

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **238462**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **429206**

(22) Data zgłoszenia: **07.03.2019**

(51) Int.Cl.
G01N 33/10 (2006.01)
A21D 8/00 (2006.01)

(54) **Sposób określania przebiegu redystrybucji wody pomiędzy składnikami
ciasta pszennego podczas miesienia**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
21.09.2020 BUP 20/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
23.08.2021 WUP 21/21

(73) Uprawniony z patentu:
**INSTYTUT AGROFIZYKI
IM. BOHDANA DOBRZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Lublin, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:
**ANTONI MIŚ, Milejów, PL
AGNIESZKA NAWROCKA, Lublin, PL
MAGDALENA KREKORA, Lublin, PL
ZBIGNIEW NIEWIADOMY, Lublin, PL**

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Magdalena Tarała

PL 238462 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób określania przebiegu redystrybucji wody pomiędzy glutenem, skrobią i suplementem błonnikowym, jako składnikami ciasta pszennego, podczas miesienia wykonywanego przy użyciu farinografu.

Stopień uwodnienia (hydratacji) składników ciasta chlebowego determinuje jego zachowanie reologiczne podczas miesienia, fermentacji i wypieku. Proces hydratacji glutenu i skrobi przebiega w czasie miesienia ciasta chlebowego i może być często zakłócany przez dodatki poprawiające walory prozdrowotne pieczywa, w szczególności preparaty bogate w błonnik pokarmowy i odznaczające się podwyższonymi zdolnościami hydratacyjnymi. Obecność suplementu błonnikowego w cieście chlebowym wywołuje migrację wody z glutenu i skrobi, składników o mniejszej sile hydratacji, do suplementu, składnika o większej sile hydratacji. Zjawisko migracji wody prowadzi do nierównomiernej redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta, gluten i skrobia ulegają częściowej dehydratacji, a w następstwie uzyskuje się pieczywo o pogorszonych walorach sensorycznych.

Dotychczas nie opracowano efektywnej metody monitorowania przebiegu redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta chlebowego w czasie procesu miesienia. Opracowany sposób według wynalazku umożliwia badanie tempa migracji wody pomiędzy składnikami mieszaniny nie w pełni uwodnionej, tj. nie zawierającej wody wolnej, w szczególności ciasta chlebowego sporządzanego z dwóch lub trzech składników, w szczególności ze skrobi pszennej, glutenu pszennego i preparatu błonnikowego. Jego istota bazuje na powiązaniu stopnia hydratacji pojedynczych składników ciasta ze zmianami konsystencji tego ciasta w czasie miesienia wykonywanego przy użyciu farinografu.

Zgodnie z opracowanym sposobem według wynalazku przyjmuje się następujące założenia:

1. Stopień hydratacji (uwodnienia) ciasta $H_n(t)$, złożonego z n składników, w dowolnym momencie t miesienia ciasta jest stały i określany zgodnie z formułą:

$$H_n(t) = \sum_{i=1}^n (H_i(t) \cdot \varphi_i) = \text{const},$$

gdzie: $H_i(t)$ jest stopniem hydratacji i -tego składnika ciasta w momencie t miesienia ciasta określanym zgodnie z formułą $H_i(t) = m_{wi}(t)/sm_i$, gdzie $m_{wi}(t)$ jest masą wody związanej przez i -ty składnik, sm_i jest suchą masą i -tego składnika oraz φ_i jest udziałem wagowym i -tego składnika w mieszaninie określanym zgodnie z formułą: $\varphi_i = sm_i / \sum_{i=1}^n sm_i$.

2. Rozróżnia się dwa rodzaje redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta ze względu na mechanizm migracji wody. Redystrybucja fizyczna odbywa się na drodze fizycznej sorpcji (hydratacji)/desorpcji (dehydratacji) wody przez składniki ciasta, a dynamikę tego procesu w czasie t wiernie opisuje funkcja eksponencjalna. Redystrybucja chemiczna jest następstwem chemicznego oddziaływania między składnikami. Ten rodzaj oddziaływania występuje między suplementem błonnikowym a glutenem i powoduje niepożądane zmiany konformacyjne białek glutenowych (ich agregację/zwijanie). Nastęstwem zmian konformacyjnych są spadek uwodnienia (dehydratacja chemiczna) glutenu i wzrost podatności sieci glutenowej na destrukcję mechaniczną podczas miesienia ciasta. Dynamikę dehydratacji chemicznej oraz dynamikę destrukcji mechanicznej w czasie t dobrze opisuje funkcja sigmoidalna. Reologicznie przeciwstawne oddziaływanie dehydratacji chemicznej i destrukcji mechanicznej glutenu jest obrazowane w postaci formowania się drugiego wierzchołka (p_2) na farinogramie.

3. Wskaźnik R_i jest miarą aktywności i -tego składnika w redystrybucji fizycznej, i jest określany zgodnie z poniższymi formułami:

$$R_i = H_i(t \rightarrow \infty) / H_{ref}(t \rightarrow \infty),$$

$$H_i(t \rightarrow \infty) = H_n \cdot R_i / \sum_{i=1}^n (R_i \cdot \varphi_i)$$

gdzie: $H_i(t \rightarrow \infty)$ i $H_{ref}(t \rightarrow \infty)$ są stopniami hydratacji i -tego składnika i referencyjnego składnika ciasta, odpowiednio, zmierzonymi przy wystarczająco długim czasie miesienia ($t \rightarrow \infty$), przy którym migracja wody pomiędzy składnikami ciasta ustaje, i co jest obserwowane w postaci wypłaszczenia farinogramu.

4. Wskaźnik D_{chem} jest miarą aktywności suplementu błonnikowego w redystrybucji chemicznej, i jest określany zgodnie z formułą:

$$H_g(t \rightarrow \infty, D_{chem}) = H_g(t \rightarrow \infty) \cdot (1 - 0,01 \cdot D_{chem})$$

gdzie: $H_g(t \rightarrow \infty, D_{chem})$ jest stopniem hydratacji glutenu, będącym sumarycznym efektem obu rodzajów redystrybucji, fizycznej i chemicznej, $H_g(t \rightarrow \infty)$ jest stopniem hydratacji glutenu, będącym skutkiem redystrybucji fizycznej wyłącznie.

5. Woda uwolniona w wyniku dehydratacji chemicznej glutenu $H_g(t \rightarrow \infty) \cdot \varphi_g \cdot (0,01 \cdot D_{chem})$ jest redystrybuowana do pozostałych składników ciasta: skrobi i suplementu błonnikowego, zgodnie z zasadą redystrybucji fizycznej (opisaną w pkt. 3), czyli w ilości proporcjonalnej do iloczynów $R_s \cdot \varphi_s$ i $R_f \cdot \varphi_f$, odpowiednio, R_s i R_f są wskaźnikami aktywności skrobi i suplementu błonnikowego w redystrybucji fizycznej, odpowiednio, φ_s , φ_g i φ_f są udziałami wagowymi w mieszance: skrobi, glutenu i błonnika, odpowiednio.

6. Skrobia, jako referencyjny składnik ciasta ($R_s=1$), jest wstępnie uwadniania (zabieg SM) i w chwili rozpoczęcia miesienia ($t=0$) osiąga następujące stopnie hydratacji $H_s(t=0)$:

$H_s(t=0) = (H_{s+g} - H_g(t=0)) \cdot \varphi_g / \varphi_s$, w przypadku miesienia ciasta skrobiowo-glutenowego,

$H_s(t=0) = (H_{s+g+f} - H_g(t=0) \cdot \varphi_g - H_f(t=0) \cdot \varphi_f) / \varphi_s$, w przypadku miesienia ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego,

gdzie: H_s , H_g i H_f są stopniami hydratacji pojedynczych składników ciasta: skrobi, glutenu i suplementu błonnikowego, odpowiednio, H_{s+g} i H_{s+g+f} są stopniami hydratacji ciasta skrobiowo-glutenowego i ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego, odpowiednio.

7. Zabieg wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego (zabieg FM) nie wpływa na wartość wskaźników R_i i D_{chem} , natomiast wpływa na zmianę szybkości procesów redystrybucji fizycznej i chemicznej. W wyniku stosowania zabiegu FM, suplement błonnikowy w chwili rozpoczęcia miesienia ($t=0$) osiąga stopień hydratacji $H_f(t=0)$ zgodny z poniższą formułą:

$H_f(t=0) = (H_{s+g+f} - H_g(t=0) \cdot \varphi_g) \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f)$, w przypadku miesienia ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego,

8. Gluten, jako składnik ciasta, w czasie miesienia t wpływa bezpośrednio na przebieg zmian konsystencji ciasta: glutenowego C_g , skrobiowo-glutenowego C_{s+g} i skrobiowo-glutenowo-błonnikowego C_{s+g+f} oraz istnieje ścisła zależność konsystencji ciasta C_g , C_{s+g} i C_{s+g+f} od stopnia uwodnienia glutenu H_g . Takich właściwości reologicznych nie posiadają pozostałe składniki ciasta pszenne: skrobia i suplement błonnikowy. Wpływ skrobi i suplementu błonnikowego na zmianę konsystencji ciasta odbywa się w sposób pośredni poprzez:

a) zmianę uwodnienia glutenu H_g (efekt redystrybucji fizycznej i chemicznej), zgodnie z poniższą formułą:

$$H_g = (H_{s+g+f} - H_s \cdot \varphi_s - H_f \cdot \varphi_f) / \varphi_g,$$

b) zmianę zawartości glutenu φ_g (efekt rozcieńczania), zgodnie z poniższą formułą:

$$\varphi_g = 1 - \varphi_s - \varphi_f,$$

c) zmianę konformacji białek glutenowych (efekt chemicznego oddziaływania suplementu); agregacja i/lub zwijanie łańcuchów białkowych sprawia, że sieć glutenowa jest podatniejsza na mechaniczne uszkodzenie (szybszy spadek konsystencji ciasta) w trakcie miesienia,

d) obniżanie (efekt plastifikatora) lub wzmaganie (efekt zagęstnika) tarcia pomiędzy składnikami ciasta w czasie miesienia wywołane obecnością suplementu błonnikowego.

Sposób określania przebiegu redystrybucji wody podczas miesienia pomiędzy składnikami ciasta pszenne: skrobią, glutenem i suplementem błonnikowym, charakteryzującymi się wskaźnikami redystrybucji R_s , R_g i R_f , oraz udziałami wagowymi φ_s , φ_g i φ_f , odpowiednio, z wykorzystaniem farinografu polega na tym, że prowadzony jest w trzech etapach. Czas miesienia t trwa nie krócej niż 40 min, do momentu, kiedy procesy fizycznej i chemicznej redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta w pełni ustają. Pomiary konsystencji ciasta w czasie miesienia wykonuje się z częstotliwością nie mniejszą niż 30 min⁻¹. Przed rozpoczęciem testu miesienia, skrobię poddaje się zabiegowi wstępnego nawilżania (SM). Wspomniane etapy przebiegają jak poniżej.

W pierwszym etapie wykonuje się farinograficzne testy miesienia z udziałem glutenu pszenne ($\varphi_g=1$), różnicując stopień hydratacji H_g co najmniej na 5 poziomach dla uzyskania płynnego zróżnicowania konsystencji ciasta glutenowego C_g w przedziale od 300 do 1800 FU, pomiar wartości C_g wykonuje się w przedziale czasu miesienia $t_H \geq t \leq t_F$, przy czym wartość t_H wynosi co najmniej 7 min, w którym to czasie zmierzone wartości C_g mają charakter zbliżony do liniowego i dopasowuje się do nich opisuje się zgodnie z pierwszym modelem regresji, mającym postać:

$$C_g(H_g, t) = a_{g1} \cdot (1 - (1 - \exp(a_{g2} \cdot (1 - H_g)))) + (\exp(2,5 \cdot (a_{g3} - H_g)) - \exp(a_{g4} \cdot (a_{g5} - H_g))) \cdot t,$$

gdzie: t_H jest czasem miesienia potrzebnym dla uzyskania pełnej hydratacji ciasta glutenowego, w następstwie której farinogram odznacza się quasi liniowym przebiegiem, t_F jest końcowym czasem miesienia, H_g i t są zmiennymi modelu, natomiast $\alpha_{g1}, \alpha_{g2}, \dots, \alpha_{g5}$ są parametrami pierwszego modelu regresji odnajdowanymi przy użyciu analizy regresji nieliniowej, 2,5 jest wartością ustaloną arbitralnie.

W drugim etapie wykonuje się farinograficzne testy miesienia z udziałem dwuskładnikowej mieszanki sporządzonej ze skrobi pszennej i glutenu pszennego w stałej proporcji φ_s/φ_g , charakterystycznej dla typowej mąki pszennej i różnicując stopień hydratacji ciasta skrobiowo-glutenowego H_{s+g} co najmniej na 5 poziomach dla uzyskania płynnego zróżnicowania jego konsystencji C_{s+g} w przedziale od 100 do 500 FU, otrzymuje się wartości C_{s+g} w przedziale czasu miesienia $t_{p1} \geq t \leq t_F$, które opisuje się zgodnie z drugim modelem regresji, mającym postać:

$$C_{s+g}(H_{s+g}, t) = C_g(H_g, t) \cdot \varphi_g \cdot (k_1 + k_2 \cdot H_g),$$

w którym H_g podstawia się wyrażeniem:

$$H_g = H_g(t=0) + (H_{s+g} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) - H_g(t=0)) \cdot (1 - \exp(b_{s+g} \cdot t)),$$

gdzie: t_{p1} jest czasem miesienia potrzebnym do zakończenia rozwoju ciasta, obserwowanym w momencie formowania się pierwszego wierzchołka na farinogramie, R_s jest równy 1, H_{s+g} i t są zmiennymi, natomiast R_g, b_{s+g}, k_1 i k_2 są poszukiwanymi parametrami drugiego modelu.

W trzecim etapie wykonuje się farinograficzne testy miesienia z udziałem trójskładnikowej mieszanki sporządzonej ze skrobi pszennej, glutenu pszennego i suplementu błonnikowego, który stosuje się w dwóch wariantach, jako poddawany i nie poddawany zabiegowi wstępnego nawilżania (FM), przy czym udział suplementu φ_f różnicuje się co najmniej na 3 poziomach w przedziale od 0,03 do 0,09, natomiast proporcja φ_s/φ_g jest taka, jak w drugim etapie, a stopień hydratacji ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego H_{s+g+f} ustala się na jednym poziomie, pozwalającym na uzyskiwanie w obrębie analizowanej partii suplementów i z uwzględnieniem wielkości ich dodatku φ_f , konsystencji C_{s+g+f} nie wyższej niż 500 FU, i w końcowym 3-minutowym okresie miesienia ($t_F - 3 \text{ min} \geq t \leq t_F$) dokonuje się pomiaru wartości C_{s+g+f} , które opisuje się przy użyciu trzeciego modelu regresji:

$$C_{s+g-f}(\varphi_f, t) = C_g(H_g, t) \cdot \varphi_g \cdot (k_1 + k_2 \cdot H_g),$$

w którym H_g podstawia się wyrażeniem:

$$H_g = H_{s+g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f),$$

gdzie: φ_f i t są zmiennymi, R_f jest poszukiwanym parametrem trzeciego modelu, po wyznaczeniu którego, wyniki pomiarów C_{s+g+f} zarejestrowane w przedziale czasu miesienia $t_{p1} \geq t \leq t_F$, gdzie t_{p1} jest momentem występowania pierwszych wierzchołków (p_1) na farinogramach, dla każdego badanego suplementu błonnikowego, opisuje się przy użyciu czwartego modelu regresji:

$$C_{s+g-f}(\varphi_f, t) = C_g(H_g, t) \cdot \varphi_g \cdot (k_1 + k_2 \cdot H_g) \cdot (1 + (d_{1M} + d_1 \cdot LF) \cdot \varphi_f / (1 + \exp(d_2 \cdot ((d_{3M} + d_3 \cdot LF) / \varphi_f + c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f)))) \cdot (1 + (k_{3M} + k_3 \cdot LF) \cdot ((k_{4M} + k_4 \cdot LF) - \varphi_f)^2) \cdot (1 + (k_{5M} + k_5 \cdot LF) / \varphi_f) + (d_{4M} + d_4 \cdot LF) \cdot \varphi_f \cdot t,$$

w którym H_g podstawia się piątym wyrażeniem:

$$H_g = H_g(t=0) + [H_{s+g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - H_g(t=0)] \cdot (1 - \exp((b_{gM} + b_g \cdot LF) \cdot t)) - \varphi_f \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) \cdot [H_{s+g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - H_g(t=0)] \cdot LF \cdot (1 - \exp(b_f \cdot t)) - H_{s-g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) \cdot 0,01 \cdot (n + m \cdot \varphi_f) / (1 + \exp(b_{chem} \cdot (c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f - t))),$$

gdzie: LF jest funkcją logiczną mającą postać: JEŻELI (zabieg wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego FM wykonywano; 0; 1), która przyjmuje wartość 0, jeśli zabieg FM wykonywano, lub 1, jeśli zabiegu FM nie wykonywano, φ_f i t są zmiennymi, natomiast $b_{gM}, b_g, b_f, n, m, b_{chem}, c_{1M}, c_1, c_{2M}, c_2, d_{1M}, d_1, d_2, k_{3M}, k_3, k_{4M}, k_4, k_{5M}, k_5, d_{4M}$ i d_4 są poszukiwanymi parametrami czwartego modelu, następnie w oparciu o które wyznacza się przebieg hydratacji pozostałych składników ciasta skrobiowo-

-glutenowo-błonnikowego, skrobi (H_s) i suplementu błonnikowego (H_f), w czasie miesienia t zgodnie z poniższymi formułami:

– formuła szósta

$$H_s = (H_{s+g+f}(H_g(t=0) \cdot \varphi_g + H_f(t=0) \cdot \varphi_f)) / \varphi_s \cdot LF + (H_{s+g+f}(H_g(t=0) \cdot \varphi_g) \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot (1-LF) + [(H_{s+g+f}(H_f(t=0) \cdot \varphi_f) \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) - (H_{s+g+f}(H_g(t=0) \cdot \varphi_g + H_f(t=0) \cdot \varphi_f)) / \varphi_s) \cdot LF \cdot (1 - \exp((b_{gM} + b_g \cdot LF) \cdot t)) - \varphi_f \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) \cdot [R_f \cdot H_{s+g+f} / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - H_s(t=0)) - H_g(t=0)] \cdot LF \cdot (1 - \exp(b_f \cdot t)) + \varphi_g \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot H_{s+g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) \cdot 0,01 \cdot (n+m \cdot \varphi_f) / (1 + \exp(b_{chem} \cdot (c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f - t))),$$

– formuła siódma

$$H_f = H_f(t=0) \cdot LF + (H_{s+g+f}(H_g(t=0) \cdot \varphi_g) \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot (1-LF) + [H_{s+g+f} \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - H_f(t=0)] \cdot (1 - \exp(b_f \cdot t)) + \varphi_g \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot H_{s+g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) \cdot 0,01 \cdot (n+m \cdot \varphi_f) / (1 + \exp(b_{chem} \cdot (c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f - t))).$$

Skrobię poddaje się zabiegowi wstępnego nawilżania (SM).

Najpierw wykonuje się zabieg wstępnego nawilżania skrobi (SM), a po jego zakończeniu i po dodaniu suplementu błonnikowego jest wykonywany zabieg wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego (FM), a podczas wykonywania zabiegów wstępnego nawilżania (SM) i (FM) są utrzymywane identyczne warunki pracy miesiarki, jak w czasie wykonywania farinograficznych testów miesienia.

Skrobię pszenną, gluten pszenny i suplement błonnikowy zastępuje się ewentualnie innymi natywnymi składnikami mąki produkowanej z ziarna zbóż i innych gatunków roślin, a także innymi preparatami stosowanymi w celu poprawy walorów technologicznych, żywieniowych i zdrowotnych mąki.

Pojedyncze składniki zastępuje się ewentualnie mieszaninami natywnymi, obejmującymi mąkę pszenną, żytnią albo ich mieszaninami albo mąką modelową.

Parametry czwartego modelu, których wartości różniły się istotnie w zależności od wykonywania lub nie wykonywania zabiegu wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego FM, przyjęto oznaczać przy pomocy dodatkowej litery „M” lub jej braku. Obecność „M” przy symbolu parametru, np. b_{gM} , c_{1M} , c_{2M} , d_{1M} itd., wskazuje, że jego wartość charakteryzuje przebieg redystrybucji wody, kiedy zabieg FM jest wykonywany. Z kolei brak litery „M” przy symbolu parametru, np. b_g , c_1 , c_2 , d_1 oznacza wielkość poprawki, o jaką należy skorygować parametry, np. b_{gM} , c_{1M} , c_{2M} , d_{1M} itd., aby uzyskać poprawną wartość tego parametru, np. $b_{gM} + b_g$, $c_{1M} + c_1$, $c_{2M} + c_2$, $d_{1M} + d_1$, itd., który charakteryzuje przebieg redystrybucji wody, kiedy zabieg FM nie jest wykonywany.

Interpretacja fizyczna parametrów czwartego modelu jest następująca:

b_{gM} i b_g charakteryzują szybkość hydratacji fizycznej glutenu,

b_f charakteryzuje szybkość hydratacji fizycznej błonnika,

n i m charakteryzują zakres spadku uwodnienia glutenu w wyniku dehydratacji chemicznej, $(n+m \cdot \varphi_f)$ jest równy D_{chem} ,

b_{chem} jest szybkością dehydratacji chemicznej glutenu,

c_{1M} , c_1 , c_{2M} , c_2 są parametrami charakteryzującymi moment miesienia, przy którym występuje maksymalna szybkość dehydratacji chemicznej glutenu,

d_{1M} i d_1 charakteryzują zakres spadku konsystencji (stopnia destrukcji sieci glutenowej) ciasta w następstwie chemicznej modyfikacji glutenu przez suplement błonnikowy,

d_2 jest szybkością spadku konsystencji ciasta w następstwie chemicznej modyfikacji glutenu,

d_{3M} i d_3 charakteryzują moment miesienia, przy którym występuje maksymalna szybkość spadku konsystencji ciasta w następstwie modyfikacji chemicznej glutenu,

k_{3M} , k_3 , k_{4M} , k_4 , k_{5M} i k_5 są współczynnikami korekcyjnymi,

d_{4M} i d_4 są parametrami charakteryzującymi liniowy wpływ suplementu błonnikowego na konsystencję ciasta.

Sposób według wynalazku wykonywany w trzech etapach z wykorzystaniem farinograficznego testu miesienia i metody analizy regresji nieliniowej pozwala odnaleźć matematyczne zależności pomiędzy zmianami konsystencji ciasta (wynikami pomiarów farinograficznych) a prognozowanymi zmianami uwodnienia poszczególnych jego składników. Zabiegi wstępnego nawilżania skrobi (SM) i wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego (FM) wykonuje się w komorze miesiarki farinografu bezpośrednio przed rozpoczęciem testu miesienia. Zachowywana jest ich odpowiednia kolejność, najpierw wykonuje się zabieg wstępnego nawilżania skrobi SM, a po jego zakończeniu i po dodaniu suplementu błonnikowego jest wykonywany zabieg wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego FM. Podczas wykonywania zabiegów SM i FM są utrzymywane identyczne warunki pracy miesiarki, jak w czasie wykonywania farinograficznych testów miesienia, i są zgodne z PN-EN ISO 5530-1:2015-01. Czasy trwania zabiegów wstępnego nawilżania skrobi SM i wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego FM dostosowuje się do zdolności hydratacyjnych skrobi i suplementu błonnikowego, i są one nie krótsze niż 1 min i 30 min, odpowiednio.

Skrobia, gluten i suplement błonnikowy, jako substraty stosowane do wykonywania sposobu według wynalazku, przechowuje się w postaci powietrznie suchych i sypkich proszków o ustalonej i wyrównanej wilgotności $H_s(storage) = H_g(storage) = H_f(storage)$.

Skrobię pszenną, gluten pszenny i suplement błonnikowy zastępuje się ewentualnie innymi natywnymi składnikami mąki produkowanej z ziarna zbóż i innych gatunków roślin, a także innymi preparatami stosowanymi w celu poprawy walorów technologicznych, żywieniowych i zdrowotnych mąki.

Pojedyncze składniki zastępuje się ewentualnie mieszaninami natywnymi, obejmującymi mąkę pszenną, żytnią albo ich mieszaninami albo mąką modelową.

Podczas wykonywania miesienia stosuje się procedurę wyrabiania ciasta o stałej masie $m_d=80$ g. Wymaganą ilość wody m_w wlewa się w całości do komory miesiarki w momencie rozpoczęcia zabiegu SM.

Opracowany sposób według wynalazku jest pierwszym tego rodzaju narzędziem badawczym, które umożliwia w sposób miarodajny prognozowanie przebiegu redystrybucji wody między składnikami ciasta w czasie jego wyrabiania oraz identyfikowanie jej mechanizmów, a także ilościowe porównywanie skutków fizycznej i chemicznej redystrybucji. Narzędzie to pozwala analizować minuta po minucie stopień uwodnienia poszczególnych składników ciasta. Na tej podstawie można precyzyjnie określić zakres zmian uwodnienia pojedynczego składnika ciasta, momenty występowania maksimów i minimów uwodnienia oraz dynamikę tych zmian. Wiedza z tego zakresu może znacznie ułatwić zrozumienie złożonych procesów technologicznych, a w szczególności związanych z wyrabianiem pszennego ciasta chlebowego suplementowanego błonnikiem pokarmowym.

Sposób określania redystrybucji wody według wynalazku może być z powodzeniem stosowany w charakterystyce właściwości hydratacyjnych innych natywnych składników ciasta i preparatów stosowanych w celu poprawy walorów technologicznych, żywieniowych i zdrowotnych mąki chlebowej.

Przedmiot wynalazku uwiarygodniony został w przykładzie wykonania testu miesienia z przedstawieniem istotnych elementów dotyczących sposobu na rysunkach i w tabelach, gdzie:

Fig. 1 przedstawia zależność konsystencji ciasta glutenowego C_g od uwodnienia glutenu H_g i czasu miesienia t ;

Fig. 2 przedstawia zmiany konsystencji ciasta skrobiowo-glutenowego C_{s+g} od stopnia jego hydratacji H_{s+g} i czasu miesienia t ;

Fig. 3 przedstawia dopasowanie modelu (4) C_{s+g+f} do danych eksperymentalnych na przykładzie ciasta suplementowanego błonnikiem aroniowym ($R_f=1,605$) w dwóch wariantach: (a) nie poddawany zabiegowi FM i (b) poddawany zabiegowi FM;

Fig. 4 przedstawia dopasowanie modelu (4) C_{s+g+f} do danych eksperymentalnych na przykładzie ciasta suplementowanego błonnikiem owsianym ($R_f=3,151$) w dwóch wariantach: (a) nie poddawany zabiegowi FM i (b) poddawany zabiegowi FM;

Fig. 5 przedstawia zmiany uwodnienia skrobi H_s na skutek redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta w czasie miesienia na przykładzie ciasta suplementowanego błonnikiem aroniowym, nie poddawany (a) i poddawany zabiegowi FM (b) lub błonnikiem owsianym, nie poddawany (c) i poddawany zabiegowi FM (d);

Fig. 6 przedstawia zmiany uwodnienia glutenu H_g na skutek redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta w czasie miesienia na przykładzie ciasta suplementowanego błonnikiem aroniowym, nie poddawany (a) i poddawany zabiegowi FM (b) lub błonnikiem owsianym, nie poddawany (c) i poddawany zabiegowi FM (d);

Fig. 7 przedstawia zmiany uwodnienia suplementu błonnikowego H_f na skutek redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta w czasie miesienia na przykładzie ciasta suplementowanego błonnikiem aroniowym, nie poddawany (a) i poddawany zabiegowi FM (b) lub błonnikiem owsianym, nie poddawany (c) i poddawany zabiegowi FM (d);

Tabela 1 przedstawia wartości średnie i błędy standardowe parametrów modeli regresji opisujących zmiany konsystencji ciasta glutenowego $C_g(H_g, t)$ i ciasta skrobiowo-glutenowego $C_{s+g}(H_{s+g}, t)$;

Tabela 2 przedstawia wartości średnie i błędy standardowe parametrów modelu $C_{s+g+f}(\varphi_f, t)$ charakteryzujących aktywność badanych suplementów błonnikowych w fizycznej i chemicznej redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego;

Tabela 3 przedstawia wartości średnie i błędy standardowe parametrów modelu $C_{s+g+f}(\varphi_f, t)$ charakteryzujących wpływ badanych suplementów błonnikowych na zachowanie reologiczne ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego.

W przykładzie wykonania składnikami do sporządzenia ciasta były: skrobia pszenna (Cargill, Holandia), gluten pszenny (Sigma-Aldrich, Polska) i sześć rodzajów suplementów błonnikowych: aroniowy, kakaowy, lniany, marchwiowy, owsiany (Microstructure, Warszawa, Polska) oraz karobowy (Carob General Application, Walencja, Hiszpania). Wszystkie składniki przed rozpoczęciem testu miesienia były kondycjonowane, w celu wyrównania ich początkowego stopnia hydratacji do poziomu $H_s(storage)=H_g(t=0)=H_f(t=0)=0,1\pm0,01$, i przechowywane w hermetycznych pojemnikach.

Farinograficzne testy miesienia ciasta o stałej masie $m_d=80$ g wykonywano przy użyciu E-farinografu (Brabender, Niemcy) wyposażonego w 50-g miesiarkę i zachowując warunki miesienia opisane w normie PN-EN ISO 5530-1:2015-01. Standardową procedurę uzupełniono o wykonywanie dwóch dodatkowych zabiegów SM i FM. Czas trwania zabiegów SM i FM wynosił 1 min i 30 min, odpowiednio. Zabieg SM wykonywano w komorze miesiarki, do której wsypywano skrobię w ilości m_s , a następnie z chwilą wiania wody w ilości m_w rozpoczynano odmierzenie czasu trwania tego zabiegu. Po zakończeniu zabiegu SM, pokrywę komory miesiarki unoszono i dodawano suplement błonnikowy w ilości m_f , po czym pokrywę opuszczano w celu rozpoczęcia zabiegu FM. Po zakończeniu zabiegu FM, ponownie unoszono pokrywę komory miesiarki i dodawano gluten w ilości m_g . Z chwilą opuszczenia pokryw rozpoczynano odmierzenie czasu miesienia t . W wariancie, kiedy zabieg FM nie był wykonywany, po zakończeniu zabiegu SM do komory miesiarki dodawano mieszaninę sporządzoną z glutenu i suplementu błonnikowego w ilości m_g i m_f , odpowiednio. Przy sporządzaniu ciasta dwuskładnikowego (skrobiowo-glutenowego) i trójskładnikowego (skrobiowo-glutenowo-błonnikowego) zachowywano stałą proporcję wagową skrobi do glutenu, która wynosiła $\varphi_s/\varphi_g=80/15$. Wymagane ilości wody m_w , skrobi m_s , glutenu m_g i suplementu błonnikowego m_f wyznaczono w oparciu o następujące formuły:

$m_w = m_d \cdot (1 - 1/(1 + H_g - H_g(storage)))$, w przypadku ciasta glutenowego,

$m_w = m_d \cdot (1 - 1/(1 + H_{s+g} - H_s(storage) \cdot \varphi_s - H_g(storage) \cdot \varphi_g))$, w przypadku ciasta skrobiowo-glutenowego,

$m_w = m_d \cdot (1 - 1/(1 + H_{s+g+f} - H_s(storage) \cdot \varphi_s - H_g(storage) \cdot \varphi_g - H_f(storage) \cdot \varphi_f))$, w przypadku ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego,

$m_s = (m_d - m_w) \cdot H_s(storage) \cdot \varphi_s / (H_s(storage) \cdot \varphi_s + H_g(storage) \cdot \varphi_g + H_f(storage) \cdot \varphi_f)$,

$m_g = (m_d - m_w) \cdot H_g(storage) \cdot \varphi_g / (H_s(storage) \cdot \varphi_s + H_g(storage) \cdot \varphi_g + H_f(storage) \cdot \varphi_f)$,

$m_f = (m_d - m_w) \cdot H_f(storage) \cdot \varphi_f / (H_s(storage) \cdot \varphi_s + H_g(storage) \cdot \varphi_g + H_f(storage) \cdot \varphi_f)$,

gdzie: $\varphi_s = 0$, $\varphi_g = 1$ i $\varphi_f = 0$, w przypadku ciasta glutenowego,

$\varphi_s = 80/95$, $\varphi_g = 15/95$ i $\varphi_f = 0$, w przypadku ciasta skrobiowo-glutenowego,

$\varphi_s = 80/95 \cdot (1 - \varphi_f)$, $\varphi_g = 15/95 \cdot (1 - \varphi_f)$ i $\varphi_f = \{0,03, 0,06, 0,09\}$, w przypadku ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego.

Czas miesienia t_F ustalono na 40 min. Podczas farinograficznego testu miesienia pomiary konsystencji ciasta C_g , C_{s+g} i C_{s+g+f} były wykonywane z częstotliwością 30 min^{-1} .

W pierwszym etapie przeprowadzono farinograficzne testy miesienia z udziałem glutenu pszenicznego $\varphi_g=1$ i stosując 5 następujących poziomów stopnia hydratacji glutenu H_g : 99/86, 109/86, 119/86, 129/86 i 139/86 wyrażonych w gramach wody/gramy suchej masy. Jak pokazano na Fig. 1, zastosowane poziomy uwodnienia H_g powodowały różnicowanie konsystencji ciasta glutenowego C_g w szerokim przedziale, od około 300 FU do prawie 2000 FU. Analizę regresji przeprowadzono dopasowując pierwszy model regresji (1) do wyników farinograficznych zarejestrowanych w zawężonym przedziale czasu miesienia, $t_H=7 \text{ min} \leq t \leq t_F=40 \text{ min}$, w obrębie którego zmiany konsystencji ciasta glutenowego

miały charakter zbliżony do liniowego. Zmiany te obrazują wpływ badanych poziomów uwodnienia H_g na przebieg dwóch przeciwstawnych procesów: mechanicznego uszkodzania sieci glutenowej (spadek konsystencji) i jej pęcznienia (wzrost konsystencji) podczas wydłużania czasu miesienia. Siły oddziaływania tych dwóch procesów równoważyły się, kiedy uwodnienie glutenu wahało się pomiędzy 119/86 a 129/86. Prezentowane na Fig. 1 wartości współczynnika determinacji R^2 i standardowego błędu estymacji SEE potwierdzają bardzo dobre dopasowanie modelu regresji $C_g(H_g, t)$ do danych eksperymentalnych, a wszystkie wyznaczone parametry tego modelu (Tabela 1) były wysoce istotne dla pełnego wyjaśnienia zmienności danych pomiarowych.

T a b e l a 1. Wartości średnie i błędy standardowe parametrów modelu regresji $C_g(H_g, t)$ i $C_{s+g}(H_{s+g}, t)$

Parametry modelu $C_g(H_g, t)$				
a_{g1}	a_{g2}	a_{g3}	a_{g4}	a_{g5}
3884±4	4,219±0,004	2,706±0,010	3,491±0,023	2,343±0,013
Parametry modelu $C_{s+g}(H_{s+g}, t)$				
R_g	h_{s+g}	k_1	k_2	
1,890±0,001	-1,942±0,045	5,783±0,011	-2,482±0,006	

W drugim etapie wykonano testy miesienia z udziałem dwuskładnikowej mieszanki sporządzonej ze skrobi pszennej i glutenu pszennego. Zastosowano 9 poziomów stopnia hydratacji ciasta skrobiowo-glutenowego H_{s+g} różnicując go w przedziale od 65/86 do 81/86. Zmierzone wartości C_{s+g} w przedziale czas miesienia $t_{p1}=3 \text{ min} \leq t \leq t_f=40 \text{ min}$ przedstawiono na Fig. 2. Dopasowano do nich drugi model regresji (2) i wyznaczono z dużą dokładnością wartości parametrów tego modelu (Tabela 1). Spośród nich najważniejszy jest wskaźnik redystrybucji R_g , który charakteryzuje aktywność glutenu w wiązaniu wody. Uzyskana wartość $R_g=1,89$ wskazuje, że gluten w porównaniu ze skrobią ($R_s=1$) odznacza się prawie dwukrotnie większym potencjałem w wiązaniu wody. Analiza współczynników korekcyjnych k_1 i k_2 wskazuje na malejący wpływ skrobi na konsystencję ciasta wraz ze wzrostem uwodnienia glutenu.

W ostatnim, trzecim etapie wykonano testy miesienia z udziałem trójskładnikowej mieszanki sporządzonej ze skrobi pszennej, glutenu pszennego i suplementu błonnikowego. Suplement stosowano w dwóch wariantach, jako poddawany i nie poddawany zabiegowi FM. Udział suplementu φ_f zróżnicowano na 3 następujących poziomach: 0,03, 0,06 i 0,09. Ustalono jeden stopień hydratacji ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego $H_{s+g+f}=79/86$. Przykładowe farinogramy uzyskane dla błonników różniących się wskaźnikami redystrybucji R_f przedstawiono na Fig. 3 i 4. Najpierw wykonano dopasowywanie trzeciego modelu regresji (3) do wyników farinograficznych zmierzonych w końcowym okresie miesienia, od 37 min do 40 min, w celu określenia aktywności badanych błonników w fizycznej redystrybucji wody. Uzyskane wartości R_f (Tabela 2) wskazują na statystycznie istotne różnice między badanymi błonnikami. Zdecydowana większość badanych błonników odznaczała się znacznie wyższą siłą w wiązaniu wody w porównaniu z glutenem. Jest to zarazem podstawowa przyczyna występowania zjawiska migracji wody ze skrobi i glutenu do błonnika. Jedynie błonnik aroniowy ($R_f=1,6$) cechował się niższą aktywnością w wiązaniu wody do glutenu w porównaniu z glutenem ($R_f=1,9$).

Po wyznaczeniu wartości wskaźników R_f , przystąpiono do bardziej szczegółowej analizy przebiegu fizycznej i chemicznej redystrybucji wody w cieście skrobiowo-glutenowo-błonnikowym. Dla potrzeb tej analizy zostały określone czasy t_{p1} , oznaczające momenty występowania pierwszych wierzchołków (p_1) na farinogramach, dla wszystkich 6 kombinacji (3 poziomy $\varphi_f \times 2$ poziomy FM) każdego badanego suplementu błonnikowego. Wyniki farinograficzne, w wyznaczonych przedziałach czasu miesienia $t_{p1} \leq t \leq t_f$, poddano analizie regresji nieliniowej w celu wyznaczenia wartości parametrów czwartego modelu (4). Otrzymane wartości tych parametrów (Tabele 2 i 3) wykazały, że przebieg redystrybucji fizycznej i chemicznej oraz zachowanie reologiczne ciasta było istotnie różnicowane nie tylko przez gatunek botaniczny rośliny, z której wyprodukowano suplement błonnikowy, ale również wielkość jego dodatku φ_f oraz stosowanie zabiegu wstępnego nawilżania FM.

Wartości parametrów czwartego modelu (4) zamieszczone w Tabelach 2 i 3 posłużyły ostatecznie do sporządzenia szczegółowego opisu przebiegu zmian uwodnienia skrobi H_s , glutenu H_g i suple-

mentu błonnikowego H_f , posługując się opracowanymi formułami piątą (5), szóstą (6) i siódmą (7), odpowiednio. Przykładowe wykresy przedstawiające zmiany uwodnienia skrobi (Fig. 5), glutenu (Fig. 6) i suplementu błonnikowego reprezentowanego przez błonnik aroniowy i owsiany (Fig. 7) ukazują znaczące różnice zarówno w zakresie hydratacji i dehydratacji, jak również w dynamice tych procesów. Uzyskane wyniki potwierdzają, że miesienie ciasta chlebowego jest procesem reologicznie złożonym, w modelowaniu którego dominującą rolę odgrywa redystrybucja wody pomiędzy jego składnikami. Widzimy, że zastąpienie jednego suplementu innym, np. błonnika aroniowego błonnikiem owsianym, radykalnie wpływa na przebieg redystrybucji oraz stopień uwodnienia glutenu i skrobi. Dlatego też, należy sądzić, że opracowany sposób według wynalazku będzie szczególnie pomocnym narzędziem przy projektowaniu receptur mieszanek wypiekowych wzbogacanych błonnikiem pokarmowym. Ulepszone receptury powinny zabezpieczać optymalne uwodnienie w szczególności tych składników ciasta, które utrzymują jego właściwą konsystencję podczas fermentacji i wypieku.

T a b e l a 2. Wartości średnie i błędy standardowe parametrów czwartego modelu (4) $C_{s+g+f}(\varphi_f, t)$ charakteryzujących aktywność badanych suplementów błonnikowych w fizycznej i chemicznej redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego

Para- metry	Suplementy błonnikowe					
	Aroniowy	Kakaowy	Karobowy	Lniany	March- wiowy	Owsiany
Redystrybucja fizyczna						
R_f	1,605 ^a ±0,015	2,595 ^c ±0,013	2,016 ^b ±0,009	2,657 ^c ±0,023	3,721 ^e ±0,018	3,151 ^d ±0,015
b_{gM}	-1,496 ^{d*} ±0,005	-2,120 ^b ±0,013	-1,634 ^c ±0,006	-3,568 ^a ±0,351	-3,477 ^a ±0,245	-2,100 ^b ±0,013
b_g	0,307 ^b ±0,008	0,724 ^d ±0,016	0,251 ^a ±0,013	1,805 ^e ±0,352	1,257 ^e ±0,246	0,599 ^c ±0,024
b_f	-0,546 ^c ±0,010	-0,857 ^c ±0,012	-0,635 ^d ±0,016	-2,593 ^{a-c} ±1,583	-1,295 ^a ±0,018	-1,109 ^b ±0,018
Redystrybucja chemiczna						
m	-0,804 ^a ±0,038	- ¹	-	-	2,262 ^b ±0,017	-
n	151,5 ^d ±1,5	61,4 ^a ±1,6	118,5 ^c ±1,3	83,2 ^b ±0,6	-	232,3 ^e ±2,0
b_{chem}	0,3432 ^c ±0,0017	0,5258 ^e ±0,0059	0,4741 ^d ±0,0039	0,3020 ^b ±0,0029	0,6177 ^f ±0,0115	0,0613 ^a ±0,0004
c_{1M}	17,07 ^a ±0,06	17,96 ^b ±0,11	22,22 ^e ±0,08	21,27 ^d ±0,09	19,31 ^c ±0,10	46,90 ^f ±0,50
c_1	-	1,20 ^b ±0,14	1,16 ^b ±0,12	2,27 ^c ±0,05	-1,73 ^a ±0,16	37,20 ^d ±1,67
c_{2M}	-60,0 ^e ±0,8	-116,7 ^c ±1,5	-197,8 ^b ±0,9	-109,3 ^d ±1,0	-192,9 ^b ±1,6	-378,4 ^a ±5,7
c_2	12,2 ^d ±0,5	-5,1 ^b ±1,8	3,3 ^c 1,6±	-	36,0 ^e ±2,4	-389,6 ^a ±20,9

* – wartości średnie w tym samym wierszu oznaczone różnymi literami indeksów górnych różnią się między sobą istotnie ($\alpha \leq 0,05$),

¹ – parametr modelu nieistotny statystycznie ($\alpha > 0,05$).

T a b e l a 3. Wartości średnie i błędy standardowe parametrów czwartego modelu (4) $C_{s+g+t}(\varphi_i, t)$ charakteryzujących wpływ badanych suplementów błonnikowych na zachowanie reologiczne ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego

Para- metry	Suplementy błonnikowe					
	Aroniowy	Kakaowy	Karobowy	Lniany	March- wiowy	Owsiany
d_{1M}	-6,512 ^{a*} ±0,020	-3,727 ^c ±0,030	-4,782 ^b ±0,036	- ¹	-	-
d_1	-	-	-2,671 ^a ±0,052	-	-	-
d_2	0,164 ^a ±0,002	0,218 ^c ±0,005	0,174 ^b ±0,003	-	-	-
d_{3M}	-0,117 ^b ±0,004	-0,267 ^a ±0,013	0,091 ^c ±0,006	-	-	-
d_3	-0,385 ^b ±0,007	0,090 ^c ±0,007	-0,782 ^a ±0,019	-	-	-
d_{4M}	-3,46 ^f ±0,22	-35,16 ^d ±0,29	-22,70 ^e ±0,30	-38,68 ^c ±0,18	-62,05 ^b ±0,12	-66,73 ^a ±0,40
d_4	7,74 ^a ±0,19	37,43 ^c ±0,24	18,63 ^b ±0,32	38,94 ^d ±0,18	73,75 ^f ±0,15	54,20 ^e ±0,28
k_{3M}	121,2 ^b ±0,9	219,6 ^c ±1,4	154,6 ^d ±2,1	22,9 ^a ±0,3	142,9 ^c ±0,5	-
k_3	-105,3 ^c ±0,7	-293,7 ^a ±2,0	28,6 ^f ±5,2	-38,3 ^c ±0,3	-195,6 ^b ±0,6	-82,7 ^d ±2,1
$k_{4M} \cdot 10^{-3}$	-18,3 ^e ±0,3	-21,6 ^d ±0,2	-20,1 ^{de} ±0,6	-169,1 ^b ±1,6	-62,6 ^c ±0,3	-1169,8 ^a ±4,6
$k_4 \cdot 10^{-3}$	-	99,7 ^c ±0,5	38,8 ^a ±0,8	113,8 ^d ±1,9	88,7 ^b ±0,4	1182,9 ^e ±4,8
$k_{5M} \cdot 10^{-3}$	3,48 ^f ±0,06	4,28 ^d ±0,06	3,47 ^c ±0,11	-3,46 ^c ±0,05	-4,13 ^b ±0,05	-8,24 ^a ±0,06
$k_5 \cdot 10^{-3}$	-3,44 ^a ±0,05	4,55 ^c ±0,32	1,05 ^b ±0,14	7,42 ^d ±0,07	1,56 ^f ±0,05	11,39 ^c ±0,06

* – wartości średnie w tym samym wierszu oznaczone różnymi literami indeksów górnych różnią się między sobą istotnie ($\alpha \leq 0,05$),

¹ – parametr modelu nieistotny statystycznie ($\alpha > 0,05$).

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób określania przebiegu redystrybucji wody podczas miesienia pomiędzy składnikami ciasta pszennego: skrobią, glutenem i suplementem błonnikowym, charakteryzującymi się wskaźnikami redystrybucji R_s , R_g i R_t , oraz udziałami wagowymi φ_s , φ_g i φ_f , odpowiednio, z wykorzystaniem farinografu, **znamienny tym**, że prowadzony jest w trzech etapach, czas miesienia t trwa nie krócej niż 40 min, do momentu, kiedy procesy fizycznej i chemicznej redystrybucji wody pomiędzy składnikami ciasta w pełni ustają, pomiary konsystencji ciasta w czasie miesienia wykonuje się z częstotliwością nie mniejszą niż 30 min⁻¹, przed rozpoczęciem testu miesienia, wykonuje się wstępne nawilżanie skrobi (SM) a skrobia, gluten i suplement błonnikowy, mają ustaloną i wyrównaną wilgotność, odpowiednio $H_s(storage) = H_g(storage) = H_t(storage)$, przy czym:

– w pierwszym etapie wykonuje się farinograficzne testy miesienia z udziałem glutenu pszennego ($\varphi_g=1$), różnicując stopień hydratacji H_g co najmniej na 5 poziomach dla uzyskania płynnego zróżnicowania konsystencji ciasta glutenowego C_g w przedziale od 300 do 1800 FU, pomiar wartości C_g wykonuje się w przedziale czasu miesienia $t_{p1} \geq t \leq t_F$, przy czym wartość t_{p1} wynosi co najmniej 7 min, w którym to czasie zmierzone wartości C_g mają charakter zbliżony do liniowego i dopasowuje się do nich opisuje się zgodnie z pierwszym modelem regresji (1), mającym postać:

$$C_g(H_g, t) = a_{g1} \cdot (1 - (1 - \exp(a_{g2} \cdot (1 - H_g)))) + (\exp(2,5 \cdot (a_{g3} - H_g)) - \exp(a_{g4} \cdot (a_{g5} - H_g))) \cdot t,$$

gdzie: t_{p1} jest czasem miesienia potrzebnym dla uzyskania pełnej hydratacji ciasta glutenowego, w następstwie której farinogram odznacza się quasi liniowym przebiegiem, t_F jest końcowym czasem miesienia, H_g i t są zmiennymi modelu, natomiast a_{g1} , a_{g2} , ... a_{g5} są parametrami pierwszego modelu regresji (1) odnajdowanymi przy użyciu analizy regresji nieliniowej, 2,5 jest wartością ustaloną arbitralnie;

– w drugim etapie wykonuje się farinograficzne testy miesienia z udziałem dwuskładnikowej mieszanki sporządzonej ze skrobi pszennej i glutenu pszennego w stałej proporcji φ_s/φ_g , charakterystycznej dla typowej mąki pszennej i różnicując stopień hydratacji ciasta skrobiowo-glutenowego H_{s+g} co najmniej na 5 poziomach dla uzyskania płynnego zróżnicowania jego konsystencji C_{s+g} w przedziale od 100 do 500 FU, otrzymuje się wartości C_{s+g} w przedziale czasu miesienia $t_{p1} \geq t \leq t_F$, które opisuje się zgodnie z drugim modelem regresji (2), mającym postać:

$$C_{s+g}(H_{s+g}, t) = C_g(H_g, t) \cdot \varphi_g \cdot (k_1 + k_2 \cdot H_g),$$

w którym H_g podstawia się wyrażeniem:

$$H_g = H_g(t=0) + (H_{s+g} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) - H_g(t=0)) \cdot (1 - \exp(b_{s+g} \cdot t)),$$

gdzie: t_{p1} jest czasem miesienia potrzebnym do zakończenia rozwoju ciasta, obserwowanym w momencie formowania się pierwszego wierzchołka na farinogramie, R_s jest równy 1, H_{s+g} i t są zmiennymi, natomiast R_g , b_{s+g} , k_1 i k_2 są poszukiwanymi parametrami drugiego modelu (2);

– w trzecim etapie wykonuje się farinograficzne testy miesienia z udziałem trójskładnikowej mieszanki sporządzonej ze skrobi pszennej, glutenu pszennego i suplementu błonnikowego, który stosuje się w dwóch wariantach, jako poddawany i nie poddawany zabiegowi wstępnego nawilżania (FM), przy czym udział suplementu φ_f różnicuje się co najmniej na 3 poziomach w przedziale od 0,03 do 0,09, natomiast proporcja φ_s/φ_g jest taka, jak w drugim etapie, a stopień hydratacji ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego H_{s+g+f} ustala się na jednym poziomie, pozwalającym na uzyskiwanie w obrębie analizowanej partii suplementów i z uwzględnieniem wielkości ich dodatku φ_f , konsystencji C_{s+g+f} nie wyższej niż 500 FU, i w końcowym 3-minutowym okresie miesienia ($t_F - 3 \text{ min} \geq t \leq t_F$) dokonuje się pomiaru wartości C_{s+g+f} , które opisuje się przy użyciu trzeciego modelu regresji (3):

$$C_{s+g+f}(\varphi_f, t) = C_g(H_g, t) \cdot \varphi_g \cdot (k_1 + k_2 \cdot H_g),$$

w którym H_g podstawia się wyrażeniem:

$$H_g = H_{s+g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f),$$

gdzie: φ_f i t są zmiennymi, R_f jest poszukiwanym parametrem trzeciego modelu (3), po wyznaczeniu którego, wyniki pomiarów C_{s+g+f} zarejestrowane w przedziale czasu miesienia $t_{p1} \geq t \leq t_F$, gdzie t_{p1} jest momentem występowania pierwszych wierzchołków (p_1) na farinogramach, dla każdego badanego suplementu błonnikowego, opisuje się przy użyciu czwartego modelu regresji (4):

$$C_{s+g+f}(\varphi_f, t) = C_g(H_g, t) \cdot \varphi_g \cdot (k_1 + k_2 \cdot H_g) \cdot (1 + (d_{1M} + d_1 \cdot LF) \cdot \varphi_f / (1 + \exp(d_2 \cdot ((d_{3M} + d_3 \cdot LF) / \varphi_f + c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f \cdot t)))) \cdot (1 + (k_{3M} + k_3 \cdot LF) \cdot ((k_{4M} + k_4 \cdot LF) - \varphi_f^2) \cdot (1 + (k_{5M} + k_5 \cdot LF) / \varphi_f) + (d_{4M} + d_4 \cdot LF) \cdot \varphi_f \cdot t,$$

w którym H_g podstawia się piątym wyrażeniem (5):

$$H_g = H_g(t=0) + [H_{s-g+f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - H_g(t=0)] \cdot (1 - \exp((b_{gM} + b_g \cdot LF) \cdot t)) - \\ \varphi_f \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) \cdot [H_{s+g+f} \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - H_g(t=0)] \cdot LF \cdot (1 - \exp(b_f \cdot t)) - \\ H_{s+g-f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) \cdot 0,01 \cdot (n+m \cdot \varphi_f) / (1 + \exp(b_{chem} \cdot (c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f - t))),$$

gdzie: LF jest funkcją logiczną mającą postać: JEŻELI (zabieg FM wykonywano; 0; 1), która przyjmuje wartość 0, jeśli zabieg FM wykonywano, lub 1, jeśli zabieg FM nie wykonywano, φ_f i t są zmiennymi, natomiast b_{gM} , b_g , b_f , n , m , b_{chem} , c_{1M} , c_1 , c_{2M} , c_2 , d_{1M} , d_1 , d_2 , k_{3M} , k_3 , k_{4M} , k_4 , k_{5M} , k_5 , d_{4M} i d_4 są poszukiwanymi parametrami czwartego modelu (4), następnie w oparciu o które wyznacza się przebieg hydratacji pozostałych składników ciasta skrobiowo-glutenowo-błonnikowego, skrobi (H_s) i suplementu błonnikowego (H_f), w czasie miesienia t zgodnie z poniższymi formułami:

– formuła szósta (6)

$$H_s = (H_{s+g+f} \cdot (H_g(t=0) \cdot \varphi_g + H_f(t=0) \cdot \varphi_f)) / \varphi_s \cdot LF + (H_{s+g+f} \cdot H_g(t=0) \cdot \varphi_g) \cdot R_s / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot \\ (1 - LF) + [(H_{s+g+f} \cdot H_f(t=0) \cdot \varphi_f) \cdot R_s / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) - (H_{s+g+f} \cdot (H_g(t=0) \cdot \varphi_g + H_f(t=0) \cdot \varphi_f)) / \varphi_s] \cdot \\ LF \cdot (1 - \exp((b_{gM} + b_g \cdot LF) \cdot t)) - \varphi_f \cdot R_s / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g) \cdot [R_f \cdot H_{s+g+f} / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - \\ H_s(t=0) - H_g(t=0)] \cdot LF \cdot (1 - \exp(b_f \cdot t)) + \varphi_g \cdot R_s / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot \\ H_{s+g-f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) \cdot \\ 0,01 \cdot (n+m \cdot \varphi_f) / (1 + \exp(b_{chem} \cdot (c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f - t))),$$

– formuła siódma (7)

$$H_f = H_f(t=0) \cdot LF + (H_{s+g+f} \cdot H_g(t=0) \cdot \varphi_g) \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot (1 - LF) + [H_{s+g+f} \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + \\ R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) - H_f(t=0)] \cdot (1 - \exp(b_f \cdot t)) + \varphi_g \cdot R_f / (R_s \cdot \varphi_s + R_f \cdot \varphi_f) \cdot \\ H_{s+g-f} \cdot R_g / (R_s \cdot \varphi_s + R_g \cdot \varphi_g + R_f \cdot \varphi_f) \cdot \\ 0,01 \cdot (n+m \cdot \varphi_f) / (1 + \exp(b_{chem} \cdot (c_{1M} + c_1 \cdot LF + (c_{2M} + c_2 \cdot LF) \cdot \varphi_f - t))).$$

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że najpierw wykonuje się zabieg wstępnego nawilżania skrobi (SM), a po jego zakończeniu i po dodaniu suplementu błonnikowego jest wykonywany zabieg wstępnego nawilżania suplementu błonnikowego (FM), a podczas wykonywania zabiegów wstępnego nawilżania (SM) i (FM) są utrzymywane identyczne warunki pracy miesiarki, jak w czasie wykonywania farinograficznych testów miesienia.
3. Sposób według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że czasy trwania zabiegów wstępnego nawilżania (SM) i (FM) dostosowuje się do zdolności hydratacyjnych skrobi i suplementu błonnikowego, i są nie krótsze niż 1 min i 30 min, odpowiednio.
4. Sposób według któregośkolwiek z poprzednich zastrz., **znamienny tym**, że skrobię pszenną, gluten pszenny i suplement błonnikowy zastępuje się innymi natywnymi składnikami mąki produkowanej z ziarna zbóż i innych gatunków roślin, a także innymi preparatami stosowanymi w celu poprawy walorów technologicznych, żywieniowych i zdrowotnych mąki.
5. Sposób według któregośkolwiek z poprzednich zastrz., **znamienny tym**, że pojedyncze składniki zastępuje się mieszaninami natywnymi, obejmującymi mąkę pszenną, żytnią albo ich mieszaninami albo mąką modelową.

Rysunki

$$R^2=0,9994 \text{ SEE}=10,71$$

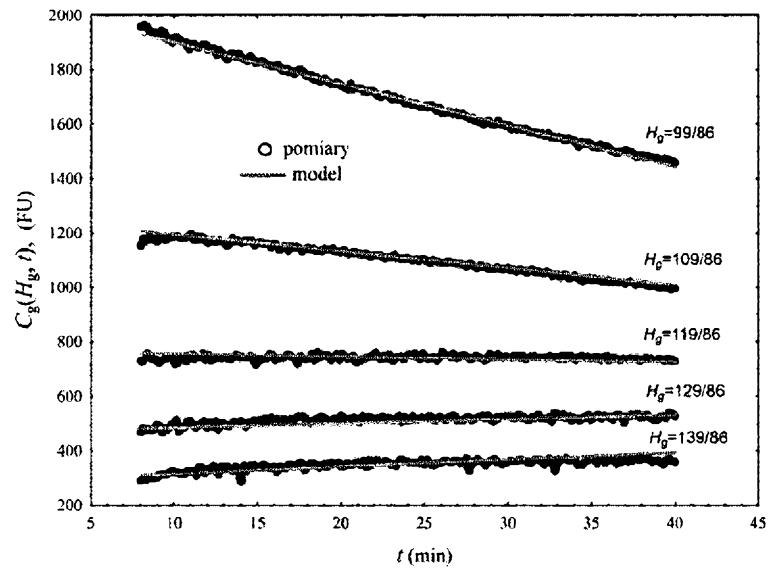


Fig 1

$$R^2=0,9979 \text{ SEE}=5,61$$

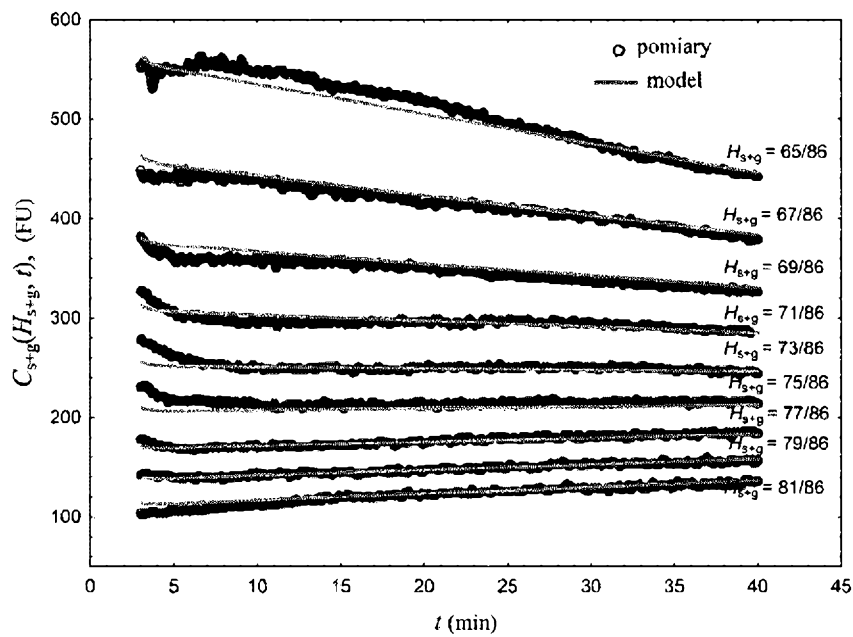


Fig 2

$$R^2 = 0,9912 \text{ SEE} = 1,57$$

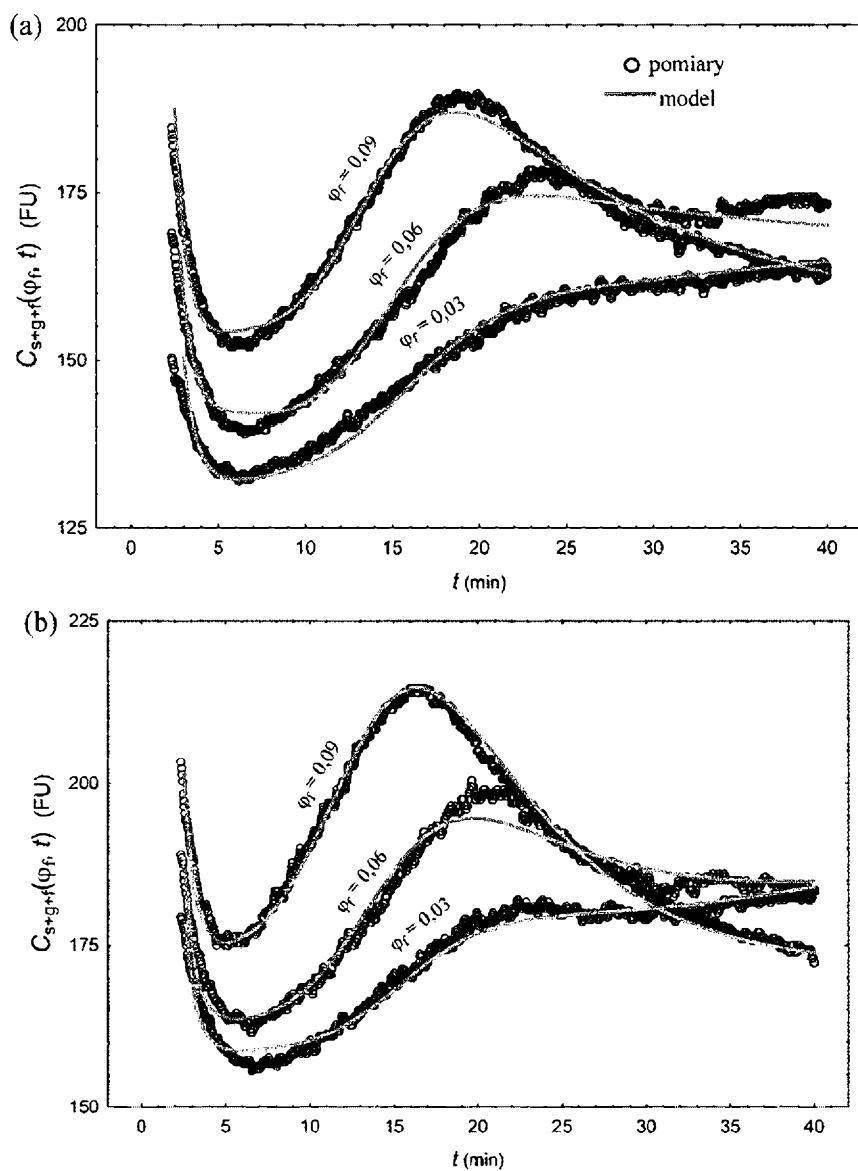


Fig.3

$$R^2 = 0,9975 \text{ SEE} = 3,27$$

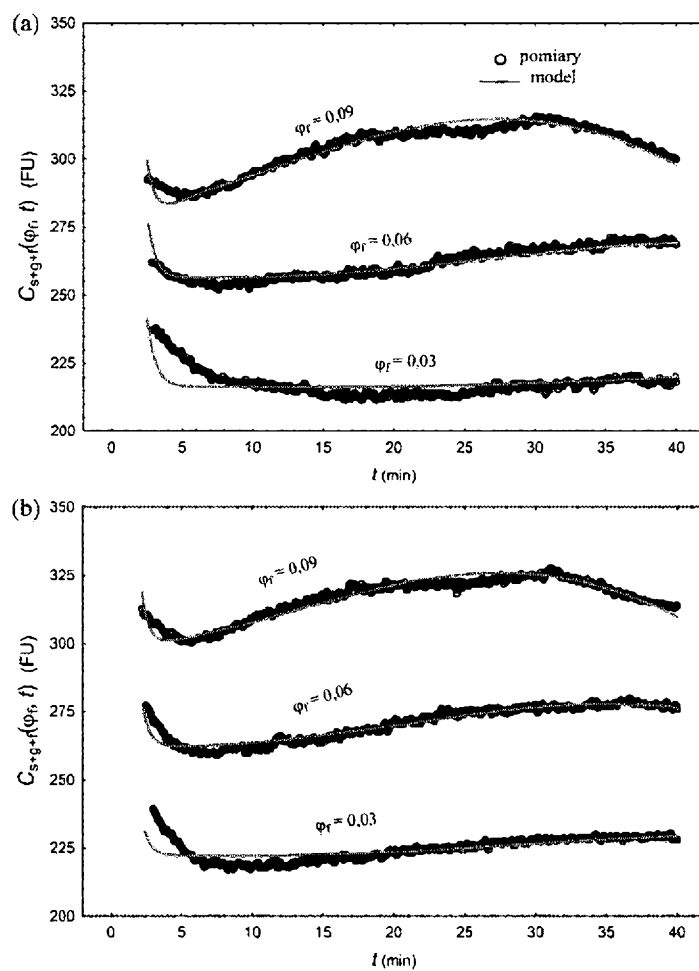


Fig.4

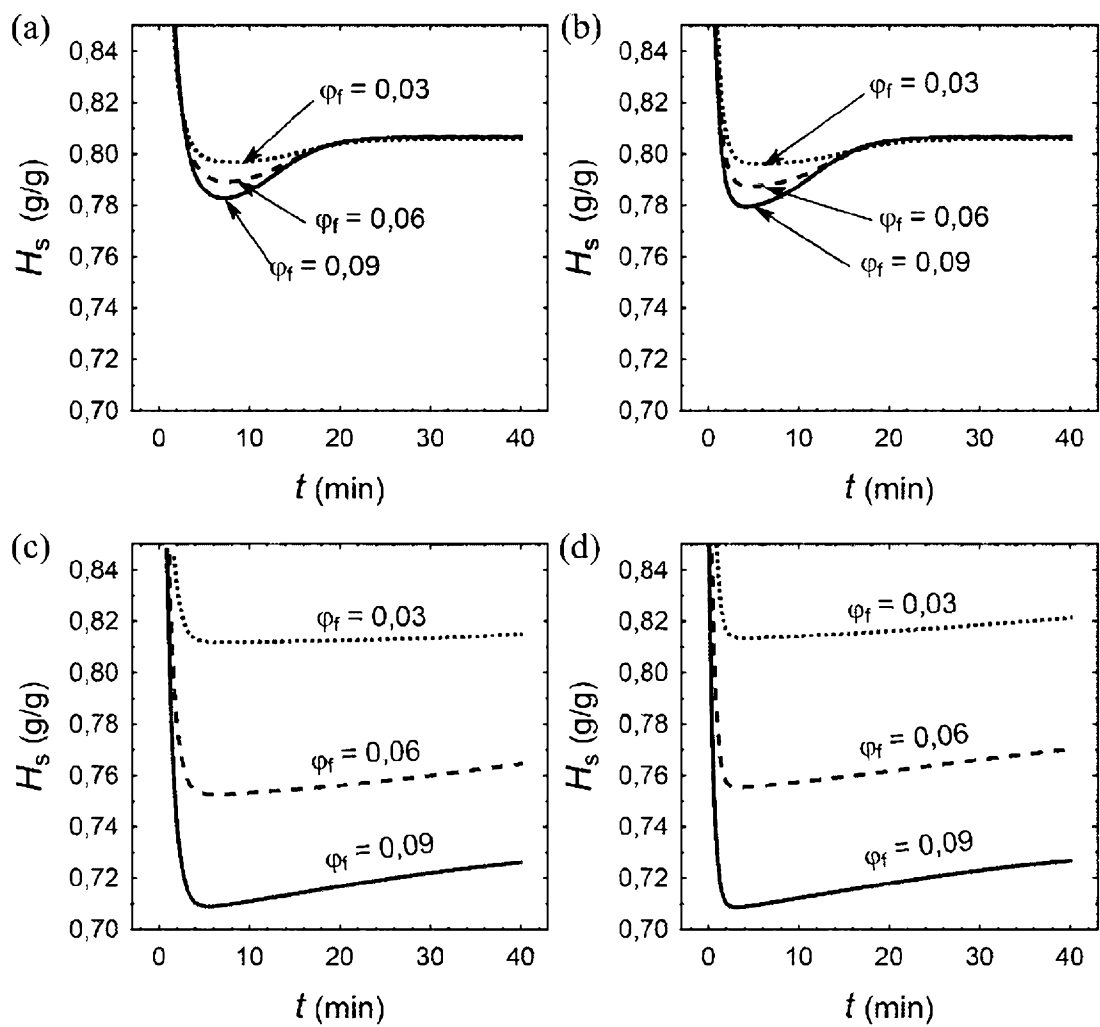


Fig.5

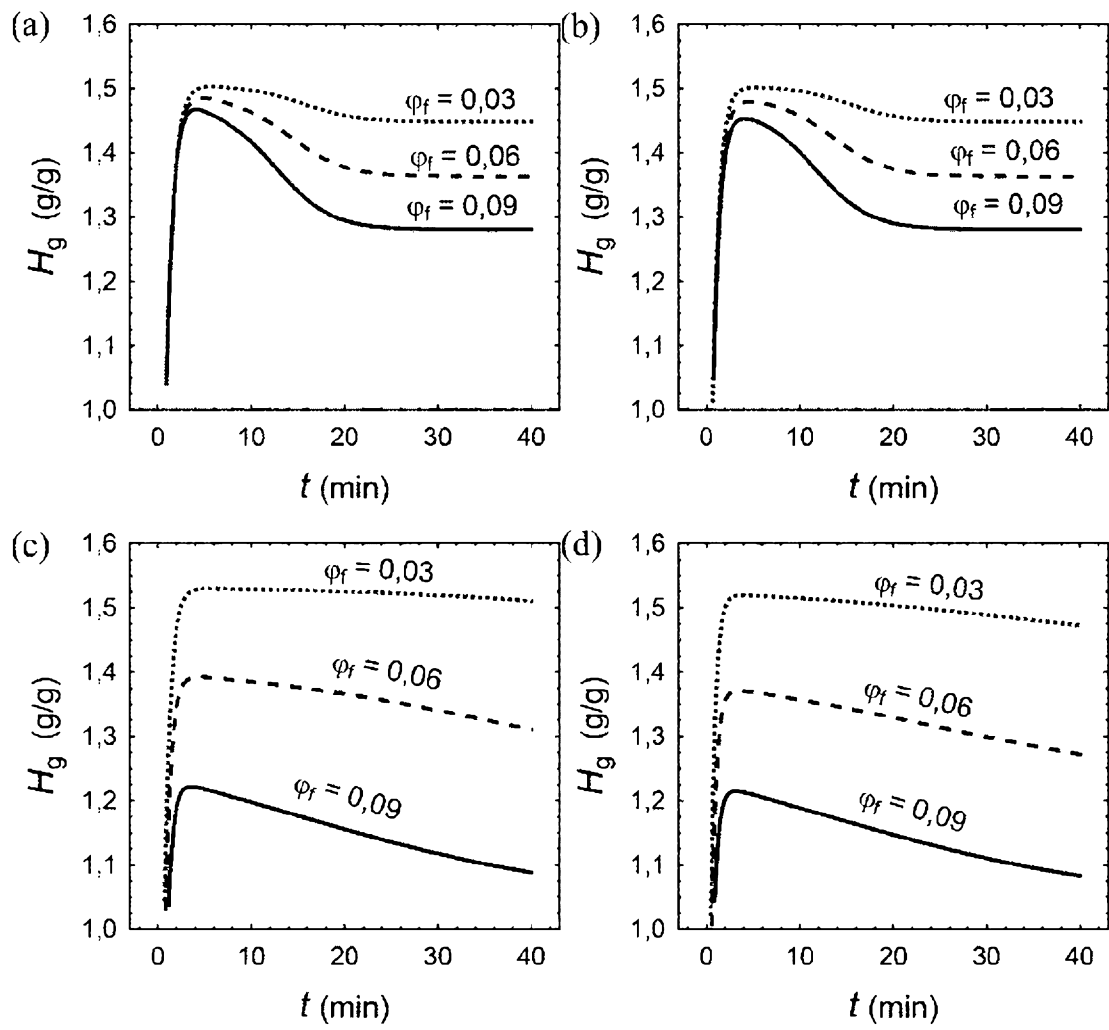


Fig.6

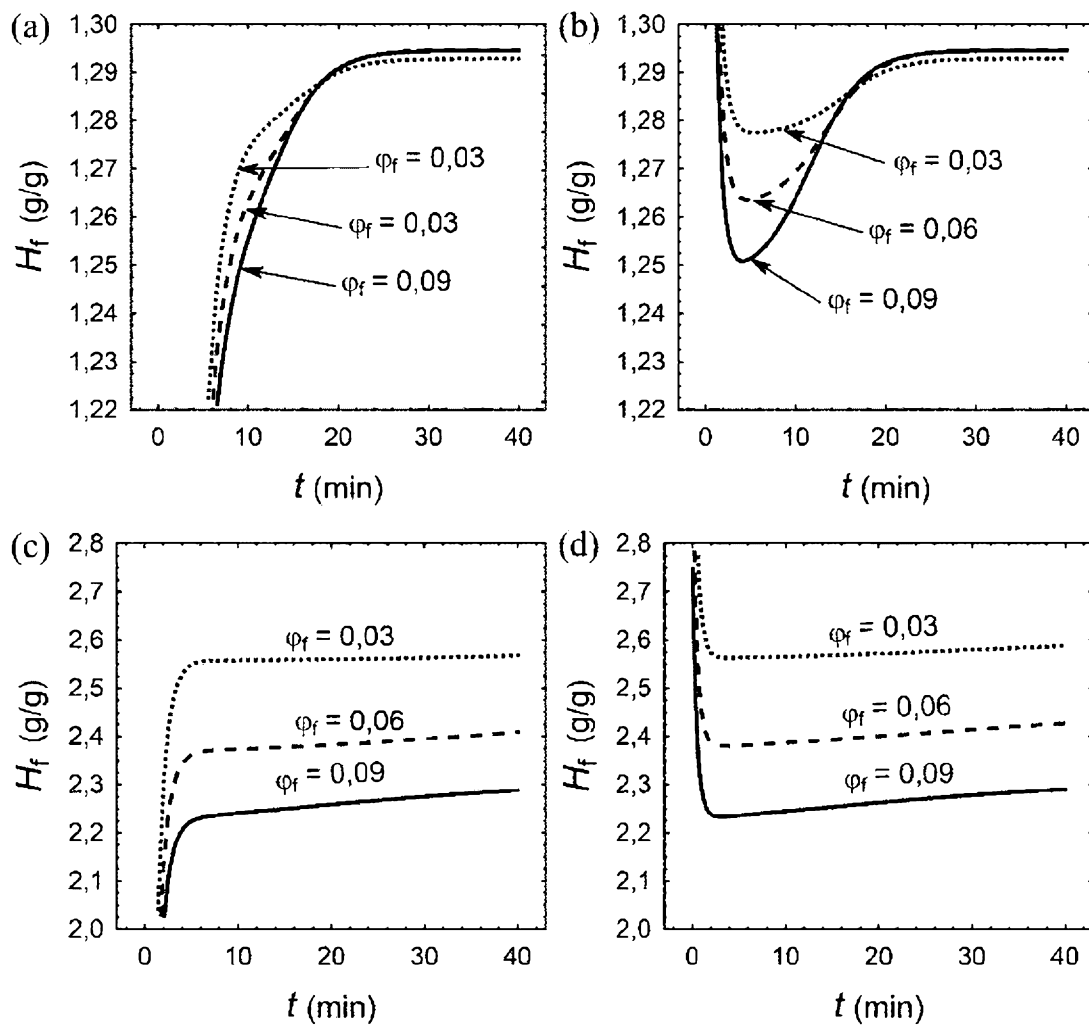


Fig.7