marquardta, w module regresji nieliniowej oprogramowania Statistica.

Badania rozdrabniania przeprowadzono przy wykorzystaniu laboratoryjnego rozdrabniacza bijakowego. Rozdrabniacz wyposażono w system komputerowy, który pozwalał rejestrować nakłady energii podczas procesu. Pomiary przeprowadzono dla takich samych warunków, jak dla relaksacji naprężeń ziarna, tj. dla czterech odmian pszenicy i siedmiu poziomów wilgotności. Zastosowano trzy sита o odmiennych średnicach otworów: 1,5; 2,0 i 3,0 mm. Do oszacowania średniej wielkości cząstek i powierzchni właściwej materiału rozdrobnionego wykorzystano metodę dyfrakcji laserowej i urządzenie Mastersizer 3000 (Malvern Instruments Ltd, UK).

Wyznaczono zależności regresyjne pomiędzy stałymi modelu Pelega i Normanda i parametrami procesu rozdrabniania. Dla czterech analizowanych paramentów uzyskane równanie miało tą

samą postać, w której parametry rozdrabniania aproksymowano jako suma odwrotności stałych modelu,  $k_1$  i  $k_2$ . Dla uogólnionych modeli Maxwella (3, 5 i 7 elementów) liniowe zależności zostały potwierdzone pomiędzy wszystkimi stałymi elementów sprężystych i wynikami rozdrabniania. Natomiast w przypadku stałych dla elementów lepkich (tłumików) wyznaczone liniowe relacje były mało istotne. Wyprowadzona ostateczna formuła dla predykcji wartości wybranych parametrów rozdrabniania, dla wszystkich trzech analizowanych modeli, zawierała tylko dwa te same elementy: siłę rezydualną i stałą sprężystości dla elementu o najdłuższej skali czasowej spadku obciążenia. Nieznacznie wyższą dokładność przewidywania czterech parametrów rozdrabniania zaobserwowano dla większych średnic otworów sita. Pomimo istotnie różnej dokładności aproksymacji eksperymentalnych krzywych relaksacji (nieuwzględnione w pracy) przy wykorzystaniu modelu Pelega i Normanda oraz modeli Maxwella, uzyskana dokładność prognoz parametrów rozdrabniania była porównywalna. Liczba elementów w zastosowanych modelach Maxwella nie miała znaczącego wpływu na tę dokładność.

**Słowa kluczowe:** pszenica, modele reologiczne, wilgotność, siła, czas relaksacji, rozdrabniacz bijakowy.