

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) _____ **ІНІТІ ім. акад. І.С. Гулого**
Кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Микола ЯКИМЧУК
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв

на тему: Дослідження структурно-механічних властивостей тіста вірменського лавашу в лінії АЛ-130 з метою підвищення його якості

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-4М

_____ Бруква Олексій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник _____ Бабко Євген Миколайович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент _____ Маринін А. І.
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2023_р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)
Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТОКТП
проф. Микола ЯКИМЧУК

« ____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Брукви Олексія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження структурно-механічних властивостей тіста вірменського лавашу в лінії АЛ-130 з метою підвищення його якості

керівник проекту (роботи) Бабко Євген Миколайович, доц., кандидат тех. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» листопада 2022 р. № 794-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2023р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Параметри печі та показники процесу.
2. Параметри лавашу з практичних експериментів. 2. Навчальна та спеціальна література.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат; Зміст; Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (за необхідністю); Вступ; Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження; Розробка нових технічних рішень об'єкта дослідження, вибір або створення його математичної моделі; Об'єкти, методи досліджень та експериментальна установка; Результати теоретичних та (або) експериментальних досліджень; Охорона праці при виконанні наукових досліджень; Маркетингове, соціальне обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Наукова частина – 10 аркушів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 12.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	18.09.2022 р.	
2	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження</i>	10.10.2022 р.	
3	<i>Розробка нових технічних рішень об'єкта дослідження, вибір або створення його математичної моделі</i>	24.10.2022 р.	
4	<i>Об'єкти, методи досліджень та Експериментальна установка</i>	15.11.2022 р.	
5	<i>Результати теоретичних та (або) експериментальних досліджень</i>	20.12.2022 р.	
6	<i>Охорона праці при виконанні наукових досліджень</i>	25.12.2022 р.	
7	<i>Маркетингове, соціальне обґрунтування проекту</i>	04.01.2023 р.	
8	<i>Висновки</i>	06.01.2023 р.	
9	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	28.01.2023 р.	
10	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	30.01.2023 р.	
		01.02.2023 р.	

Здобувач

(підпис)

Бруква О. Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бабко Є. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У магістерській роботі проводилось дослідження структурно-механічних властивостей тіста для вірменського лавашу.

Був проведений аналіз проведених раніше досліджень, в яких розглядались зміни в тісті при зміні складу тіста шляхом додавання пшеничних висівок, гідроколоїдів та використання пшенично-вівсяного борошна.

За допомогою програмного забезпечення Autodesk CFD було зроблено симуляцію процесу випікання лавашу за різними сценаріями.

Ключові слова: тісто, камедь, борошно, густина, коефіцієнт теплопровідності, теплоємність.

ABSTRACT

In the master's thesis, a study of the structural and mechanical properties of the dough for Armenian lavash was carried out.

An analysis of previous studies was conducted that looked at the changes in the dough when the composition of the dough was changed by adding wheat bran, hydrokaloids and using wheat-oat flour.

With the help of Autodesk CFD software, the pita bread baking process was simulated under various scenarios.

Key words: dough, gum, flour, density, coefficient of thermal conductivity, heat capacity.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва Реферат	210747.KP.01.000 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1	

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....
ВСТУП
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ
1.1. Огляд літературних джерел і патентів, аналіз прогресивних технологічних і конструкційних рішень
1.2. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдань роботи.....
1.3. Висновки.....
2. РОЗРОБКА НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР АБО СТВОРЕННЯ ЙОГО МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....
2.1. Дослідження з додаванням пшеничних висівків.....
2.2. Дослідження з пшенично-вівсяним змішуванням
2.3. Дослідження з додаванням гідроколоїдів
2.4. Стандартні методи та критерії прогнозування якості хлібної крупи — чи відповідають вони вимогам сучасної сировини та її переробки
2.5. Висновки.....
3. ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ЙОГО.....
3.1. Математична модель
3.2. Методика проведення дослідження
3.3. Налаштування параметрів розрахунку
3.4. Обробка результатів моделювання
3.5. Висновки.....
4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА (АБО) ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....
4.1. Аналіз результатів експериментальних досліджень
4.2. Обґрунтування отриманих основних наукових, практичних та соціальних результатів досліджень з точки зору достовірності, наукової та практичної цінності
4.3. Висновки 26
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....
6. МАРКЕТИНГОВЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ
ВИСНОВКИ.....
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....
ДОДАТКИ.....

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва Зміст	210747.KP.01.000 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Гідроколоїди — велика, неоднорідна група полімерних речовин, що включає переважно полісахариди та деякі білки.

Пентозани — високомолекулярні колоїдальні полісахариди, що відповідають формулі $(C_5H_8O_4)_n$ і є продуктами природної полімеризації п'ятиатомних моносахаридів (пентоз) $C_5H_{10}O_5$.

WBS — млиновий потік, який виникає в результаті останнього етапу відновлення, і очікується, що він матиме альфа-амілазну активність.

Альвеограф — пристрій, який вимірює пружно-еластичні властивості борошна.

Реоферментометр — пристрій, який вимірює основні параметри процесу бродіння тіста.

Mixolab — пристрій, призначений для визначення водопоглинальної здатності борошна і реологічних властивостей тіста, що замішується з борошна, яке тестується.

Фаринограф — пристрій для вивчення реологічних властивостей борошна.

MSG (Monosodium Glutamate, укр. Глутамат натрію) — моноватрієва сіль глутамінової кислоти, популярна харчова добавка E621, якій помилково приписують властивості посилення смакових відчуттів (за рахунок дії на глутаматні рецептори, що відповідають за окремий смак, котрий назвали умами; до цього відкриття, зробленого 2002 року, вважалося, що глутамат натрію впливає на збільшення чутливості рецепторів язика). Білий кристалічний порошок, добре розчинний у воді.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	210747.KP.01.000 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

СМС (укр. Карбоксиметилцелюлоза) — полімер, продукт подальшої переробки целюлози загального складу $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2COOH)_x]_n$ (де $x = 0,08—1,5$).

Час розробки тіста (DDT) — час, необхідний для досягнення кривою максимальної консистенції.

Стабільність (S) — різниця в часі (у хвиликах) між точкою, де вершина кривої вперше перетинається, і точкою, де вершина кривої залишає лінію, яка визначає консистенцію тіста.

Індекс толерантності (TI) — різниця (в BU) між максимумом кривої на піку та вершиною кривої, виміряною через 5 хв. після досягнення піку.

Ступінь розм'якшення (DS) — різниця (в BU) між максимальною консистенцією тіста та консистенцією тіста, досягнутою через 12 хвилин після піку консистенції.

Консистенція тіста (C) — діапазон лінії, яка проходить через середину кривої при максимальній консистенції.

Еластичність тіста (E) — ширина кривої в максимальному діапазоні консистенції.

Число падіння — показник автолітичної активності амілолітичних ферментів, в основному альфа-амілази, в зерні та продуктах його переробки (борошні).

ВСТУП

Дослідження процесів, які відбуваються при виробництві харчової продукції є важливою складовою для того аби готова продукція відповідала стандартам, нормам охорони здоров'я, тобто від досліджень, які проводяться залежить наскільки якісним і безпечним буде продукт для споживання суспільством.

Виробництва орієнтуються на те, аби споживач був задоволений купленим їм продуктом, на це впливає смак, безпечність, харчова цінність, ціна та терміни зберігання. Вдосконалюючи процеси виробництва, можна покращити ці показники, тому постійно продовжується пошук інформації на нові наукові досягнення в харчовій галузі, аби використати їх на своєму підприємстві, а дослідниками створюється ця інформація за допомогою аналізу попередніх робіт, проведення нових експериментів.

Для даної роботи був обраний вірменський лаваш, який досі не був досліджений належним чином, більшість досліджень по напрямку хлібобулочних виробів спрямовані до хліба, всі інші вироби не мають такої уваги дослідників.

Хоч досліди в напрямі хлібобулочної продукції стосується досліджень тіста, проте процеси виробництва кожного виду виробів мають свої особливі характери перебігу, на які також якість, тип та вид сировини, співвідношення компонентів, властивості, які отримуються за різних рецептів та ін.. Готова продукція однієї рецептури не тільки в різному обладнанні, а й в однаковому може відрізнятися і бути непридатною для споживання по стандартам якості та охорони здоров'я, якщо в будь-якому з процесів відбулося відхилення.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва Вступ	210747.KP.01.000 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

Отже, є необхідність знаходити стандарти параметрів, які мають задаватися в обладнанні, аби процеси відбувалися таким чином, як це потрібно для отримання якісної продукції.

Актуальність теми, що розглядається, характеризується, в першу чергу, освітленістю інформаційно. Так як, дослідження лавашу є рідкістю і у вільному доступі їх знайти досить важко, не кажучи про їх актуальність зі швидким розвитком наукових досягнень, можна стверджувати, що дана тема є актуальною.

Об'єктом дослідження є структурно-механічні властивості тіста для виготовлення лавашу, а саме, його вплив на процеси виробництва.

Предметом дослідження є випікання лавашу за різною рецептурою, а саме: оригінальний рецепт, з використанням пшенично-вівсяного борошна, з додаванням камеді, з додаванням пшеничних висівок.

Метою роботи є дослідити зміну властивостей тіста зі зміною рецептури, виявити як вони впливають на процес випікання, а отже отримання готової продукції.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

На структурно-механічні властивості тіста, розкочування і в подальшому випікання впливають такі фактори: яке саме борошно використовують; кількість води, що додається; добавки; заміс; настоювання. Це можна описати одним словом «рецептура», а те, які властивості набуло тісто — «реологічні властивості». У цьому розділі будуть проаналізовані результати досліджень, в яких використовувалось пшенично-вівсяне борошно та додавалися такі добавки як пшеничні висівки та гідроколоїди.

1.1. Огляд літературних джерел і патентів, аналіз прогресивних технологічних і конструкційних рішень

1.1.1. Вплив додавання пшеничних висівок на реологію та якість тіста

З точки зору хлібопечення найважливішою культурою є пшениця (*Triticum aestivum*). Ядро пшениці складається із зародка, навколоплідника (зовнішнього і внутрішнього), насінневої оболонки, алейронового шару та крохмалистого ендосперму. Мета помелу — відокремити крохмалистий ендосперм від ядра та подрібнити його на борошно. Алейроновий шар, околоплідник і насіннева оболонка утворюють висівки.

Борошно відрізняється ступенем вилучення, хімічним і харчовим складом. Біле борошно виробляється, коли ступінь вилучення становить 75% або менше, а цільнозернове борошно утворюється, коли вилучення

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ	210747.KP.01.001 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/22	

наближається до 100%. Під час виробництва білого борошна видаляється багато важливих поживних речовин і клітковини, оскільки ці компоненти в основному містяться у висівках і зародках.

Тому цілнозернове борошно забезпечує хороший хлібобулочний продукт з точки зору поживної цінності та користі для здоров'я.

Оскільки ринок хлібобулочних продуктів з білого борошна є кращим, ніж ринок з борошна грубого помелу, існує великий інтерес до розробки хлібобулочних виробів з багатим вмістом харчових волокон (Peressini and Sensidoni 2009) [1] та/або з високим вмістом вітамінів і мінералів (Hansen та ін., 2005) [2].

Сучасні технології виробництва хлібобулочних продуктів, збагаченого харчовими волокнами (розчинними або нерозчинними), враховують волокна з різних злаків або фруктів і овочів (Sudha та ін., 2007; Zhang and Moore) [3]; камеді, такі як гуарова камедь і модифікована целюлоза (Gomez та ін., 2003) [4], або фруктани типу інуліну (Peressini and Sensidoni, 2009; Wang та ін., 2002) [1] [5].

Незважаючи на те, що дослідники та хлібопекарська промисловість працювали разом над покращенням якості цих продуктів, часто їхнє визнання досить обмежене через зменшений об'єм буханки, твердий м'якуш та особливі смакові якості м'якушка (Rosell та ін., 2010; Wang та ін., 2002) [6]. Різні побічні продукти перемелювання, які часто викидаються та використовуються як корм, багаті білками, жирами, вітамінами, антиоксидантними сполуками та мінералами (Dewettinck та ін., 2008) [7]. Ці фракції помелу можна використовувати для підвищення поживної цінності хлібобулочних виробів без впливу на сенсорну якість (Bonnand-Ducasse та ін., 2010) [8].

Мета цього дослідження полягала в тому, щоб порівняти реологічну поведінку тіста, виготовленого з білого пшеничного борошна з різними рівнями включених висівок і з цілнозернового борошна.

1.1.2. Вплив введення потоку пшеничних висівок на фізико-хімічні характеристики борошна

Орієнтовний склад WBS, які додавалися в біле борошно: вологість 11,2%, зольність 5,8%; вміст білка 17,6%, вміст ліпідів 6,5%, загальні пентозани 24,2%, водорозчинні пентозани 6,5%. Водопоглинання WBS становило 5,5%. Bonnand-Ducasse та ін. (2010) з'ясували, що для пшеничних волокон, отриманих з алеїронового шару, і для пшеничних фракцій, отриманих після стирання зовнішніх висівок, загальний вміст арабіноксиланів становить 35 і 32% фракції, відповідно. Водопоглинання цих фракцій становило 8 і 7 мл/г відповідно. Приблизний склад комерційної алеїронової фракції пшениці, виготовленої компанією Bühler: білок 21%, загальна кількість харчових волокон 43%, зола 12% і жир 7%. Враховуючи ці результати, стверджується, що WBS містить важливу частину алеїронового шару.

WBS додавалося в різних відсотках (3, 5, 10, 15, 20, 25 і 30%) до білого пшеничного борошна та оцінено його вплив на широкий діапазон якісних характеристик. Отримані результати наведені в Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Результати додавання WBS в різних відсотках на фізико-хімічні характеристики борошна

Samples ^a	Moisture content ^b (%)	Ash content (%)	Wet gluten content (%)	Gluten index (%)	Falling number values (s)	Liquefaction number value
P0	11.3±0.03	0.53±0.02	25.0±0.15	96±0.7	315 ± 2.8	22.6
P1	11.4±0.06	0.65±0.06	24.4±0.19	95±1.4	278±4.2	26.3
P2	11.4±0.06	0.74±0.06	24.2±0.19	94±1.4	274±4.2	26.8
P3	11.5±0.05	0.95±0.04	24.1±0.17	93±1.4	270±2.8	27.3
P4	11.5±0.05	1.17±0.04	22.9±0.16	93±0.7	262±2.8	28.3
P5	11.6±0.04	1.38±0.05	21.0±0.15	92±0.7	256±2.8	29.1
P6	11.5±0.04	1.61±0.03	19.9±0.15	91±0.7	248±2.1	30.3
P7	11.0±0.03	1.80±0.03	18.4±0.14	90±0.7	238±2.1	31.9
P8	11.0±0.03	1.62±0.02	25.3±0.15	86±0.7	294±2.8	22.6

^aP0 - white flour, control sample, without WBS; P1 - sample with 3% WBS; P2 - sample with 5% WBS; P3 - sample with 10% WBS; P4 - sample with 15%; P5 - sample with 20% WBS; P6 - sample with 25% WBS, P7 - sample with 30% WBS; P8 - wholewheat flour.

^bExpressed on 14% moisture basis.

Додавання від 3 до 30% WBS до білого борошна збільшило вміст золи та знизило падіння кількісних значень в зразках. Зольність і число зрідження зросли з 0,65% до 1,80% і з 22,6 до 31,9 відповідно, а падіння кількісних значень зменшилося з 278 с до 238 с. Добре відомо, що існує лінійна залежність між числом розрідження та вмістом альфа-амілази (Pertén; Tara and Bains). Результати вказують на значущу кореляцію 0,94 ($p < 0,05$) між відсотком WBS, включеного в біле пшеничне борошно, і числом розрідження. WBS — це млиновий потік, який виникає в результаті останнього етапу відновлення, і очікується, що він матиме альфа-амілазну активність. Kruger, Tipples і Rani та ін. (2001) [9] повідомили, що потоки млина з кінцевих каналів розриву та відновлення містять відносно високі рівні активності альфа-амілази.

Індекс клейковини знизився з 96% до 90% із збільшенням WBS, включеного в біле пшеничне борошно, але індекс клейковини всіх сумішей вищий, ніж індекс цільного зерна (86%). Цей параметр надає інформацію як про кількість, так і про якість глютену та базується на співвідношенні високо-/низькомолекулярних білків.

Високий індекс глютену означає більшу частку високомолекулярних білків, присутніх у глютені (Collar та ін., 2007) [10]. Індекс клейковини залежить від кількості вологої клейковини, яка проходить через сито під дією відцентрової сили, і більша частка клейковини, яка залишається на ситі після центрифугування, свідчить про сильнішу клейковину (Dowell та ін., 2008).

1.1.3. Вплив потоку пшеничних висівок на параметри альвеографа

Додавання WBS до білого пшеничного борошна мало значний вплив на реологічні властивості тіста, виміряні альвеографом. Результати наведені в Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Результати впливу на реологічні властивості тіста, виміряні альвеографом

Samples	P (mm)	L (mm)	P/L	G	Wx10 ⁻⁴ J
P0	89 ± 2	73 ± 2	1.22	19.0 ± 0.8	232 ± 10
P1	91 ± 5	64 ± 2	1.42	17.8 ± 0.8	204 ± 8
P2	91 ± 3	67 ± 2	1.36	18.2 ± 0.7	211 ± 7
P3	96 ± 3	51 ± 1	1.88	15.9 ± 0.6	181 ± 6
P4	108 ± 4	36 ± 1	3.00	13.4 ± 0.5	152 ± 5
P5	126 ± 5	24 ± 1	5.25	10.9 ± 0.4	131 ± 4
P6	134 ± 5	18 ± 1	7.44	9.4 ± 0.4	105 ± 2
P7	134 ± 5	12 ± 1	11.16	7.7 ± 0.4	75 ± 2
P8	139 ± 5	10 ± 1	13.90	7.0 ± 0.5	66 ± 2

Стійкість тіста до деформації (P) — показник здатності тіста утримувати газ; високе значення P вказує на те, що тісто стійке до деформації, тоді як низьке значення P вказує на те, що тісто є менш еластичним. Розтяжність тіста (L) дає інформацію про характеристики обробки тіста, його здатність розтягуватися без руйнування; високе значення L вказує на те, що тісто демонструє високу розтяжність і легко розтягується. Індекс набухання (G) можна інтерпретувати так само, як L.

Альвеограф P/L представляє баланс еластичності та розтяжності; високі значення P/L призводять до меншого розтікання через еластичну природу тіста. Індекс W використовується для оцінки поведінки тіста в процесі випічки; W є найбільш широко використовуваною характеристикою, оскільки вона підсумовує всі параметри Альвеографа.

Тісто, виготовлене з пшеничного борошна з сильним білком, має високу еластичність і низьку розтяжність (Bordes та ін., 2008) [11]. Для борошна дуже хорошої якості значення P коливається від 80 до 100 мм, W вище 170, а значення P/L становить від 0,50 до 0,90 (Bordes та ін., 2008).

Gomez та ін. (2003) і Wang та ін. (2002) повідомили, що добавки харчових волокон мали виражений вплив на параметри Альвеографа тіста з пшеничного борошна.

За даними Gomez та ін. (2003), додавання деяких очищених харчових волокон різного походження (апельсини, горох, какао, кава, пшениця та мікрокристалічна целюлоза) підвищує міцність тіста (P) і зменшує розтяжність тіста (L). Загалом, усі волокна, протестовані Gomez та ін. (2003) призвели до помірного збільшення (до 18%) енергії деформації (W), за винятком волокон пшениці із середньою довжиною 0,035 мм і волокон какао, які знизили міцність тіста на 23% і 10%, відповідно. Wang та ін. (2002) повідомили про збільшення P за рахунок додавання інуліну, клітковини ріжкового дерева та гороху внаслідок взаємодії між клітковиною (полісахариди) та протеїнами пшениці та зниження приблизно на 42% розтяжності пшеничного борошна.

1.1.4. Вплив потоку пшеничних висівок на показники реоферментографа

Реоферментометром реєстрували підвищення висоти тіста під час бродіння, газоутворення та газоутримання. Вплив додавання WBS на параметри реоферментографа показано в Таблиці 1.3.

Додавання WBS зменшує максимальну висоту, досягнуту під час бродіння (Hm), порівняно з контрольним зразком (P0), відповідно до підвищення стійкості тіста до деформації та зниження розтяжності (Таблиця 1.3). Така поведінка спричинена низькою якістю глютенної матриці через її розведення та конкуренцію водою (Angioloni та Collar, 2009; Skendi та ін., 2010; [12] Wang та ін., 2002). Час, необхідний для максимального розвитку тіста T1, було зменшено завдяки додаванню WBS. Час максимального газоутворення (T'1) і час, коли газ починає виходити з тіста (Tx), були зменшені з додаванням WBS, що вказує на кращу проникність тіста для вуглекислого газу. Було виявлено, що відсоток утримання газу (Таблиця 1.3) зменшується, коли додається WBS, і це спостереження узгоджується з Wang та ін. (2002).

Результати вказують на суттєво негативну кореляцію між вмістом золи, отриманим за допомогою параметрів WBS і реоферментографа: Hm (-0,82, $p \leq 0,001$), T1 (-0,94, $p \leq 0,001$), Tx (-0,51, $p \leq 0,001$), T' 1 (-0,87, $p \leq 0,001$) і затримка газу (-0,86, $p \leq 0,001$).

Таблиця 1.3 — Результати виміряні реоферментографом

Samples	Dough development			Gas behaviour		
	Hm (mm)	T1 (min)	Gas loss (ml)	Tx (min)	T'1 (min)	Gas retention (%)
P0	56.3±0.14	139±1.41	38±0.14	76±0.35	102±0.71	97.6±0.71
P1	50.4±0.14	128±1.41	65±0.49	75±0.42	93±0.71	96.3±0.42
P2	35.2±0.28	118±1.41	73±0.42	76±0.37	80±0.71	96.2±0.28
P3	30.0±0.28	106±2.12	91±0.28	75±0.35	80±1.41	95.2±0.42
P4	29.8±0.14	94±1.41	98±1.41	67±0.21	67±0.71	95.0±0.71
P5	27.1±0.28	96±1.41	110±0.71	67±0.35	60±0.71	94.3±0.42
P6	24.0±0.28	84±0.71	125±2.12	66±0.21	59±0.71	93.8±0.42
P7	14.9±0.14	68±0.71	135±0.42	62±0.14	59±0.71	93.6±0.42
P8	28.5±0.28	70±0.71	120±1.41	67±0.14	57±0.71	92.3±0.42

1.1.5. Вплив потоку пшеничних висівок на параметри Mixolab

Додавання WBS до білого пшеничного борошна значно змінило термомеханічну поведінку тіста, виміряну за допомогою Mixolab. Параметри, отримані з кривої Mixolab, детально наведені в Таблиці 1.4, і вони описують такі етапи: розробка тіста, перемішування, варіння та охолодження.

Розвиток тіста (DT) являє собою час, необхідний для збільшення консистенції тіста до 1,1 Нм після відповідної гідратації сумішей борошна. Консистенція та стабільність тіста в основному зумовлені утворенням агрегатів як наслідок водневих зв'язків або зв'язування білків через дисульфідні або дитирозинові зв'язки. Додавання WBS до білого пшеничного борошна підвищувало консистенцію тіста при заданій кількості доданої води. Проте з Таблиці 1.4а можна побачити, що у випадку рівнів WBS 3 і 5% час розвитку подібний до контрольного зразка (P0). Часи формування тіста зразків P6 (рівень WBS 30%) і P8 (цільозернове борошно)

були порівнюваними. Водопоглинання (WA) збільшувалося зі збільшенням відсотка WBS, включеного в біле пшеничне борошно, завдяки гідроксильним групам волокон, які забезпечують зв'язування води. Ці результати узгоджуються із спостереженнями інших авторів при вивченні різних видів волокон (Gomez та ін., 2003; Zhang and Moore).

Таблиця 1.4 — Результати виміряні Mixolab

a.

Samples	Primary parameters									
	WA (%)	DT (min)	ST (min)	C2 (Nm)	C3 (Nm)	C4 (Nm)	C5 (Nm)	α , (Nm/min)	β , (Nm/min)	γ , (Nm/min)
P0	57.1±0.20	1.35±0.04	8.7±0.52	0.40±0.02	1.62±0.06	1.94±0.08	3.04±0.12	-0.028±0.001	0.328±0.01	0.006±0.0001
P1	58.1±0.40	1.50±0.05	9.52±0.63	0.39±0.02	1.58±0.06	1.88±0.08	2.84±0.10	-0.028±0.001	0.302±0.01	0.020±0.002
P2	58.4±0.40	1.35±0.05	9.55±0.55	0.38±0.02	1.62±0.06	1.85±0.08	2.82±0.11	-0.028±0.001	0.322±0.01	0.022±0.002
P3	60.2±0.20	3.97±0.11	9.9±0.68	0.41±0.02	1.81±0.08	1.75±0.06	2.61±0.08	-0.036±0.002	0.410±0.02	-0.020±0.002
P4	61.6±0.40	4.70±0.15	10.32±0.71	0.44±0.03	1.78±0.07	1.65±0.06	2.48±0.10	-0.036±0.001	0.524±0.04	-0.038±0.001
P5	64.2±0.40	6.32±0.24	10.17±0.64	0.44±0.02	1.76±0.07	1.49±0.06	2.15±0.10	-0.024±0.001	0.480±0.03	-0.050±0.002
P6	65.6±0.60	5.67±0.19	9.23±0.79	0.45±0.03	1.76±0.07	1.41±0.06	2.04±0.09	-0.022±0.001	0.514±0.02	-0.056±0.002
P7	68.2±0.60	5.87±0.12	9.98±0.82	0.46±0.03	1.75±0.07	1.32±0.05	1.83±0.08	-0.058±0.004	0.492±0.02	-0.050±0.002
P8	61.4±0.40	5.70±0.11	9.18±0.77	0.44±0.02	2.06±0.11	1.91±0.08	2.89±0.11	-0.078±0.004	0.706±0.04	-0.032±0.001

b.

Samples	Secondary parameters			
	C1-C2 (Nm)	C3-C2 (Nm)	C4-C3 (Nm)	C5-C4 (Nm)
P0	0.75±0.04	1.22±0.04	0.32±0.03	1.10±0.02
P1	0.72±0.04	1.19±0.05	0.30±0.03	0.96±0.02
P2	0.72±0.04	1.24±0.04	0.23±0.02	0.97±0.01
P3	0.69±0.03	1.40±0.06	-0.06±0.01	0.86±0.02
P4	0.70±0.03	1.34±0.04	-0.13±0.03	0.83±0.01
P5	0.65±0.03	1.32±0.04	-0.27±0.02	0.66±0.01
P6	0.65±0.04	1.29±0.04	-0.35±0.03	0.63±0.02
P7	0.64±0.03	1.28±0.04	-0.43±0.03	0.51±0.01
P8	0.65±0.04	1.62±0.05	-0.15±0.02	0.98±0.02

c.

Samples	Mixolab Profiler index					
	Water absorption	Mixing	Gluten+	Viscosity	Amylase	Retrogradation
P0	3	2	2	4	8	7
P1	5	5	1	4	8	7
P2	5	4	1	4	8	7
P3	7	6	2	5	8	6
P4	8	6	2	4	7	6
P5	8	6	2	4	5	4
P6	8	6	3	4	4	4
P7	9	5	4	4	2	3
P8	8	4	2	8	7	7

Що стосується стабільності тіста (ST), то з Таблиця 1.4а можна побачити, що введення WBS спричинило збільшення цього параметра. Дослідження Чжана та Мура показали, що додавання пшеничних висівок до систем хлібного тіста знижує стабільність змішування внаслідок руйнування глютенної мережі частинками пшеничних висівок. У разі додавання WBS підвищення стабільності тіста, швидше за все, відбувається завдяки посиленню взаємодії через зв'язування водню за участю гідроксильних груп, присутніх у молекулах волокон (Rosell та ін., 2010).

Під час етапу надмірного змішування подвійний механічний зсув і температурне обмеження спричиняють ослаблення білка та зниження крутного моменту до мінімального значення C2 (Rosell та ін., 2010). Значення C2 (Таблиця 1.4а) і діапазон ослаблення білка (C2-C1) (Таблиця 1.4b) зменшуються з додаванням WBS. Беручи до уваги, що при включенні WBS до білого пшеничного борошна частина гліадину та глютеніну замінюється фракціями альбуміну та глобуліну із зовнішнього шару, ці зниження C2 та (C2-C1) були очікуваними. За даними Collar та ін. (2007) швидкість екстрагування борошна (білого/цільнозернового) є важливим фактором, що впливає на реологічну поведінку тіста. Порівняно з білим борошном, у разі додавання WBS, ослаблення білка відбувається із затримкою, і зменшення є вищим, тоді як розщеплення (α) відбувається повільніше.

Стадія варіння описує поведінку крохмалю та характеризується здатністю крохмалю до склеювання (C3), активністю амілази (C4), швидкістю желатинізації (β) та швидкістю стабільності при варінні (γ). Значення C3 і β збільшуються при додаванні WBS до білого пшеничного борошна (Таблиця 1.4а), а значення C4 і γ зменшуються. Значення (C3-C4) нижче у випадку зразків із WBS порівняно з P0. (C3-C4) тіста з цільної пшениці (P8) вище, ніж тісто, яке містить рівень WBS від 20 до 30%. WBS є частиною зовнішнього шару і, ймовірно, містить α -амілази, що спричиняє зниження значень C4 і (C3-C4) і підвищення значення β .

Зниження охолодження (C5-C4) вказує на здатність крохмалю до ретроградації та зменшується з додаванням WBS до білого пшеничного борошна (Таблиці 1.4b). Таку поведінку можна пояснити вищим вмістом ліпідів у WBS порівняно з білим борошном та здатністю до утворення ліпідно-амілазного комплексу (Sedej та ін., 2011) [13]. Високий вміст ліпідів викликає зміни в реасоціації та рекристалізації молекул амілози.

В Таблиці 1.4с можна побачити оцінки індексу, визначеного Mixolab Profiler: потенціал поглинання (індекс водопоглинання), поведінка тіста під час змішування при 30°C (індекс змішування), поведінка клейковини під час нагрівання тіста (індекс клейковини+), максимальна в'язкість під час нагрівання, яка залежить як від активності амілази, так і від якості крохмалю (індекс в'язкості), здатність крохмалю протистояти амілолізу (індекс амілолізу) та ретроградації крохмалю (індекс ретроградації). Більше значення індексу змішування та індексу клейковини+ відповідає високій стабільності тіста при замісі та високій стійкості клейковини до нагрівання, відповідно. Високе значення індексу в'язкості відповідає високій в'язкості тіста під час нагрівання, тоді як високі значення індексу амілолізу та індексу ретроградації відповідають низькій активності амілази та низькому терміну зберігання кінцевого продукту (Chopin Applicatios Laboratory, 2009) [14].

Порівнюючи зразок P6 (з 30% WBS) і P8 (цільна пшениця), можна побачити з Таблиці 1.4с, що індекс змішування та індекс глютену+ вищі у випадку P6, тоді як індекс в'язкості, індекс амілази та індекс ретроградації вищі у випадок P8. Зразок P4 (з 15% WBS) мав вищі значення індексу профілю Mixolab порівняно з P8.

1.1.6. Вплив потоку пшеничних висівків на оцінку якості хлібобулочного виробу

Вплив добавок WBS на характеристики якості хлібобулочного продукту підсумовано в Таблиці 1.5. Продукт із WBS мав менші об'єми, ніж контрольний зразок (P0).

До 25% WBS (P1-P6) якість виробу була кращою порівняно з цільнозерновим продуктом (P8), але поступалася білому борошну (P0). Про подібний результат повідомили Gomez та ін., (2003) і Sullivan та ін. (2011) [15], які використовували пшеничні волокна та ячмінний проміжок. Розрідження клейковини в результаті додавання волокон у поєднанні з поганим утриманням газу під час розстоювання призвело до зниження якості випічки (Sharma and Chauhan, 2000).

Кількість клітин у зразку дає вказівку на кількість бульбашок газу, уловлених під час розстойки. Для якісного виробу зазвичай бажана велика кількість дрібних комірок. Співвідношення клітини до загальної площі суттєво ($p \leq 0,001$) вплинуло на збільшення включення WBS. Відношення клітин до загальної площі зменшувалося, коли рівень WBS підвищувався (Таблиця 1.5) з 0,565, у P0, до 0,440, у випадку зразка з 30% WBS. Ці результати вказують на те, що додавання WBS до білого борошна призводить до більш грубої структури хлібобулочного продукту. Sullivan та ін. (2011) пояснили низьку кількість клітин тим, що газ виділяється під час розстоювання, що свідчить про порушення глютенної матриці в тісті. Це також сприятиме зменшенню об'єму, що містить WBS.

Згідно з результатами в Таблиці 1.5, виріб, який містить 25% WBS, мав хорошу якість порівняно з цільнозерновим (P8). Результати показали суттєво негативну кореляцію між вмістом золи, отриманим за допомогою WBS, і фізичними параметрами зразку: питомим об'ємом ($-0,98, p \leq 0,001$), співвідношенням клітин до загальної площі ($-0,94, p \leq 0,001$), пористістю ($-0,94, p \leq 0,001$) та еластичністю ($-0,91, p \leq 0,001$).

Таблиця 1.5 — Вплив добавок WBS на характеристики якості хлібобулочного продукту

Samples	Specific volume (ml/100 g)	Cell-to-total area ratio	Porosity (%)	Elasticity (%)
P0	347.2±6	0.565	77.8±0.8	96.7±0.8
P1	342.1±6	0.560	75.3±0.7	95.0±0.8
P2	320.3±5	0.526	75.3±0.7	91.7±0.8
P3	308.1±4	0.527	74.1±0.6	91.7±0.7
P4	257.9±6	0.476	65.5±1.8	91.7±0.6
P5	236.4±6	0.471	64.0±1.8	86.7±0.8
P6	212.1±5	0.459	63.2±0.7	83.3±0.7
P7	200.0±6	0.440	58.7±0.9	77.3±1.1
P8	205.1±5	0.436	60.2±0.6	78.3±1.2

1.1.7. Вплив пшенично-вівсяного змішування на розтяжність тіста

Хлібобулочні вироби є ідеальними продуктами функціонального харчування, оскільки вони є важливою частиною нашого щоденного раціону.

Різні види та форми хлібобулочних продуктів споживаються у світі у великій кількості залежно від культурних звичок (Caoyot, 2007) [16]. Отже, повсюдне споживання цих продуктів ставить їх в позицію глобального значення для харчування людини. Хлібобулочні вироби є основною їжею, яку готують шляхом змішування тіста з борошна та води, а також додаткових інгредієнтів. Вважається, що перший хлібобулочний продукт був виготовлений приблизно за 10 000 років до нашої ери або понад 12 000 років тому. Такі вироби, зазвичай, готують із тіста з пшеничного борошна, яке заквашують дріжджами, дають йому піднятися й, нарешті, запікають у печі.

Пшениця (*Triticum aestivum*) є найважливішою культурою для виробництва завдяки її найкращим хлібопекарським властивостям порівняно з іншими злаками (Dewettnick та ін., 2008). Хімічний склад пшениці та інших зерен, що використовуються у випічці, визначається генетичними та екологічними факторами, а також фізико-хімічними впливами на зерно під час його обробки. Основним кількісним компонентом пшениці є крохмаль.

Крім крохмалю, він містить вуглеводи, такі як целюлоза, напівцелюлоза (пентозани) і цукри.

Незважаючи на те, що вміст пентозанів становить лише 2-3%, вони важливі завдяки своїй водопоглинальній здатності. Білки належать до основних поживних компонентів зерна. Основними присутніми білками є альбуміни, глобуліни, проламіни та глютеліни. Третім важливим компонентом пшениці є жир. Каротиноїди знаходяться в основному в ембріоні та в алеїроновому шарі і мають значну харчову цінність. Овес (*Avena sativa*) є одним із найбільш авантюрних злаків для раціону людини, оскільки він містить природну велику кількість цінних поживних речовин, таких як розчинні волокна, білки, ненасичені жирні кислоти, вітаміни, мінерали та фітохімічні речовини (Flander та ін., 2008) [17]. Крім того, ті ж дослідження показують, що овес сприятливий для більшості людей, які страждають на целиацію (Kupfer, 2005) [18]. Овес має чудові властивості утримувати вологу, що зберігає виріб свіжим протягом тривалого часу (Flander та ін., 2007) [19]. Завдяки особливому хімічному складу, поживним і фізіологічним цінностям зерно вівса є об'єктом інтенсивних досліджень.

Зерно вівса характеризується хорошими смаковими якостями, дієтичними властивостями та активністю, що стимулює обмінні процеси в організмі. Все це робить його поживну цінність високою як для людей, так і для тварин (Brand and Merwe; Lia та ін.; Peltonen-Sainio та ін.; Peterson).

1.1.8. Розтяжність перед бродінням

З підвищенням концентрації MSG середнє значення розтяжності тіста зросло з 26,02 до 29,07. Додавання вівсяного борошна призвело до зниження середнього значення розтяжності з 33,17 до 20,28. Крім того, найвища середня розтяжність спостерігалася в Т1, а найнижча середня розтяжність спостерігалася в Т4 (Таблиця 1.6). MSG викликав ослаблення структури

клейковини перед бродінням. Послаблюючу дію в даній галузі техніки часто називають дією, що знижує глютен. Така дія глутамату натрію дуже бажана підвищує пластичність тіста під час замішування та механічної обробки. Ці результати відповідають висновкам Sternberg та ін., які спостерігали збільшення розтяжності тіста перед бродінням завдяки відновній дії MSG. Зниження розтяжності при додаванні вівсяного борошна відбувається за рахунок розведення глютеніну.

Розтяжність тіста в першу чергу зумовлена еластичністю білків глютеніну, присутніх у пшениці, які можуть розріджуватися при додаванні пшеничного борошна, що призводить до зниження розтяжності. Відповідно до даних щодо розтяжності, отриманих у цьому дослідженні, зменшення вмісту клейковини в тісті та збільшення частки вівса (що закінчується слабшим утворенням матриці клейковини) не може підтримувати розтяжність тіста.

У цьому дослідженні, коли рівень вівса в борошні збільшувався, час, необхідний для приготування хорошого тіста, також збільшувався через слабше утворення клейковини. Оскільки пентозани та β -глюкани виграють від високої здатності зв'язувати воду, їх присутність у вівсяному борошні призвела до дещо більшої кількості води.

Табл. 1.6 — Розтяжність тіста при додаванні вівсяного борошна

Treatment	Extensibility			Treatment mean
	M ₁	M ₂	M ₃	
T ₁	31.10	33.01	35.42	33.17
T ₂	29.10	30.12	33.20	30.80
T ₃	24.01	25.42	26.93	25.44
T ₄	19.98	20.17	20.98	20.28
MSG mean	26.02	27.17	29.07	

CD $P \leq 0.05$

Treatment (T): 0.18

MSG (M): 0.16

TXM: 0.32

T₁ = Control bread (100% W.F)

T₂ = 10% W.F: 90% O.F.

T₃ = 20% W.F: 80% O.F.

T₄ = 30% W.F: 70%

M₁ = 0% MSG

M₂ = 0.3% MSG

M₃ = 0.5%MSG

W.F = Wheat flour. O.F = Oat flour

Подібні результати були отримані Sudha та ін. (2007) при вивченні впливу додавання до пшеничного борошна клітковини різних джерел (пшеничного, рисового, вівсяного та ячмінного) на реологічні властивості тіста. Усі наведені вище дані добре узгоджувалися з даними, отриманими D'Appolonia та Youngs, а також Krishnan та ін..

1.1.9. Розтяжність після бродіння

Середні значення розтяжності статистично показали значну тенденцію до зниження від 22,51 до 21,03 з додаванням MSG. Крім того, найвища середня розтяжність спостерігалася при T1 (27,86), а найнижча середня розтяжність спостерігалася при T4 (16,69) (Таблиця 1.7). Окислювальна дія глютамату натрію, яка продовжується після завершення дії по зниженню глютену, зміцнює стінки газових комірок під час розстоювання виробів з тіста, щоб забезпечити рівномірну дрібнозернисту структуру у випічці з великим об'ємом.

Ці результати узгоджуються з висновками Sternberg та ін., які помітили, що MSG викликає посилення глютенної мережі після бродіння завдяки окислювальній дії. Зниження розтяжності при додаванні вівсяного борошна відбувається за рахунок розведення глютеніну. Результати узгоджуються з висновками Khatkar (2004) [20], який повідомив, що розтяжність тіста в основному зумовлена еластичністю білків глютеніну, присутніх у пшениці, які можуть розбавлятися з додаванням непшеничного борошна, що призводить до зниження розтяжності.

Табл. 1.7 — Розтяжність при додаванні MSG

Treatment	Extensibility			Treatment mean
	M ₁	M ₂	M ₃	
T ₁	29.12	28.34	26.10	27.86
T ₂	24.79	24.04	22.54	23.77
T ₃	20.43	18.24	17.32	18.65
T ₄	15.72	16.20	18.16	16.69
MSG mean	22.51	21.69	21.03	

CD $P \leq 0.05$

Treatment (T): 0.019

MSG (M): 0.016

TXM: 0.032

1.1.10. Технологічні аспекти додавання в хлібобулочний виріб кількох видів гідроколоїдів

Більшість гідроколоїдів, або їх ще називають камеді, вважаються, з поживної точки зору, розчинними волокнами. Вони мають властивості зв'язувати велику кількість води, яка розбавляє кінцеві продукти (Asghar, 2005) [21]. Продукти будуть зволоженими, зі зниженим вмістом сухих речовин і зниженою калорійністю (Ognean та ін., 2006) [22].

Ксантанова камедь виробляється за допомоги *Xanthomonas campestris* і є екзогенним матеріалом, який захищає клітини. Ксантан має основний ланцюг, ідентичний ланцюгу целюлози. Трисахаридний бічний ланцюг приєднаний до альтернативних D-глюкозильних одиниць у положенні O-3. Цей бічний ланцюг складається з D-глюкуронозильної одиниці між двома D-манозильними одиницями. Приблизно 50% кінцевих манозильних одиниць містять фрагмент піровиноградної кислоти у вигляді 4,6-циклічного ацеталу, а некінцеві манозильні одиниці заміщені в положенні O-6 ацетальною групою. Кінцевим результатом є спіраль, коли молекула ксантану знаходиться в розчині.

Молекулярна маса ксантану становить близько 3 000 000. Ксантан — псевдопластичний гідроколоїд. Він не руйнується під дією зсуву, і після

припинення зсуву він відновлює свою початкову в'язкість «у спокої». Що робить ксантан унікальним, так це те, що він зберігає постійну в'язкість у широкому діапазоні температур, тоді як більшість камедей розріджується під час нагрівання їх розчинів. Ксантан стабільний при рН 1–9, що включає всі харчові системи (Philips та ін., 2000) [23]. Альгінат натрію добувають із бурих морських водоростей, у яких він є структурним компонентом клітинних стінок. Альгінатні полімери складаються з β -D-маннуронопіранозидових та α -L-гулурунопіранозидових одиниць. Ці одиниці зустрічаються в блоках однієї або іншої уронової кислоти і називаються М-блоками та G-блоками, відповідно. Також можуть існувати ділянки молекули альгінату, які складаються з чергування мономерів манурунової та гулурунової кислот, які називаються MG-блоками (Philips та ін., 2000).

1.1.11. Результати додавання гідроколоїдів

Результати додавання гідроколоїдів на фаринографічну характеристику наведено в Рисунку 1.1. І ксантанова камедь, і альгінат натрію, і гуарова камедь, і целюлозна камедь мають подібну поведінку.

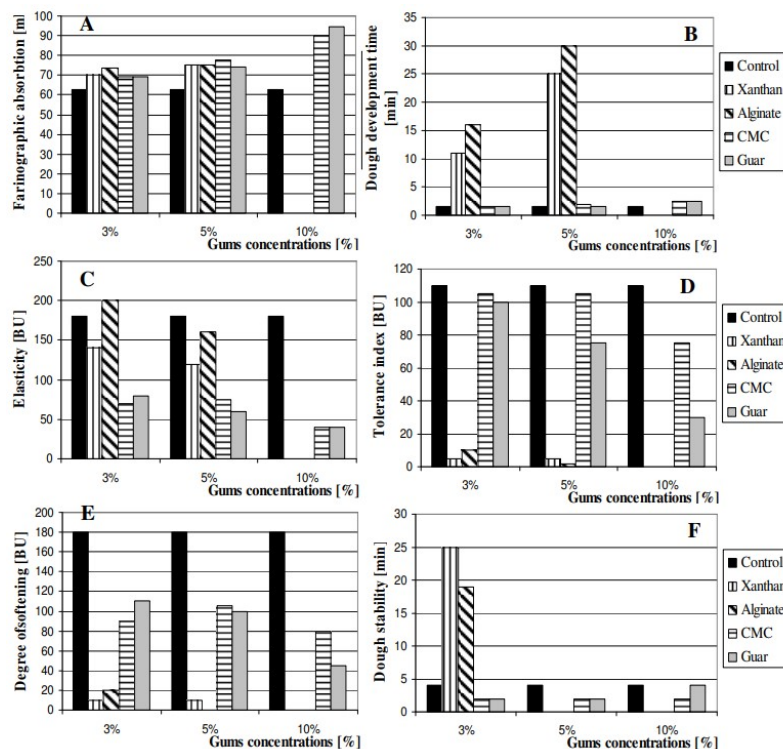


Рисунок 1.1 — Результати додавання гідроколоїдів на фаринографічну характеристику

Поглинання фаринографа при додаванні 3 і 5% ксантану і альгінату натрію збільшується приблизно на 20% відносно контрольного зразка. Індекс толерантності зменшується зі 110 BU для контрольного зразка, до менше ніж 10 BU при додаванні 3 і 5% ксантанової камеді та альгінату натрію. Дуже сильно збільшується час розгортання тіста, від 1,5 хвилин до більш ніж 15 хвилин. Стійкість тіста зростає від 4 хвилин для контрольного зразка до 25 і 19 хвилин у зразках з 3% ксантанової камеді та відповідно альгінату натрію, а для зразка з 5 % камеді не може бути визначено (більше 30 хвилин). Додавання 3, 5 і 10 % целюлози та гуарової камеді збільшило поглинання Фарінографа приблизно на 10, 20 і 45% відповідно.

Час формування тіста показує дуже незначні зміни при 3 і 5 % целюлози та гуарової камеді та збільшується від 1,5 хвилин для контрольного зразка до 2 хвилин для зразків з 10 % камеді. Еластичність тіста сильно знижується, ймовірно, через те, що вода і камедь виконують роль пластифікатора. Розм'якшення тіста нижче для зразків із целюлозою та

гуаровою камеддю, ніж для контрольного зразка, найменше для вищого рівня додавання камеді.

Ксантан і альгінат, а також відповідні СМС і гуарова камедь мали подібний малюнок фарінографічної кривої. Тісто, приготовлене з ксантаном, показало два максимуми, що відповідають точці повної гідратації борошна та гідроколоїдів. Криві консистенції тіста, приготованого з ксантаном і альгінатом натрію, були утворені кількома піками (мінімумами та максимумами), які вказують на дуже липке тісто. У світлі цих фактів, можливо, еластичність тіста, приготовленого з ксантаном і альгінатом, була не такою великою, як було виміряно (ширина кривої в максимальному діапазоні консистенції).

Тісто, приготоване з СМС, показало дуже цікаву поведінку. Тісто з 3 % СМС через 11 хвилин після додавання води консистенцію досягало мінімуму, і спостерігалось легке підвищення консистенції та еластичності. Таке ж підвищення консистенції та еластичності спостерігається через 14 хвилин після додавання води в тісто з 10 % СМС. Властивості зразку з різними доданими камедями представлені в Рисунку 1.2. Вміст води в зразках з камеддю вищий, ніж вміст води в контрольному зразку, вищий для зразків з більшим вмістом камеді і вищий для зразків з ксантановою та альгінатною смолами, ніж зразки з целюлозою та гуаровою камеддю.

Незважаючи на рівень води в зразках з камедь, вологість зразків була значно вищою, ніж у контрольних зразках, вологість зразків з камедь не так сильно відрізнялася. Це тому, що час, необхідний для випікання, був більшим, а втрати під час випікання та втрати при охолодженні були більшими через вищий рівень води.

Еластичність м'якушки знижується при додаванні камеді, найменша еластичність виявляється у зразків з максимальним вмістом камеді. Ймовірно, камедь втручаються в крохмаль і білкову матрицю м'якушки і роблять їх слабшими. Пористість крихти зразків із додаванням 3 та 5 %

камеді краща, ніж пористість крихти контрольного зразка, але додавання 10 % камеді показало її зниження. Додавання камедей у пропорціях 3 і 5 % демонструє незначні зміни об'єму буханки, але додавання 10 % ксантану або альгінату натрію суттєво зменшує його.

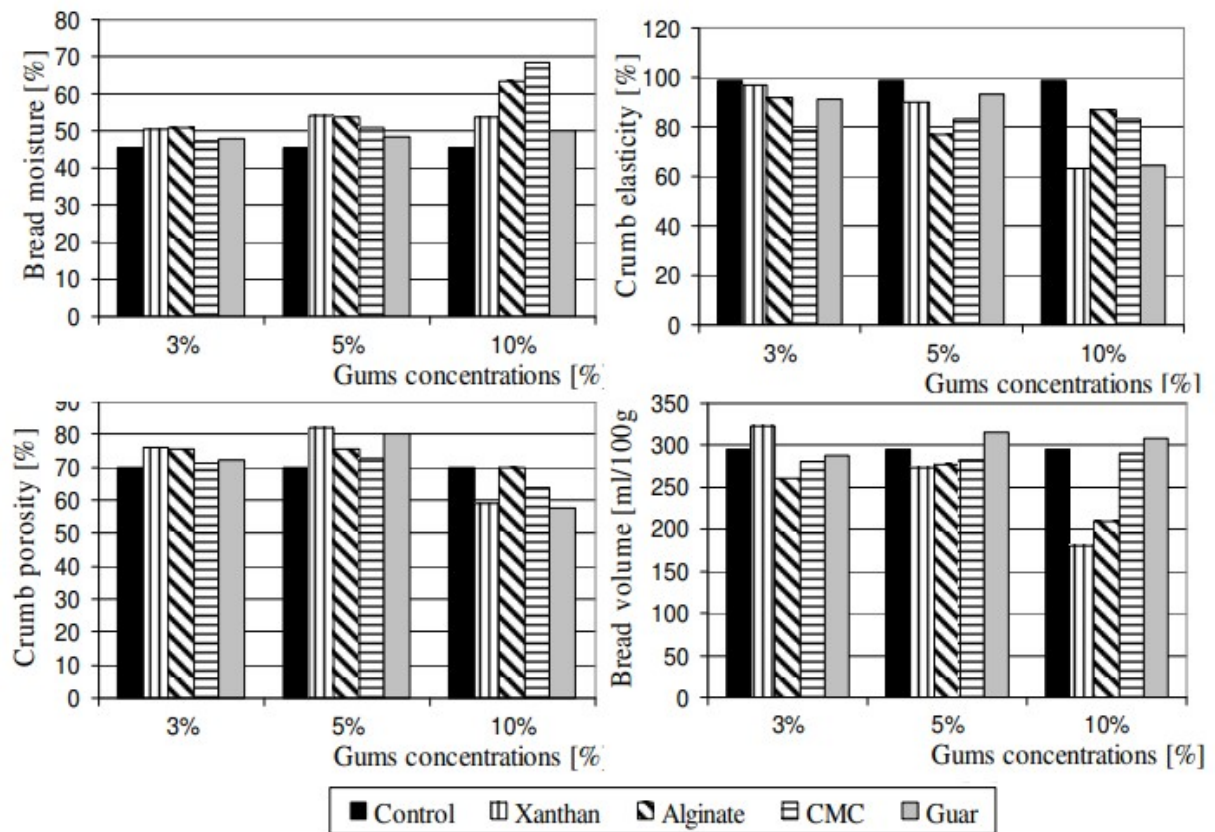


Рисунок 1.2 — Властивості зразку з різними доданими камедями

1.2. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдань роботи

1.2.1. Актуальність

Багато уваги приділено дослідженню тіста, з огляду на виробництва хліба, проте інші хлібобулочні вироби не так добре досліджені. Лаваш, хоч і являє собою продукт, який поширений у використанні суспільством, проте наукових досліджень на тему того, як змінюються процеси при його

виробництві з додаванням тих чи інших компонентів — погано поширені, якщо взагалі викладаються у вільний доступ. Навіть у час, коли суспільство має великий доступ до інформації, при пошуку досліджень стосовно лавашу, знаходяться лише загальні дослідження тіста, або надаються дослідження хліба.

Отже, дослідження процесів та їхні відмінності в перебігу при зміні оригінальної рецептури, для поліпшення поживної цінності продукту, є актуальним.

1.2.2. Мета роботи

Метою роботи є вивчення процесу випікання вірменського лавашу при зміні параметрів тіста, а саме тепло-фізичних.

1.2.3. Завдання роботи

Завданням роботи є дослідити відмінності в процесі випікання: як змінюються температури з часом в лаваші з моменту його повного потрапляння у піч, та в кінці процесу, наскільки відрізняються температури в тих самих точках та у той самий час за різних параметрах тіста, таких як густина, коефіцієнт теплопровідності та теплоємність.

1.3. Висновки

1.3.1. Пшеничні висівки

Потоки пшеничних висівок, додані на різних рівнях (3-30%) до білого борошна, значно змінюють реологічні параметри тіста, як показано на кривих Alveograph, Rheofermentograph та Mixolab. Результати показали, що біле борошно з 25% потоків пшеничних висівок мало зольність, подібну до цілнозернового, але реологія тіста була покращена. Рівень 25% потоку

пшеничних висівок, включених у біле борошно, можна використовувати для підвищення харчової цінності.

1.3.2. Пшенично-вівсяне змішування

Дослідження показали, що перед бродінням розтяжність тіста збільшилася з додаванням MSG і зменшилася з додаванням вівсяного борошна. Після бродіння розтяжність тіста продемонструвала значну тенденцію до зниження з додаванням вівсяного борошна та MSG. За результатами поточних досліджень було зроблено висновок, що зразок, виготовлений із суміші 10% вівсяного борошна, був кращим за інші змішані види щодо розширюваності.

1.3.3. Гідрокалоїди

Додавання гідрокалоїдів у незначній кількості мало впливає на технологічні властивості тіста та виробу. При великих частках камедей з високою в'язкістю ці властивості сильно змінюються. Невеликі ефекти дають камеді з низькою в'язкістю. Камеді з високою в'язкістю роблять тісто дуже липким, а камеді з низькою в'язкістю роблять тісто більш пластичним.

Властивості зразку були приблизно постійними на різних рівнях камеді, коли використовували СМС і гуаронову, ймовірно, через те, що його форма має дуже низьку в'язкість, тому вплив на рівень води є меншим. Ксантан негативно впливає на об'єм хлібобулочного виробу, ймовірно, тому, що він здатний зберігати свою в'язкість під час випікання, в той час як інші камеді не мали таких властивостей.

2. РОЗРОБКА НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР АБО СТВОРЕННЯ ЙОГО МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

2.1. Дослідження з додаванням пшеничних висівок

2.1.1. Матеріали

Румунську м'яку пшеницю, сорт Dropia (урожай 2011 року зі Східної Румунії), подрібнювали до рівня вилучення 77%, за допомогою промислового вальцьового млина (Buhler, Uzwil, Швейцарія) продуктивністю 3300 кг/год. Пшеницю перед помелом загартували до кінцевої вологості 15%. Промисловий вальцьовий млин складався з чотирьох розривних валків, дев'яти редуційних валків, одного розділювача грубої проміжної фракції, трьох фінішерів висівок і одного сита Turbostar. Характеристики валкового млина та діаграма подрібнення забезпечують ефективне розділення частинок за розміром, яке компенсує відсутність очисних машин. Потоки млина, хвости та друге сито з дев'яти редуційних каналів були відібрані для додавання до білого пшеничного борошна. Ці потоки млина подрібнювали в лабораторному млині, щоб зменшити розмір частинок, щоб вони пройшли через сито 125 меш, а потім зберігали в пластикових пакетах при 4-5°C до тестування. Отриманий продукт називають потоками пшеничних висівок (WBS).

2.1.2. Оцінка хімічних властивостей

Хімічні властивості визначали за такими методами: вміст вологи за методом AACC 44-51; вміст золи за методом SR ISO 2171:2002; вміст білка

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва 2. РОЗРОБКА НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР АБО СТВОРЕННЯ	210747.KP.01.002 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/14	

за напівмікро-методом К'ельдаля; вміст жиру екстракцією ефіром методом Сокслета; індекс клейковини та вміст вологої клейковини за методом SR ISO 21415-2:2007 [24]; значення числа падіння та числа розрідження за методом ААСС 56-81В; загальний вміст пентозанів і вміст розчинних пентозанів за методом Хашімото (Hashimoto та ін.); водопоглинання волокна пшеничних висівків за допомогою методу, описаного Bonnard Ducasse та ін. (2010).

2.1.3. Оцінка реологічних властивостей

Реологічні характеристики перевіряли за допомогою: NG Chopin Alveograph з використанням методу ААСС 54-30, F3 Chopin Rheofermentometer з використанням протоколу Chopin та Chopin Mixolab. Робочі параметри пристрою Mixolab під час випробувань: швидкість замішування 80 об/хв, вага тіста 75 г, температура резервуара 30°C, температура першого плато 30°C, тривалість першого плато 8 хв, температура другого плато 90°C, перший градієнт температури 4°C/хв, тривалість другого плато 7 хв, другий градієнт температури 4°C/хв, температура третього плато 50°C і тривалість третього плато 5 хв.

2.1.4. Методика проведення досліджень

Тест випікання

Для приготування тіста використовували одностадійний метод з використанням лабораторного міксера. Тісто готували при 29-30°C шляхом змішування борошна (100%), води (відповідно до водопоглинальної здатності, зазначеної Mixolab), солі (1,5%) і дріжджів (3%).

Тісто ферментували при 30°C протягом 150 хв у лабораторній розстойній машині. Потім було проведено два повторних замішування по 30 с кожне через 60 і 120 хв. Потім тісто розділили на дві частини, які сформували та помістили у форми для випічки. Після остаточного заквашування протягом 30 хвилин лотки вставляли в піч. Зразки випікали

при 230°C протягом 30 хв (при поміщенні в духовку відкривали паровий кран на 10-15 с). Після 2-годинного охолодження кожен зразок зважували та аналізували щодо питомого об'єму (мл/100 г), пористості та еластичності м'якушки (SR 91:2007). Пористість хлібобулочного продукту також оцінювали шляхом аналізу сканованих зображень вертикально розрізаних зразків за допомогою програмного забезпечення Image J (Datta та ін., 2007), яке використовує контраст між двома фазами (порами та твердою частиною) на зображенні.

Відскановані кольорові зображення спочатку були перетворені в градації сірого. Використовуючи стовпчики відомої довжини, значення пікселів були перетворені в одиниці відстані. Було обрізано максимально можливий прямокутний переріз половинок зразків. Після налаштування порогу площі пор як частки від загальної площі визначали за допомогою програмного забезпечення.

Статистичний аналіз

Статистичну обробку проводили за допомогою програми Microsoft Excel. Усі експерименти проводили в трьох повторах, і середні значення повідомляли разом зі стандартними відхиленнями. Для перевірки статистичних відмінностей між результатами використовувався дисперсійний аналіз (ANOVA).

2.2. Дослідження з пшенично-вівсяним змішуванням

2.2.1. Матеріали

Робота проводилася на кафедрі харчових технологій Ісламського університету науки і технологій Авантіпора протягом 2010-2011 років. Овес був придбаний у Шрінагарі, а потім подрібнений у міксері для отримання цільного борошна. Борошно зберігалось в пластикових герметичних контейнерах при температурі охолодження до використання. Рафінована

пшенична мука, шортенінг, пресовані дріжджі були придбані на місцевому ринку Срінагара.

Рецептури виробу, збагаченого вівсом, відповідали Таблиці 2.1. Композитне борошно готували, як зазначено в Таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 — Рецепттура, збагачена вівсом

Wheat flour/composite flour	150 g
Yeast	3.0 g
Sugar	6.0g
Salt	1.5g
shortening	3.0g

Таблиця 2.2 — Пропорції в композитному борошні

Treatment		Concentration of MSG	Wheat flour (%)	oat flour (%)
T ₁	T ₁ M ₁	0.0%	100%	0%
	T ₁ M ₂	0.3%	100%	0%
	T ₁ M ₃	0.5%	100%	0%
T ₂	T ₂ M ₁	0.0%	90%	10%
	T ₂ M ₂	0.3%	90%	10%
	T ₂ M ₃	0.5%	90%	10%
T ₃	T ₃ M ₁	0.0%	80%	20%
	T ₃ M ₂	0.3%	80%	20%
	T ₃ M ₃	0.5%	80%	20%
T ₄	T ₄ M ₁	0.0%	70%	30%
	T ₄ M ₂	0.3%	70%	30%
	T ₄ M ₃	0.5%	70%	30%

2.2.2. Реологічний аналіз

Для вимірювання розширюваності використовувався аналізатор текстури (TA. HD. Plus, stable Micro Systems, Godalming, Surrey, U.K.). Для розтягування, смужку тіста помістили на рифлену ділянку пластини для зразків, і пластину вставили в установку, утримуючи натиснутим пружинний затискний важіль. Ручку повільно відпустили. Аналіз проводився на відстані 75 мм, зі швидкістю перед випробуванням 2,0 мм/с, швидкістю випробування 3,3 мм/с, швидкістю після випробування 10,0 мм/с з використанням датчика навантаження 5 кг.

2.2.3. Методика проведення досліджень

Пробопідготовка

Невелику кількість олії наносили на обидві сторони тефлонової форми для тіста, щоб уникнути прилипання зразка. Зразок тіста клали на рифлену основу форми. Верхній блок форми розташовували поверх зразка і міцно натискали вниз, доки два блоки не зійдуться разом. Надлишки тіста акуратно видаляли з боків за допомогою шпателя і затискали тісто у формі преса на 40 хвилин. Надлишки тіста, які видавлювалися з боків форми — зішкребли. Прес для тіста був послаблений і обережно відведений від блоку назад на рифлену основу, щоб відкрити смужки тіста.

Смужки тіста знімали з рифленої основи, обережно просуваючи шпатель, змочений в олії, під зразок. Кілька перших і останніх смужок не використовувалися.

Налаштування тесту

На базі машини розташовувалася установка Кіффера. Зонд-гачок був опущений трохи вище верхньої поверхні пружинного затискача. Смужку тіста поміщали на рифлену область пластини для зразків, і пластину вставляли в установку, утримуючи натиснутим підпружинений затискний важіль. Ручку повільно відпустили. Випробування було розпочато.

Спостереження

Після того, як було досягнуто спускового зусилля, гачок продовжував розтягувати зразок тіста по центру, доки його межа пружності не була перевищена і тісто не відокремилося. У цей момент відстань зазначали та використовували як індикатор розтяжності тіста.

2.3. Дослідження з додаванням гідроколоїдів

2.3.1. Матеріали

Для дослідів використовували товарне борошно Baneasa Mill, тип 650 (0,65% золи) з вмістом вологої клейковини 28,9%, індексом деформації 6 мм, числом падіння 265 с. Свіжі дріжджі також були комерційного типу, з вмістом сухих речовин 28% і потужністю бродіння 12 хвилин, визначеною за допомогою кулькового методу тіста.

Досліджувані камеді були: ксантанова камедь (Pre-Hydrated® TICAXAN®Rapid-3), альгінат натрію (Pre-Hydrated® Colloid 488 “T”), целюлозна камедь (Pre-Hydrated® TICALOSE® CMC 15) і гуарова камедь (Pre-Hydrated® Nutriloid® 010) від TIC GUMS. Досліджуються три-, п'яти- та десятивідсоткові на основі борошна.

2.3.2. Методика проведення досліджень

Тісто готували за допомогою лабораторного міксера, додавали воду до досягнення потрібної консистенції (однакової для всіх зразків).

Вплив добавки камеді на реологію тіста оцінювали фаринографічно відповідно до методу фарінографа для борошна ААСС, метод 54-21, процедура постійної ваги борошна.

Для дослідження впливу на якість виробу готували кілька зразків з додаванням гідроколоїдів у кількості 3,5 та 10% у перерахунку на борошно. Рецепти представлені в Таблиці 2.3.

Табл. 2.3 — Рецепти з додаванням гідроколоїдів

Sample Ingredients	Cont rol	Xanthan*			Alginate*			CMC*			Guar*		
		X3	X5	X10	A3	A5	A10	C3	C5	C10	G3	G5	G10
Wheat flour, g	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Fresh yeast, g	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Salt, g	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Water, ml	190	253	324	353	256	317	572	216	274	759	223	233	271
Gums, g	0	9	15	30	9	15	30	9	15	30	9	15	30

*The samples noted with 3, 5 and 10 were prepared with gums in ratio 3, 5 and respectively 10% based on flour weight.

Тісто готували за допомогою лабораторного міксера, додавали воду до досягнення потрібної консистенції (однакової для всіх зразків). Насипне бродіння тривало годину, після чого сформоване тісто, викладалося в каструлю і витримувалося при 30°C для розстоювання, потім випікалося при 200°C без пари. Об'єм зразків визначали за витісненням ріпаку. Пористість м'якушки визначали, вимірюючи об'єм олії, витісненої шматочком м'якушки, дуже добре спресованим у кульку. Визначений об'єм доводили до відомого початкового об'єму крихти. Еластичність м'якушки визначали, натискаючи на циліндр м'якушки на половині початкової висоти і утримуючи його протягом однієї хвилини, а потім вимірюючи остаточну висоту ще через одну хвилину. Остаточна висота дорівнює початковій висоті циліндра крихти. Також визначали вологість м'якушки. Зовнішні та внутрішні сенсорні характеристики оцінювали 25 студентів лабораторії хлібопечення та оцінювали їх за шкалою від 1 (найменш сприятливий) до 10 (найбільш сприятливий). Продукти вважалися прийнятними, якщо їх бали були вище 5 (бал для найнижчого рівня прийнятності).

2.4. Стандартні методи та критерії прогнозування якості хлібної крупи — чи відповідають вони вимогам сучасної сировини та її переробки

На різних рівнях ланцюга виробництва та використання хлібної крупи (пшениці, жита) надзвичайно цікаво спрогнозувати орієнтовну обробку, тобто хлібопекарську якість сировини.

На ранніх етапах селекційного процесу селекціонери хотіли б знати, чи пшеничний або житній матеріал, з яким вони працюють, нарешті відповідатиме вимогам переробної промисловості після 10–14 річного процесу селекції та виведення сортів. Трейдери зерна та/або мельники постійно стикаються з проблемою вибору матеріалу правильної якості, який вони прагнуть для своїх конкретних інтересів, і пекарі, повинні знати конкретну якість обробки продуктів помелу, які вони замовили.

Таким чином, протягом багатьох десятиліть вчені зернових у тісній співпраці з практикою розробили та встановили систему методів, придатних для переважно швидкого прогнозування обробки, особливо продуктивності випікання партії сировини та/або продукту помелу, виготовленого з неї. В основному тест на випікання найкраще та найповніше відображатиме реальну якість обробки (випічки). Проте тести на випікання передбачають використання спеціального та дорогого обладнання та інфраструктури, і вони займають досить багато часу, а тому не підходять для практики в умовах обмеженого часу під час збору врожаю та/або первинного поглинання зернових на млинах або торгових точках.

Як наслідок, було створено широкий спектр так званих непрямих методів, результати яких прив'язані до конкретного виготовлення тіста та подальшої продуктивності випікання, що дозволяє передбачити результат випічки. Для сприяння міжнародній торгівлі зерновими міжнародними

організаціями стандартизації, такими як Міжнародна асоціація науки і технологій зернових культур (ICC), Міжнародна асоціація американських хіміків зернових (AACCC), Міжнародна організація стандартизації (ISO) і стандартизовано широкий спектр методів. Європейський комітет нормалізації (CEN).

Оскільки продуктивність хлібопекарської продукції з пшениці значною мірою залежить від її білка, зокрема її фракції клейковини та фракції крохмалю, спеціальні (швидкі) методи призначені для вимірювання кількості та якості білка (або клейковини), відповідно, і якості крохмалю. У житі, хлібопекарські якості якого характеризуються переважно вуглеводною фракцією, тобто крохмалем і пентозанами.

Отже, методи спрямовані на опис цієї фракції в її здатності до формування тіста та гелю. Протягом тривалого періоду часу в оцінці пшениці – принаймні на етапі первинного поглинання зернового матеріалу під час збору врожаю – стало практичним використанням вимірювання загального вмісту білка та значення седиментації як критерію якості білка (клейковини) і, крім того, число падіння Хагберга-Пертена для отримання інформації про крохмаль. Цього виявилось достатнім, оскільки сорт пшениці, який досі був на ринку, продемонстрував хороший лінійний зв'язок між характеристиками білка та хлібопекарськими характеристиками, які переважно розглядалися як об'єм випічки. В окремі роки з передзбиральним сходом число падіння мало додаткове значення.

У жита, більш сприйнятливо до проростання перед збором врожаю, числа падіння та клейстеризації крохмалю, виміряної за допомогою амілографічного обладнання Брабендера, тобто максимум клейстеризації крохмалю та температура при максимумі клейстеризації були достатніми для обробки продуктів помелу жита для приготування хліба.

Однак в останні роки селекціонери пшениці та жита, фермери, торговці і мірошники все більше скаржаться, що цих традиційних методів вже

недостатньо для прогнозування хлібопекарської якості пшениці та жита. Це особливо стосується сучасних німецьких сортів пшениці та, певною мірою, сортів жита. Нижче описана дана ситуація в Німеччині та розглянуте питання про існуюче значення встановленої системи оцінки якості.

Дані про хлібну пшеницю (*Triticum aestivum*) і жито (*Secale cereale*) отримані з офіційних щорічних німецьких оцінок якості хлібних злаків, які проводилися відповідно до законодавства Інститутом Макса Рубнера (MRI) - Департаментом безпеки та якості зернових культур протягом останніх років. Як з оцінки якості переробки, що виконується в рамках процесу випуску нових сортів.

Застосовуються такі аналітичні методи відповідно до протоколу стандартизації ICC (ICC 2001): загальний білок (стандарт ICC № 105/2), значення седиментації (стандарт ICC № 116/1), число падіння (стандарт ICC № 107/ 1). Як тест на випікання було обрано RMT (тест швидкого змішування) з булочками, що є відповідною стандартною процедурою в Німеччині (Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V.). Для оцінки якості жита застосовували методику Brabender Amylograph (стандарт ICC № 126/1).

Що стосується хлібопекарської якості, за останні десятиліття значного прогресу в селекції було досягнуто з пшеницею, але не з житом. Тому в подальшому наголос робиться на пшениці. У Німеччині — і певною мірою в інших країнах також — у пшеничному бізнесі прийнято дивитися на вміст сирого білка як на міру кількості білка. І оскільки існує досить вузьке співвідношення вмісту білка, це дозволяє передбачити вміст клейковини у зразку пшениці. Як певний показник якості білка значення седиментації додає додаткову інформацію. Характеристики крохмалю, тобто його здатність до желатинізації та опосередковано статус активності амілази зразка можна (і, звичайно, можна) отримати за допомогою вимірювань числа падіння, значення цих даних є надзвичайно актуальним у роки врожаю, коли проростання перед збором врожаю є проблемою.

Враховуючи це, «3 стовпи» — вміст білка, значення седиментації та число падіння — були переважно достатніми для оцінки хлібопекарської якості зразка пшениці (Рисунок 2.1). Особливо це траплялося, якщо був відомий сорт або суміш сортів у зразку.

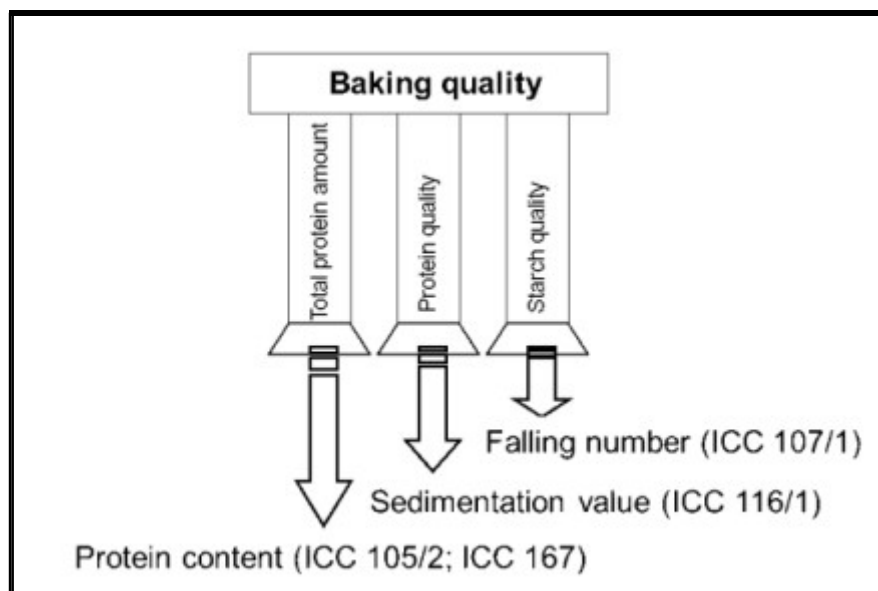


Рисунок 2.1 — «3 стовпи» якості випікання

Не раніше ніж у 1969 році професор Боллінг із колишнього Німецького федерального науково-дослідного інституту переробки зернових культур створив систему рівнянь, що дозволяє передбачити об'єм випікання рулету в тесті швидкого змішування (RMT) можна очікувати, знаючи загальний вміст білка та об'єм седиментації зразка пшениці.

Довгий час, аж до кінця 90-х років минулого століття та перших років 21-го століття, існувала переважно позитивна лінійна залежність між вмістом сирого білка та якістю випічки в сенсі формування об'єму в випічці з дріжджовою закваскою.

Тому стало використовуватися лише вимірювання загального вмісту білка в зразку пшениці та оцінка на основі цього очікуваної якості хлібопечення. Ця процедура була підкріплена тим фактом, що дедалі легше швидко вимірювати вміст білка за допомогою спектроскопії в ближньому

інфрачервоному діапазоні (NIR). Отже, міжнародною традицією стало платити за якість пшениці за вміст білка.

Однак останнім часом з'являється все більше сортів пшениці, де, очевидно, більше не існує вузького зв'язку між збільшенням вмісту білка та збільшенням об'єму випічки.

Це продемонстровано на Рисунку 2.2, де показано сорти Pamier і Kranich, що представляють «старі» зв'язки. Toras і Tarso, навпаки, мають дуже слабкий зв'язок між вмістом білка та продуктивністю випічки. Надійне прогнозування хлібопекарської якості зразка пшениці цих сортів або що містить ці сорти стало проблемою.

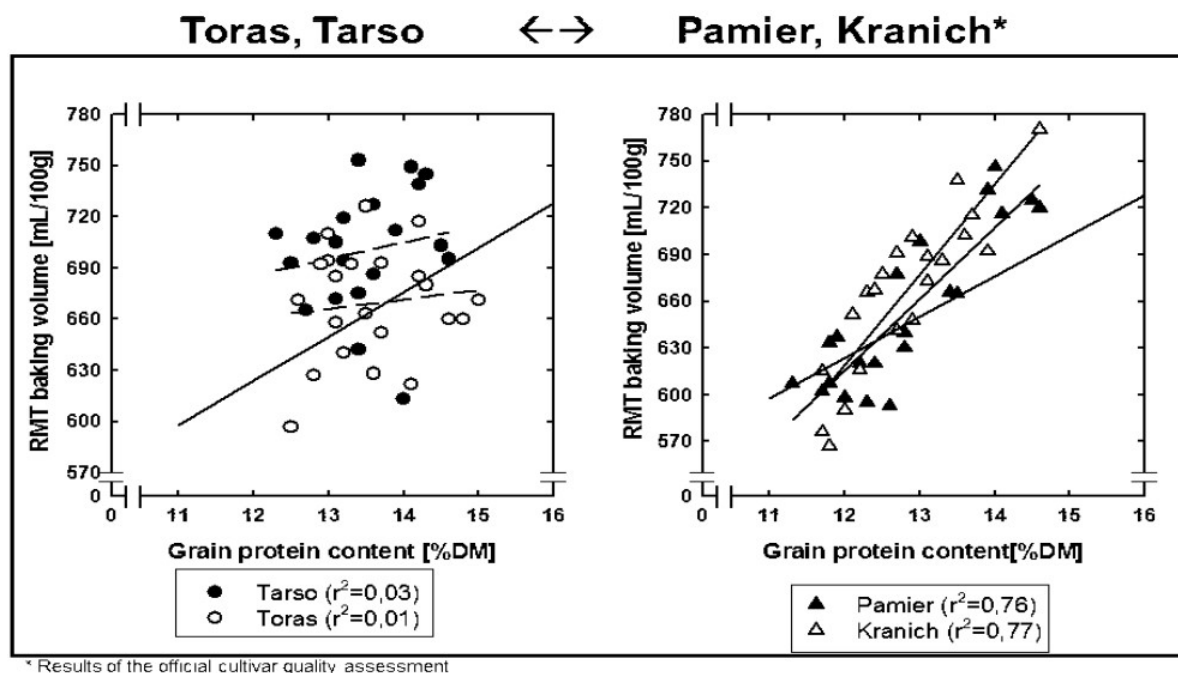


Рисунок 2.2 — Взаємодія вмісту білка/об'єму випікання RMT у вибраних німецьких сортах пшениці

Оцінка хлібопекарської якості пшениці ускладнилася ще й тому, що на ринку є сучасні сорти, які містять відносно низьку загальну кількість білка (і клейковини, відповідно), але через високу функціональність білків

клейковини хлібопекарські властивості такої пшениці значно кращі, ніж очікувалося від класичних результатів вимірювання.

Також може знадобитися переглянути метод значення седиментації, оскільки можна показати, що результати змінюються залежно від млинського обладнання, яке використовувалося для приготування борошна, що призводить до різного вмісту білка в тестовому зразку борошна (Seling, неопублікований).

Традиційно вважається, що низькі значення числа падіння призводять до поганої хлібопекарської якості пшеничного борошна. Зразки з низькими значеннями числа падіння, однак, були ідентифіковані протягом останніх років збирання врожаю, які майже не показали обмежень у продуктивності випічки. Власні дослідження крохмалю з відповідними зразками дозволяють припустити, що цілісність ядра крохмалю, яка збігається з сильною функціональністю глютену, є важливішою, ніж значення числа падіння, отримані в умовах надлишку киплячої води в посудинах FN (Мюнцінг і Ліндгауер, неопубліковані).

Зрештою, якість житнього хлібопечення іноді також ставиться під сумнів, оскільки вважається, що борошно із сучасних (німецьких) сортів жита створює проблеми з продуктивністю випічки. Зокрема, пекарі скаржаться на так звану суху випічку, тобто знижену вологість м'якушки та обмежений термін зберігання хліба. Крім того, розтріскування м'якуша виникає частіше в сучасних сортах жита, ніж у старих сортах. Справа в тому, що сучасні сорти жита, як правило, більш стійкі до сходів до збору врожаю і, отже, мають тенденцію до вищого числа падіння.

2.5. Висновки

Існує велика кількість можливих методів проведення досліджень, ще більше — обладнань, за допомогою яких можна провести дослідження по обраному методу. Кожного року наука розвивається і створюються нові, більш точніші обладнання, з якими можна провести ті ж самі дослідження і отримати більш детальні та правдиві результати.

Існує великий інтерес до простих у використанні, швидких і точних методів. Міжнародні організації стандартизації, такі як ICC, AACCI, ISO та CEN, створили широкий спектр таких методів, відповідно, для оцінки широкого діапазону критеріїв зернової сировини та продуктів із неї. У пшениці через її глютену функціональність у хлібопекарських показниках кількість білка та критерії оцінки якості відіграють вирішальну роль.

3. ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА

3.1. Математична модель

В математичну модель проведення цифрового моделювання процесу випікання тіста в тунельній печі покладено загальні рівняння потоку рідини і теплопередачі.

Основні рівняння для потоку рідини і теплообміну є Нав'є-Стокса або рівняння імпульсу і перший закон термодинаміки або рівняння енергії.

Рівняння неперервності потоку (збереження маси) має наступний вигляд:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$

Момент інерції по вісі X:

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} \\ &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \\ & \quad + S_{\omega} + S_{DR} \end{aligned}$$

де,

u – складова швидкості в напрямку осі x

v – складова швидкості в напрямку осі y

w – складова швидкості в напрямку осі z

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва 3. ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА	210747.KP.01.003 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/24	

t – час;

ρ – густина.

C_p – постійний питомий тиск;

g_x, g_y, g_z – гравітаційне прискорення в напрямках X, Y, Z;

h – ентальпія;

k – теплопровідність;

p – тиск;

qV – об'ємне джерело тепла;

T – температура;

μ – в'язкість;

Момент інерції по вісі Y:

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} \\ &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ & \quad + S_{\omega} + S_{DR} \end{aligned}$$

Момент інерції по вісі Z:

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \\ &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] \\ & \quad + S_{\omega} + S_{DR} \end{aligned}$$

Розподілений опір може бути записаний у такому загальному вигляді:

$$S_{DR} = - \left(K_i + \frac{f}{D_H} \right) \frac{\rho V_i^2}{2} - C_{\mu} V_i$$

де i – відноситься до глобальної координатної системи. К-фактор може працювати на одному рівнянні за часом, тому що кожен напрям має свій унікальний коефіцієнт. Два інші типи опору діють однаково на кожне рівняння.

Джерело обертового потоку може бути записаний у такому вигляді:

$$S_{\omega} = -2\rho \omega_i \times V_i - \rho \omega_i \times \omega_i \times r_i$$

де i – відноситься до глобальної координатної системи, ϵ швидкість обертання, а r – відстань від осі обертання.

Для нестисливих потоків рівняння енергії записується в такому вигляді:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho C_p v \frac{\partial T}{\partial y} + \rho C_p w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_V$$

Для багатофазових потоків таких як пар/вода дане рівняння записується в такому вигляді:

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} + \rho u \frac{\partial h}{\partial x} + \rho v \frac{\partial h}{\partial y} + \rho w \frac{\partial h}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_V$$

Для нестисливої рідини, рівняння енергії записано в умовах критичної температури:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T_0}{\partial t} \right) + \rho C_p V_i \left(\frac{\partial T_0}{\partial X_i} \right) = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[k \frac{\partial T_0}{\partial X_i} \right] + q_V$$

$$+ \mu V_i \left[\frac{\partial^2 V_i}{\partial X_j \partial X_j} + \frac{\partial}{\partial X_i} \frac{\partial V_j}{\partial X_j} \right] + \frac{1}{2C_p} \frac{\partial}{\partial X_j} \left[k \frac{\partial}{\partial X_j} (V_j V_j) \right] + \Phi$$

де Φ – функція дисипації.

Представлені математичні рівняння використані в програмному комплексі Autodesk CFD.

3.2. Методика проведення дослідження

Дослідження процесу теплообміну проводилось за допомогою системи моделювання Autodesk Simulation CFD. Послідовність виконання процесу моделювання приведена нижче.

В системі програмного забезпечення Autodesk Inventor Professional була виконана побудова геометрична модель секції тунельної печі (Рисунок 3.1.), прототипом якої є піч лінії АЛ-130.

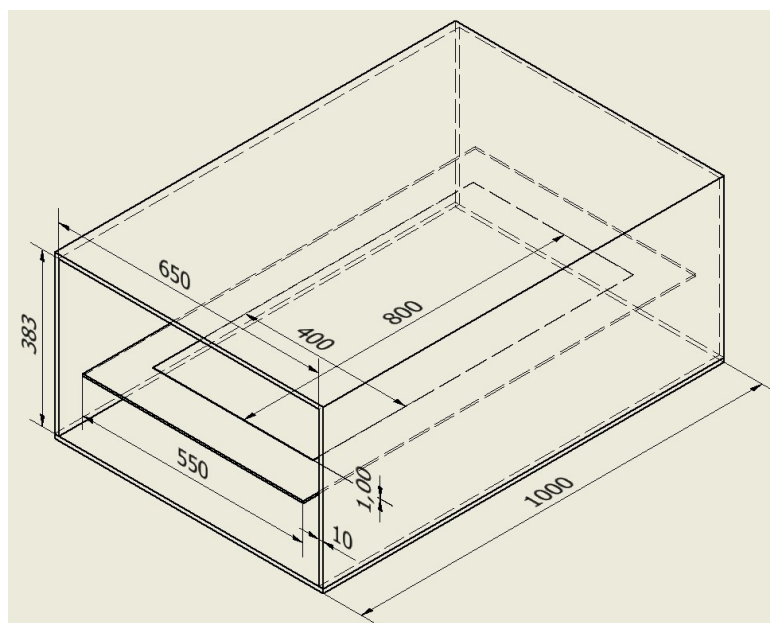


Рисунок 3.1 — Геометрична модель секції тунельної печі

Геометрична модель секції тунельної печі та модель лавашу була передана в програму Autodesk CFD використовуючи прямий інтерфейс та інструмент Active Model програми Inventor (Рисунок 3.2).

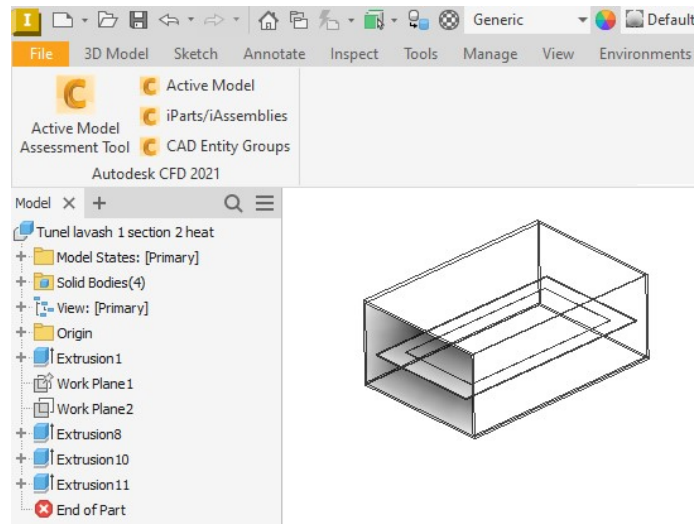


Рисунок 3.2 — Модель була завантажена програму Autodesk CFD у новий файл проекту дослідження.

3.2.1.Одиниці виміру

Для встановлення тотожності одиниць виміру геометричних розмірів переданої моделі з одиницями довжини в програмі CFD в гілці «Geometry» в дереві проекту (Рисунок 3.3) було встановлено одиниці виміру довжини – «CM».

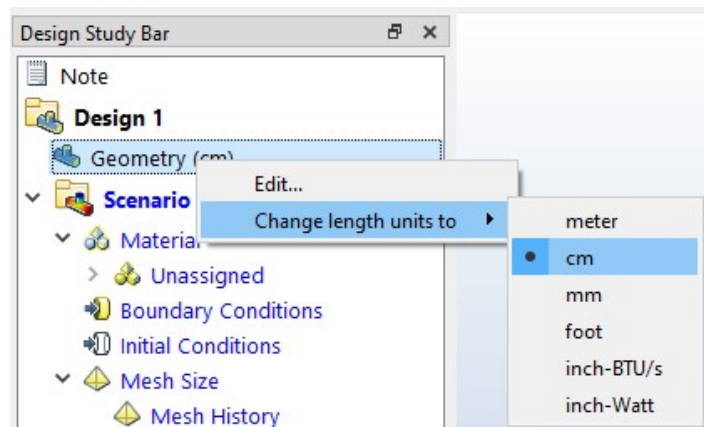


Рисунок 3.3 — Налаштування одиниць виміру

Проведення цифрового дослідження процесу теплообміну потребує створення модель потоку повітря всередині тунельної печі. Для цього було використано інструмент генерації геометрії об'єму потоку в програмі CFD.

Для створення внутрішньої деталі потоку було використано інструмент «Geometry Tools» вкладці «Setup» (Рисунок 3.4).

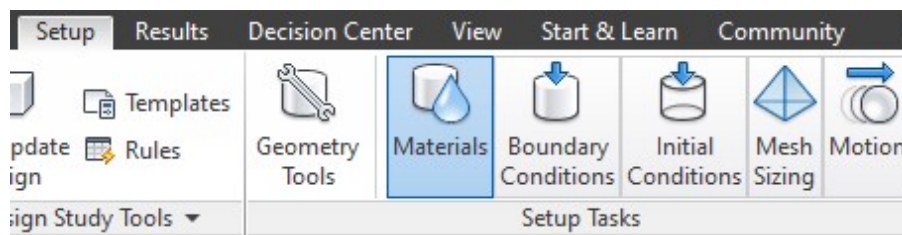


Рисунок 3.4 — Перехід в режим «Geometry Tools»

Після переходу у діалоговому вікні «Geometry Tools» на вкладку «Void Fill», було вибрані ребра вхідного та вихідного отворів моделі секції тунельної печі і створені обмежуючі поверхні за допомогою команди «Build surface». Скориставшись командою «Fill void» було створено об’єм внутрішнього потоку повітря шляхом заповнення порожнин всередині (Рисунок 3.5).

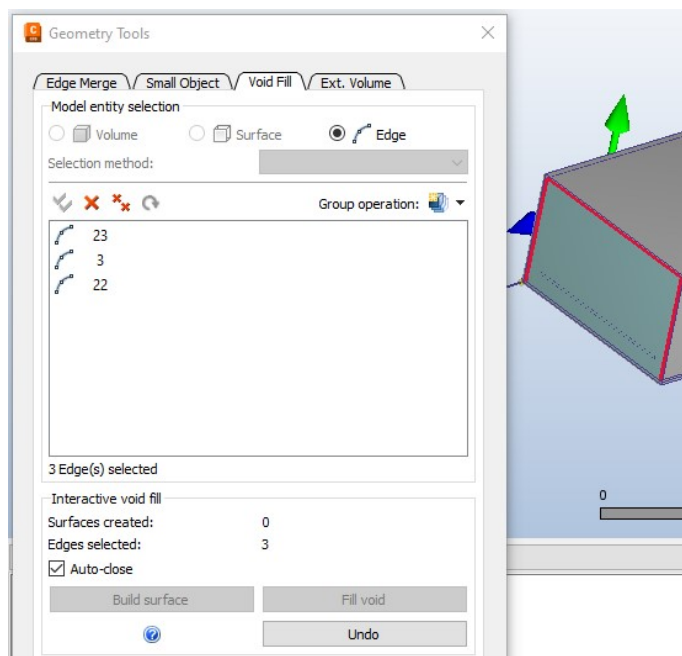


Рисунок 3.5 — Створення поверхні на вхідному отворі

3.2.2. Параметри матеріалів

На початку налаштування цифрової моделі було призначено параметри матеріалів для всіх складових в моделі тунельної печі.

Для цього активували режим введення параметрів матеріалів на сторінці «Materials» на вкладці «Setup» (Рисунок 3.6).

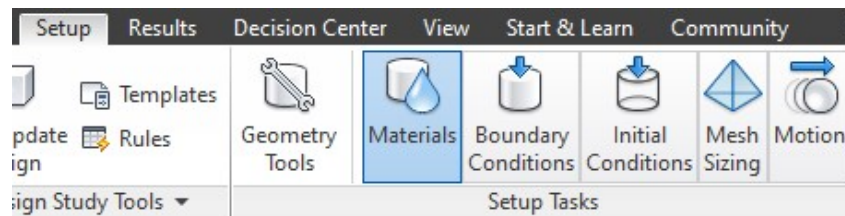


Рисунок 3.6 — Перехід в режим введення параметрів матеріалу

Для стінок тунелю печі, за допомогою команди «Edit» (Рисунок 3.7), були встановлені параметри матеріалу для нержавіючої сталі:

- вибрано верхню, бокові та нижню частину тунелю моделі тунелю;
- введено «Type» - «Solid» і вибрано матеріал «Stainless Steel (304)» із списку «Name» (Рисунок 3.8) застосовано команду «Apply».



Рисунок 3.7 — Команда “Edit” у вкладці “Materials”

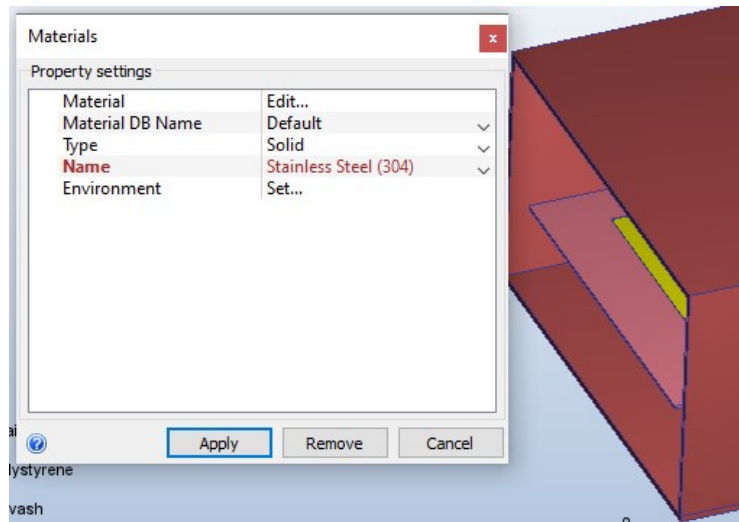


Рисунок 3.8 — Встановлення параметрів матеріалу стінки корпусу

Для потоку повітря в печі призначено матеріал «Air».

В діалоговому вікні «Materials», вибрано матеріал «Air» та налаштування «Variable» для врахування під час моделювання зміни параметрів середовища (Рисунок 3.9).

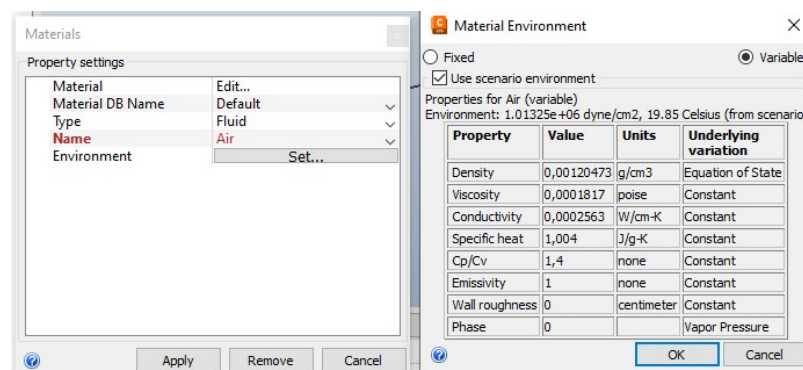


Рисунок 3.9 — Введення параметрів матеріалу повітря

Для стрічки конвеєра задано параметри матеріалу «Polystyrene» що найбільш відповідає матеріалу з якого виготовлена стрічка в тунельній печі (Рисунок 3.10).

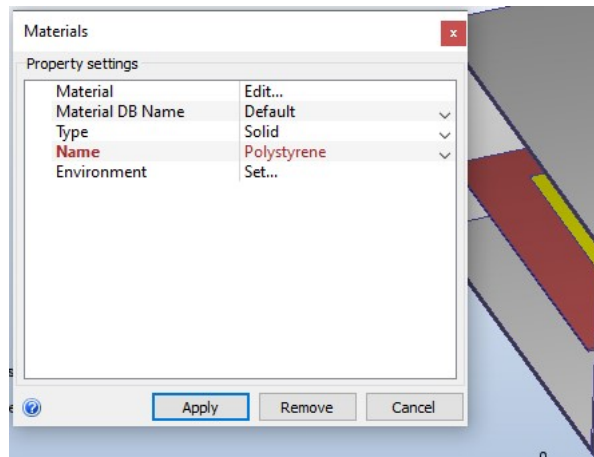


Рисунок 3.10 — Введення параметрів матеріалу стрічки конвеєра

Під час випікання лаваш змінює свої властивості і проходить перетворення тіста до готового продукту «Лаваш» з властивостями подібними до хлібобулочних виробів.

Для врахування цих перетворень при моделюванні і отриманні більш точних результатів, в Autodesk CFD є можливість введення змінних теплофізичних характеристик матеріалів об'єктів моделі.

Для цього в програмі був створений новий матеріал «Lavash» із змінними теплофізичними характеристиками. Основними даними, що покладені у властивості матеріалу лавашу, були експериментальні результати отримані дослідником Лисовенком О.Т. для різних стадій процесу випікання хліба з пшеничного борошна 1 гатунку.

Таблиця 3.1 — Теплофізичні характеристики

Температура, °C	λ , Вт/м К)	a , 10^{-7} , м ² /с	c , кДж/(кг К)
30	0,3	1,96	2
35,6	0,356	1,97	2,34
54,8	0,377	1,99	3,09
76,7	0,382	1,89	4,3
92,3	0,445	2	4,7
98,7	0,604	2,08	6,18
101	0,637	2,09	6,52

Для введення даних було вибрано модель об'єкту «Lavash» та використано команду «Edit» з контекстної панелі «Material». В діалоговому вікні «Material» вибрано команду «Edit» (Рисунок 3.11).

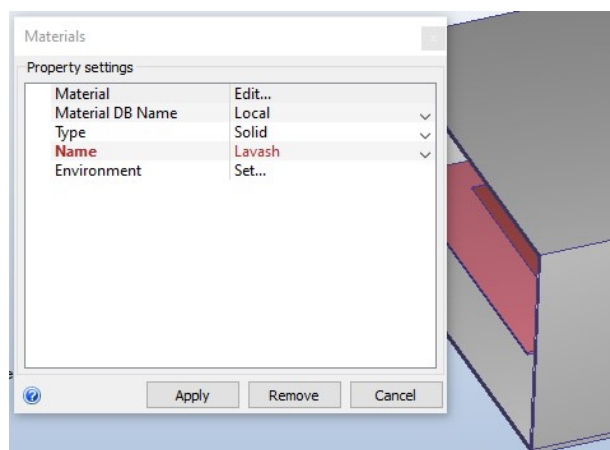


Рисунок 3.11 — Налаштування матеріалу «Lavash»

Значення Теплопровідності були задані як залежність теплопровідності від температури (Рисунок 3.12);

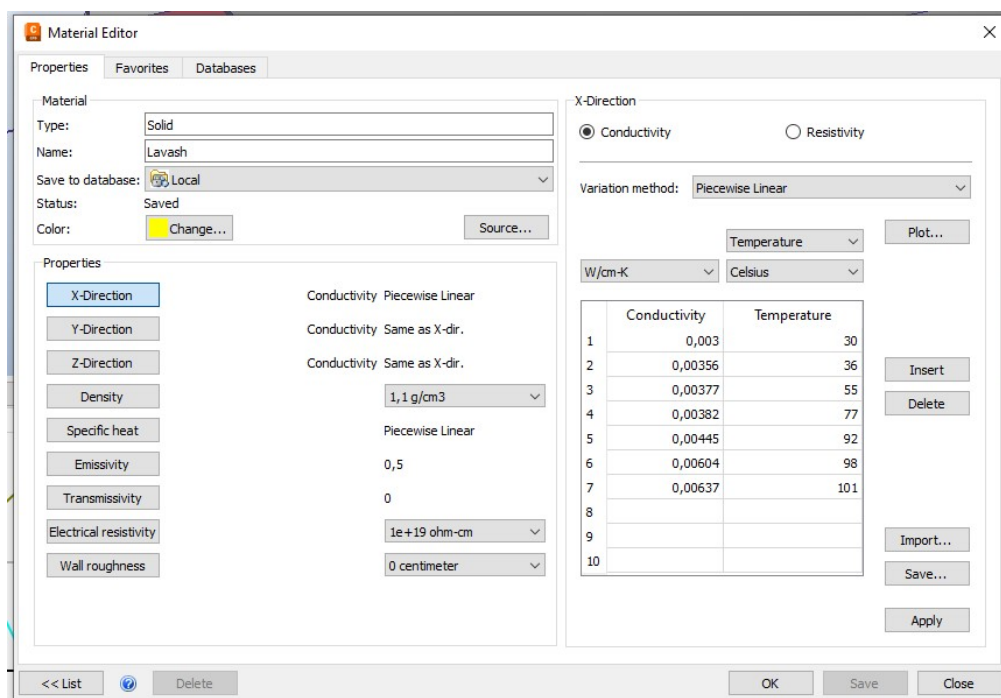


Рисунок 3.12 — Значення теплопровідності

Залежність питомої теплопровідності було введено як кусочно-лінійна функція від температури матеріалу в параметр програми «Specific heat» (Рисунок 3.13).

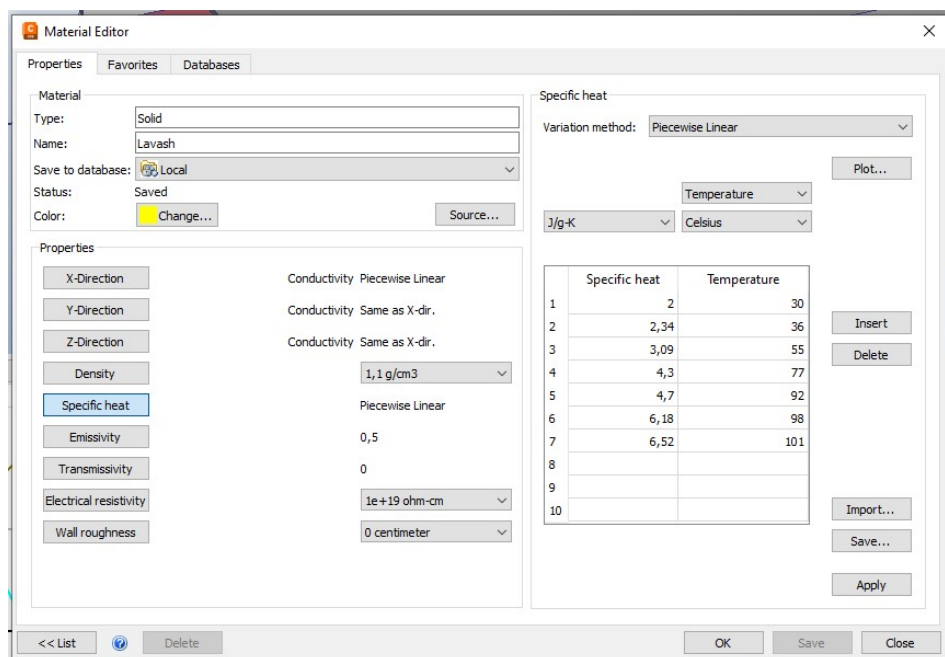


Рисунок 3.13 — Значення питомої теплопровідності

Густина матеріалу «Lavash» задано постійною величиною – 1100 кг/м³ (Рисунок 3.14).

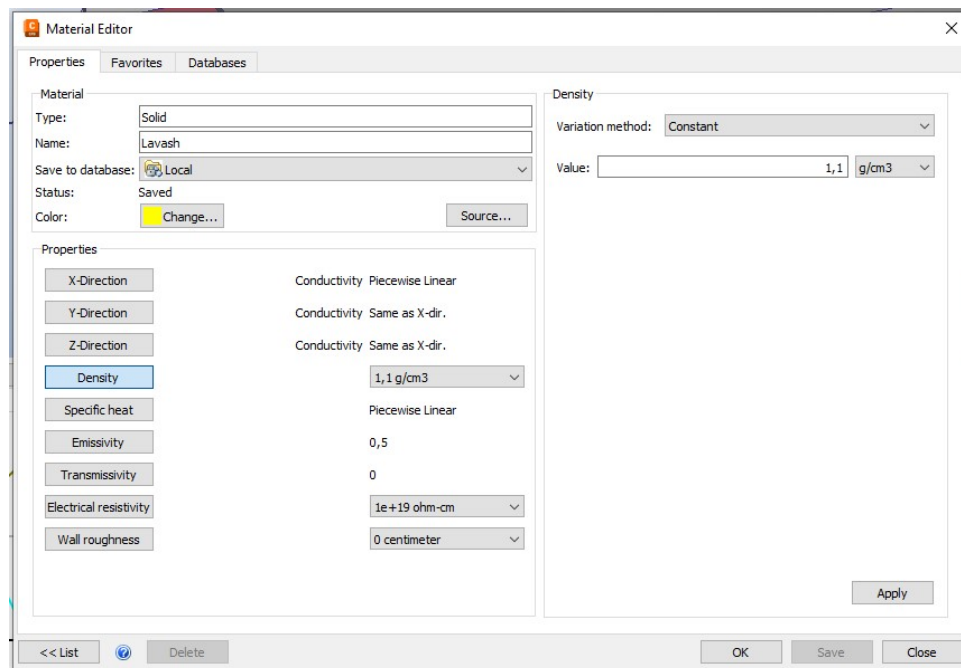


Рисунок 3.14 — Введення величини густини матеріалу

3.2.3. Призначення граничних умов

Граничні умови моделі випікання лавашу повинні включати гідродинамічні, температурні і теплообмінні параметри, які обумовлюють процеси всередині моделі, так і контакт моделі із зовнішнім середовищем.

Для введення граничних умов в модель тунельної печі було активовано режим інструменту «Boundary Conditions» на вкладці «Setup» (Рисунок 3.16).

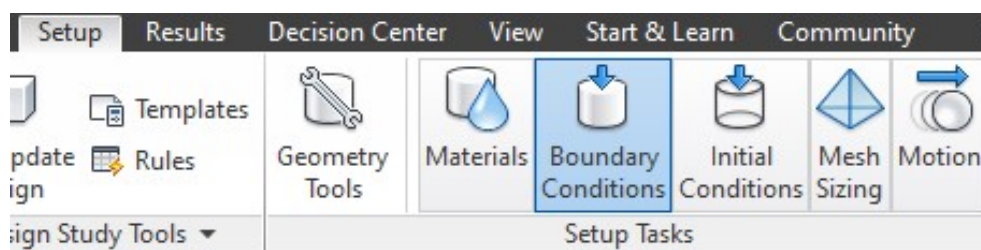


Рисунок 3.16 — Режим введення граничних умов

Для моделювання руху повітря в тунельному просторі без примусового переміщення було введено параметр «Pressure» величиною 0, Па для вхідного та вихідного отвору моделі (Рисунок 3.17).

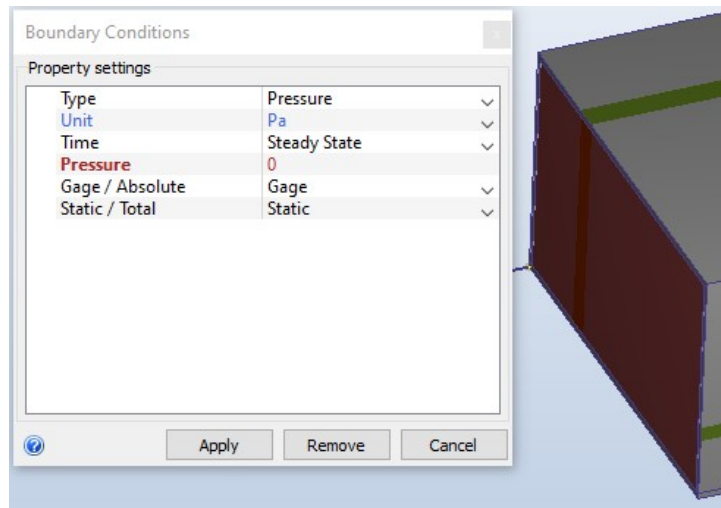


Рисунок 3.17 — Граничні умови для потоку повітря

Для забезпечення взаємодії моделі з навколишнім середовищем, а саме тепловіддачі тунельної печі в повітря вводили такий параметр як плівковий коефіцієнт тепловіддачі величиною 1 Вт К/ м^2 (Рисунок 3.18) при температурі оточуючого повітря $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

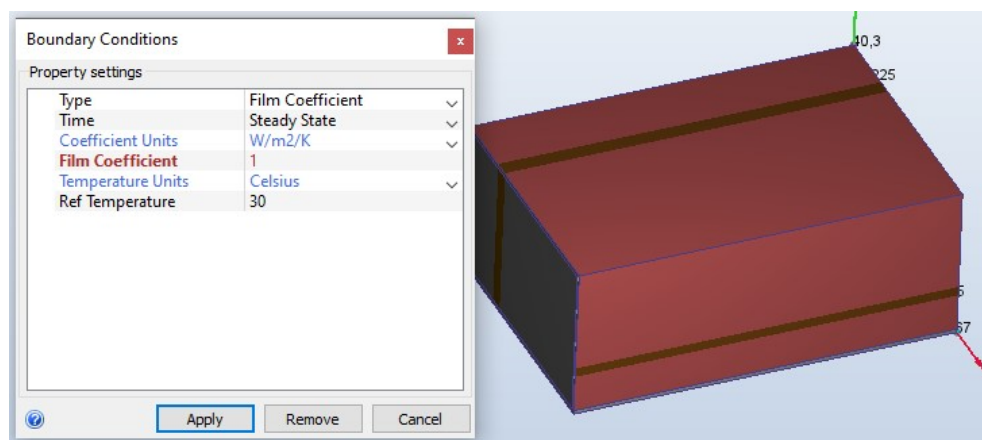


Рисунок 3.18 — Введення плівкового коефіцієнта тепловіддачі

Для забезпечення випікання хлібо-булочних виробів в тунельній печі даної конструкції встановлені 96 тенів потужністю 0.8 кВт у верхній та нижній частині тунелю. В моделі це було реалізовано введення температурного показника $280 \text{ }^\circ\text{C}$ для площини верхньої та нижньої частини тунелю, що забезпечить промінистий нагрів лаваша відповідним потієм теплоти (Рисунок 3.19).

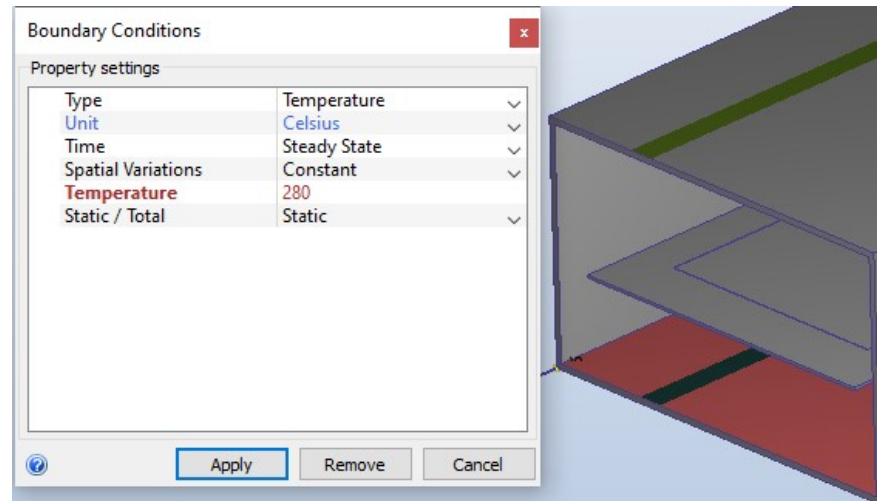


Рисунок 3.19 — Введення плівкового коефіцієнта тепловіддачі

3.2.4. Призначення початкових умов

Перед початком випікання лаваша тунельна піч вже є розігрітою стані, тож деякі об'єкти системи мають відповідні температурний потенціал. Для цього в моделі були введені показники температур об'єму повітря в камері печі, стручки конвеєра та самого лаваша.

Для введення початкових умов було зроблений перехід в режим введення цих параметрів за допомогою команди «Initial Conditions» (Рисунок 3.20).

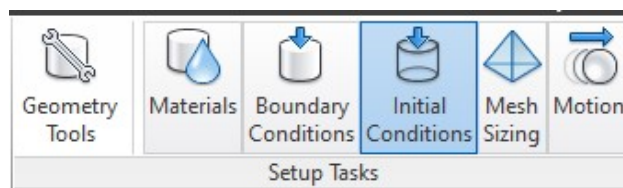


Рисунок 3.20. Режим введення початкових умов

В якості початковий умов були задані температурні показники лавашу, стрічки конвеєру та об'єму повітря в тунельній камері.

Вибравши об'єкт деталі «Lavash» та застосувавши команду «Edit», було задано температуру лавашу – 30 °C (Рисунок 3.21).

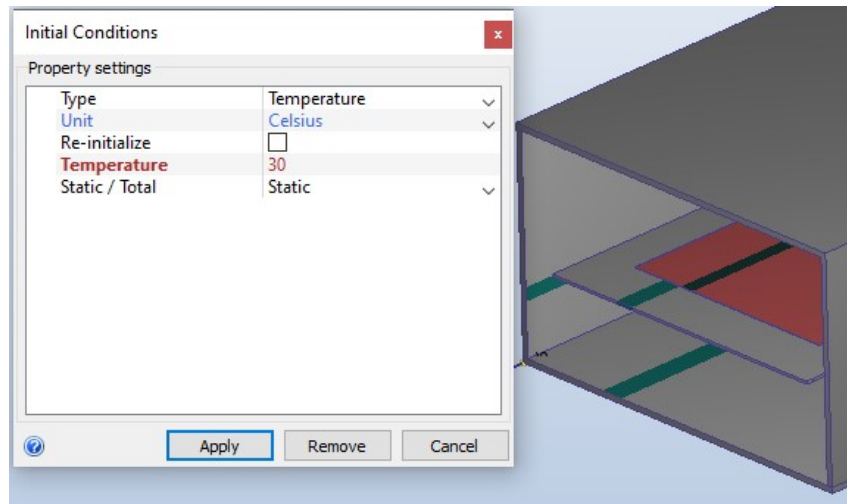


Рисунок 3.21 — Введення початкової температури лавашу

В процесі випікання лавашу конвеєрна стрічка має температуру 260 °С, яка була введена в діалогове «Initial Conditions» (Рисунок 3.22).

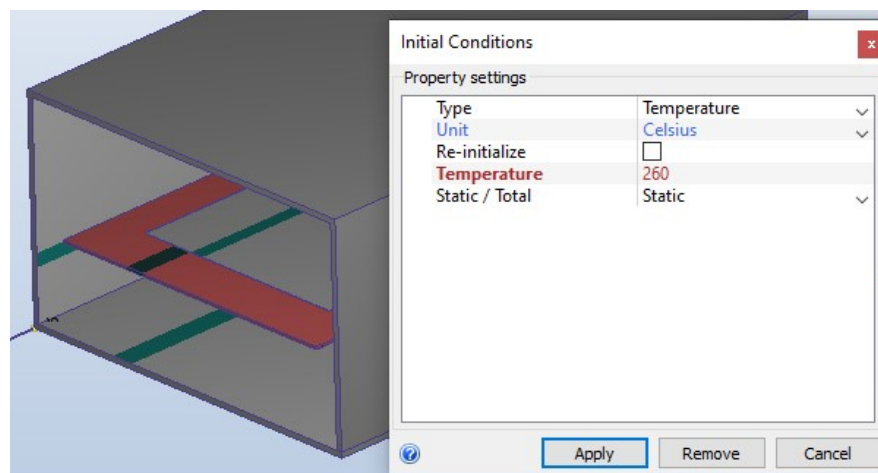


Рисунок 3.22 — Введення початкової температури стрічки конвеєра

Прогрів повітря в середині тунельної печі відбувається до 230-250 °С. Тому в якості початкових умов було задано температуру об'єму повітря в моделі – 240 °С (Рисунок 3.23).

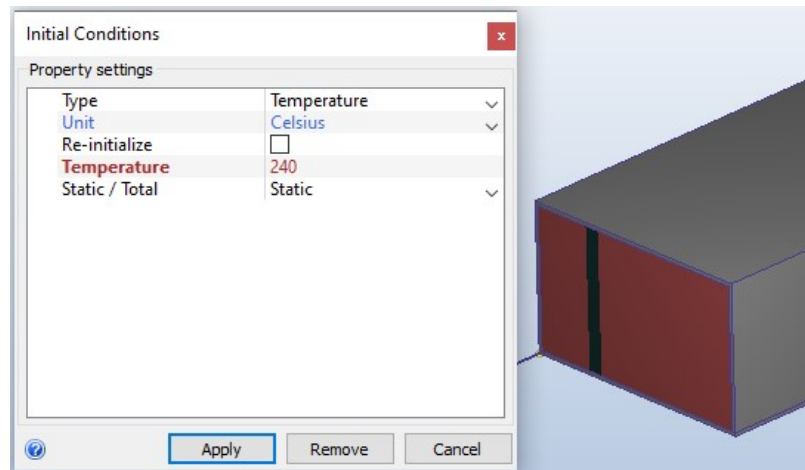


Рисунок 3.23 — Введення початкової температури об'єму повітря

3.2.5. Генерація кінцево-елементної сітки моделі

На цьому етапі налаштування моделі провели генерацію кінцево-елементної сітки в режимі «Mesh Sizing», використовуючи інструмент «Autosize» (Рисунок 3.24). Враховуючи розміри об'єкту дослідження, а саме те що один з розмірів (висота) набагато менший за два інші, потрібно було провести уточнення сітки на об'єкті «Lavash» та навколо нього.

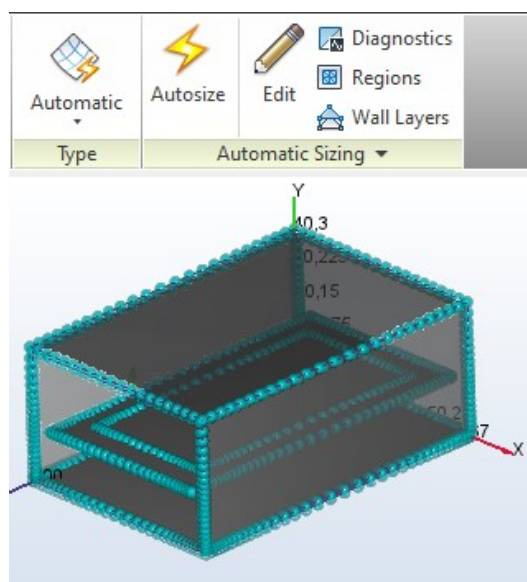


Рисунок 3.24 — Команда автоматичної генерації КЕ-сітки «Autosize»

Зменшення величини кінцевих елементів сітки на об'єктах дослідження призводить до покращення результатів моделювання, особливо при теплообміні між повітрям та твердим тілом.

Використовуючи команду «Edit» (Рисунок 3.24) та регулятор розміру комірки сітки було встановлено подвійне згущення сітки на лаваші з коефіцієнтом 0,5 (Рисунок 3.25).

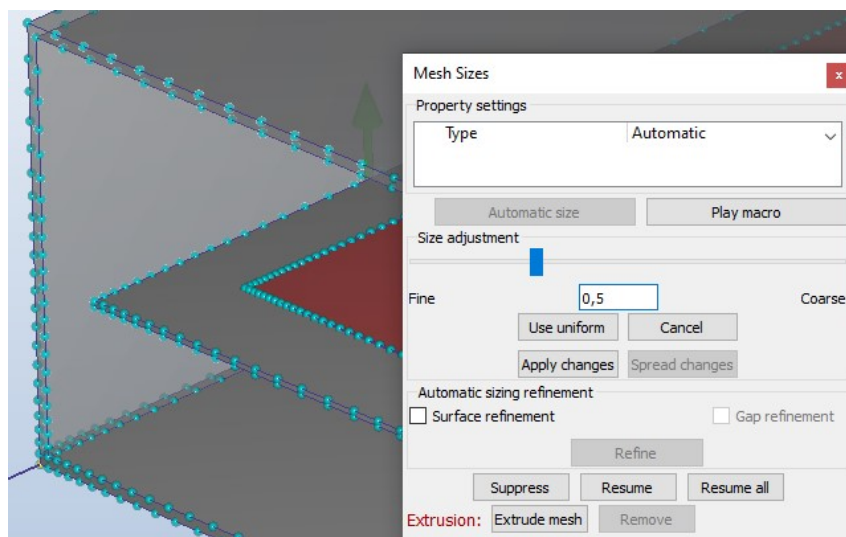


Рисунок 3.25 — Налаштування сітки об'єкту «Lavash» KE-сітки

У діалоговому вікні «Mesh Sizes» (Рисунок 3.25) також були застосовані команди «Use uniform» для використання однакових за розміром комірок по лавашу та команда «Apply changes» для узгодження сітки лавашу з дотичними до нього об'єктами.

Важливу роль при побудові моделі та отримання точних даних, має налаштування пристінних шарів у кінцево-елементній сітці біля об'єкту дослідження. Було збільшено число шарів до 5 та використано налаштування градієнтного зменшення шарів «Layer gradation» з коефіцієнтом 1,5 і зменшення розмірів шарів в порівнянні до розмірів об'єкту «Layer factor» з коефіцієнтом 0,01 (Рисунок 3.26).

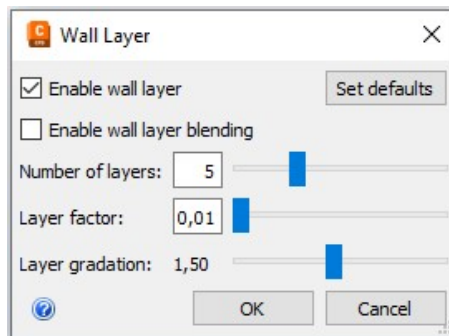


Рисунок 3.26 — Налаштування шарів KE-сітки

3.3. Налаштування параметрів розрахунку

Для виконання розрахунку було використану команду «Solve» (Рисунок 3.27) та введені необхідні параметри та налаштування.

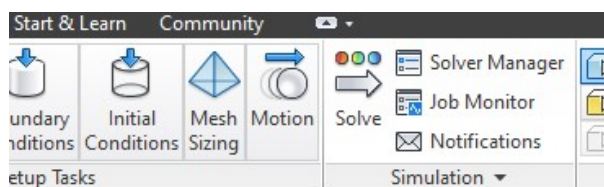


Рисунок 3.27 — Перехід в режим розрахунку моделі

Проведення моделювання було проведено в нестационарному режимі де параметри моделі змінювалися в часі. Для цього в діалоговому вікні «Solve» (Рисунок 3.28) був вибраний режим перехідного процесу «Transient» з часовим кроком «Time Step Size» в 1 секунду, з двома проміжними розрахунковими інтервалами «Inner Iterations» та 30 кроками в часі.

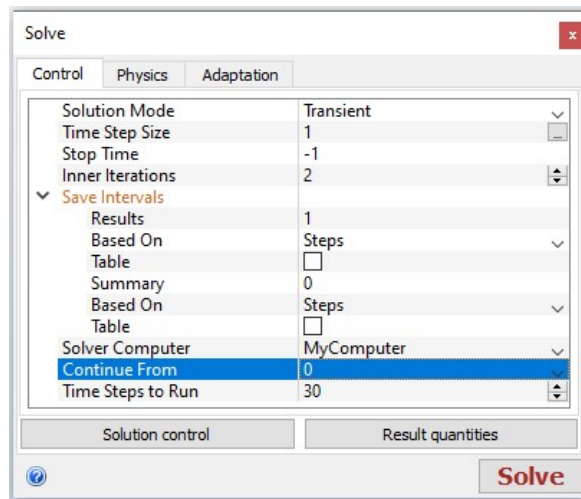


Рисунок 3.28 — Налаштування параметрів розрахунку

На сторінці «Physics» діалогового вікна «Solve» були активовані моделі процесів в дослідженні: «Flow» - модель потоку повітря; «Heat Transfer» - модель теплообміну; «Radiation» - модель процесу променистого теплообміну; «Auto Forced Convection» - модель конвективного аналізу потоку.

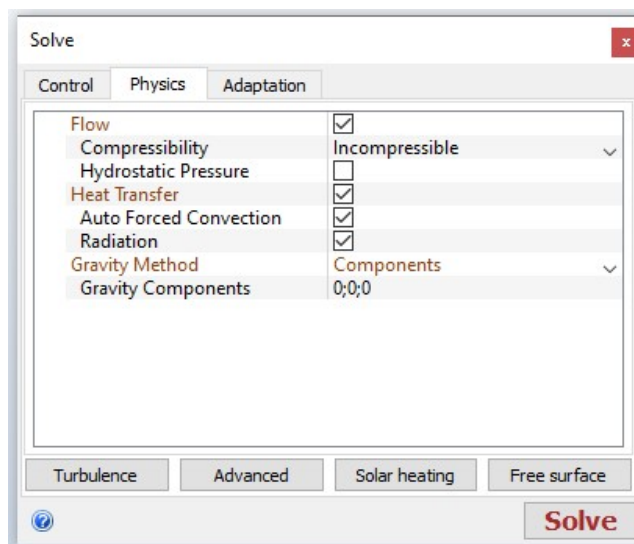


Рисунок 3.29 — Налаштування параметрів розрахунку

3.4 Обробка результатів моделювання

Для отримання результатів моделювання в графічному та числовому форматі були використані інструменти з режиму «Results» програми, які включали січні поверхні «Planes», розрахунок параметрів в об'ємах «Parts», точкові виміри параметрів «Points», графіки параметрів «XY Plot»; ізоповерхні «Iso Surfaces» та ізо - об'єми «Iso Volumes» (Рисунок 3.30).

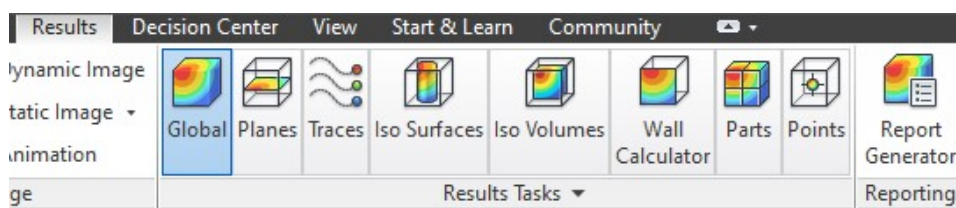


Рисунок 3.30 — Інструменти обробки результатів моделювання

Для отримання зображень розподілу параметрів по січній площині був використаний інструмент «Planes», що дозволив провести аналіз розподілу температури в довільному перетині моделі тунельної печі в довільний проміжок часу (Рисунок 3.31).

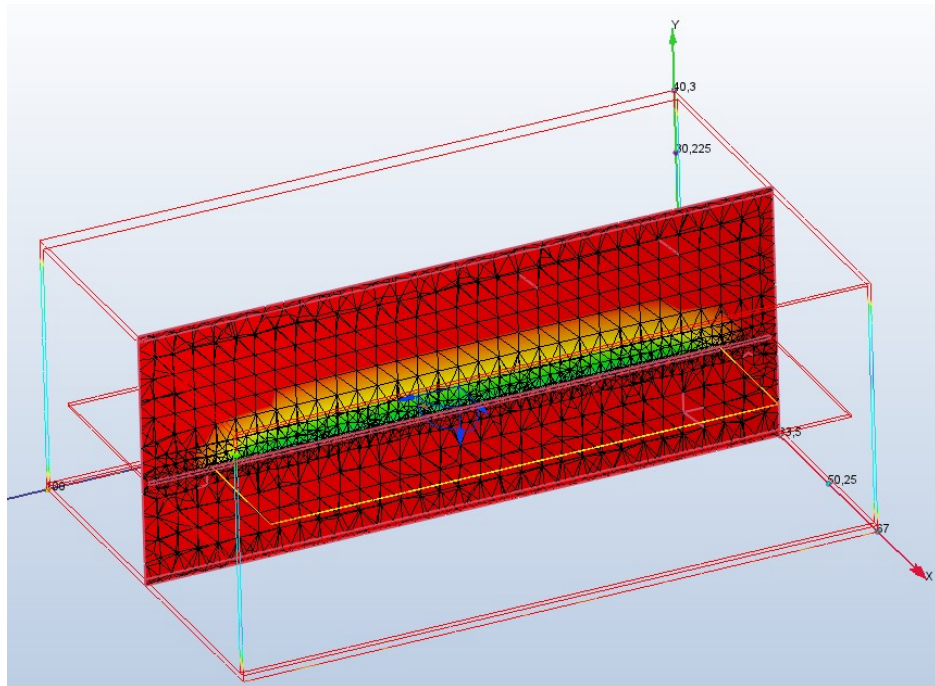


Рисунок 3.31 — Розподіл температури у повздовжньому перетині моделі

Отримання числових значень відповідних параметрів розрахунку відбувалося з допомогою команди побудови графіків на заданій ділянці січної площини (Рисунок 3.32).

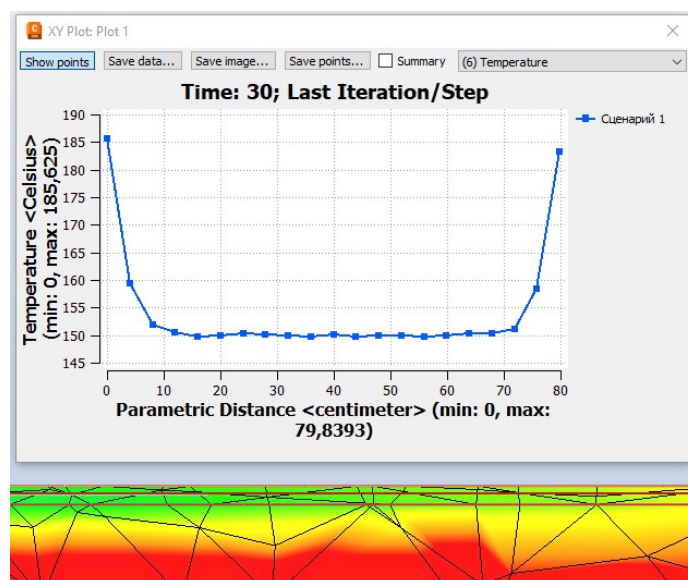


Рисунок 3.32 — Розподіл температури у заданому інтервалі всередині лавашу в повздовжньому перетині моделі
Для визначення середньої температури в об'ємі був застосований інструмент «Parts», що дозволив отримати усереднену температуру лавашу у

певний проміжок часу та побудувати узагальнені графіки нагріву (Рисунок 3.33).

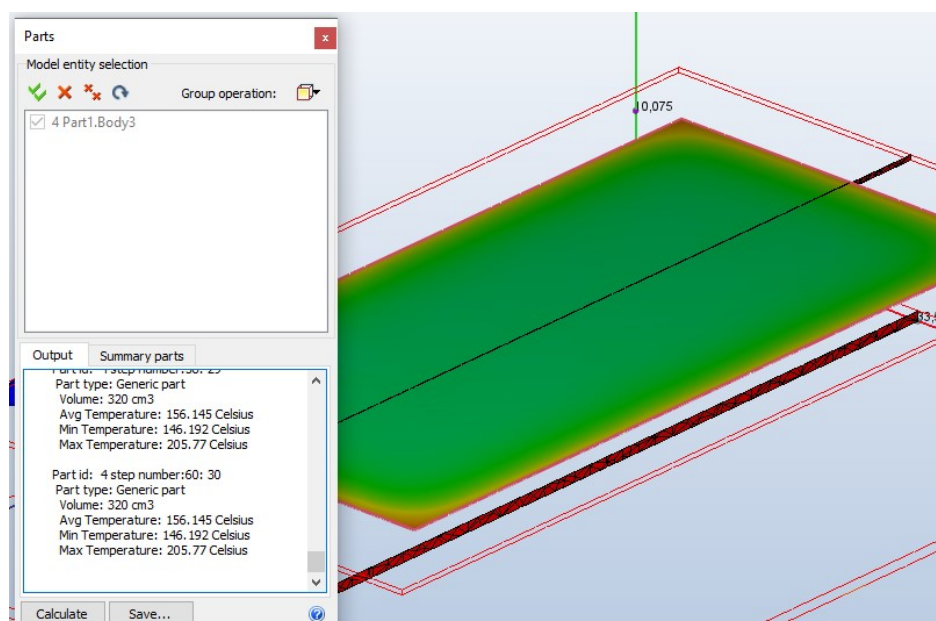


Рисунок 3.33 — Визначення середніх значень температури в об'ємі деталі моделі

Для вивчення розподілу температурних полів всередині моделі тунельної печі був використаний інструмент «Iso Surfaces», що дозволив візуалізувати ізо-поверхні температур заданого значення (Рисунок 3.34).

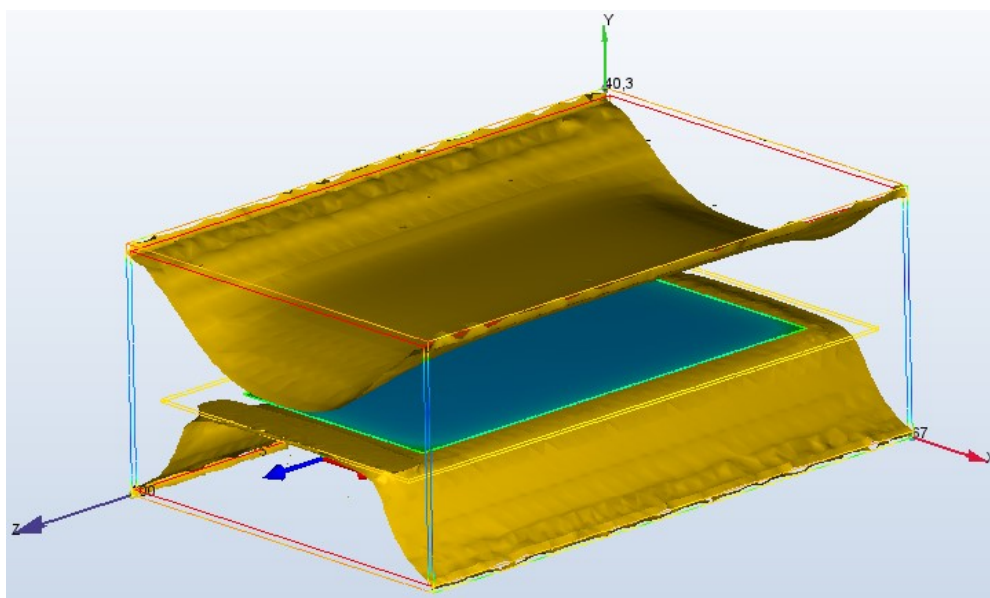


Рисунок 3.34 — Представлення результатів ізо-температурними поверхнями

За допомогою інструменту «Iso Volumes» було досліджено розподіл температур в об'ємах моделі в заданих діапазонах (Рисунок 3.35).

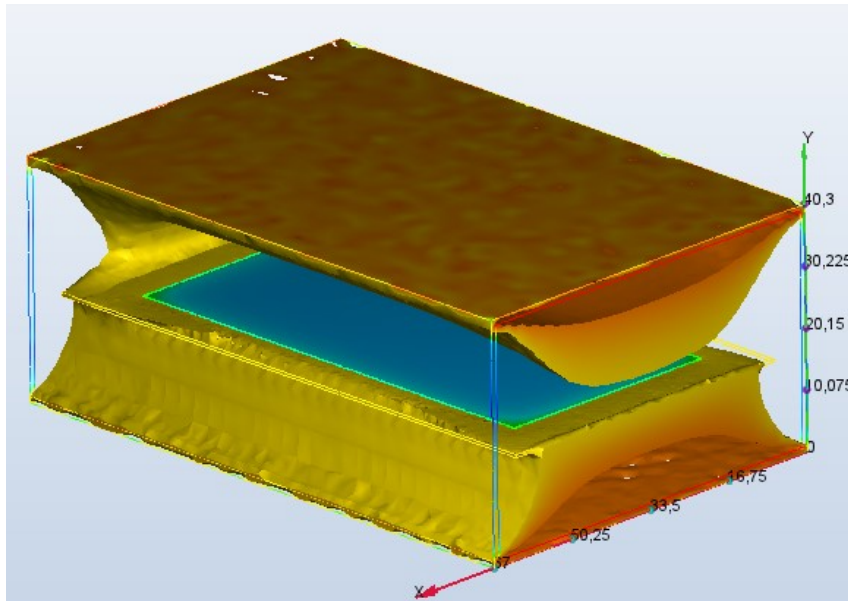


Рисунок 3.35 — Представлення результатів ізо-температурними об'ємами

Визначити температуру в заданій точці моделі дозволило використання інструменту «Points», що надало можливість побудувати залежності температур в часі у точках посередині лавашу на крайніх частинах (Рисунок 3.36).

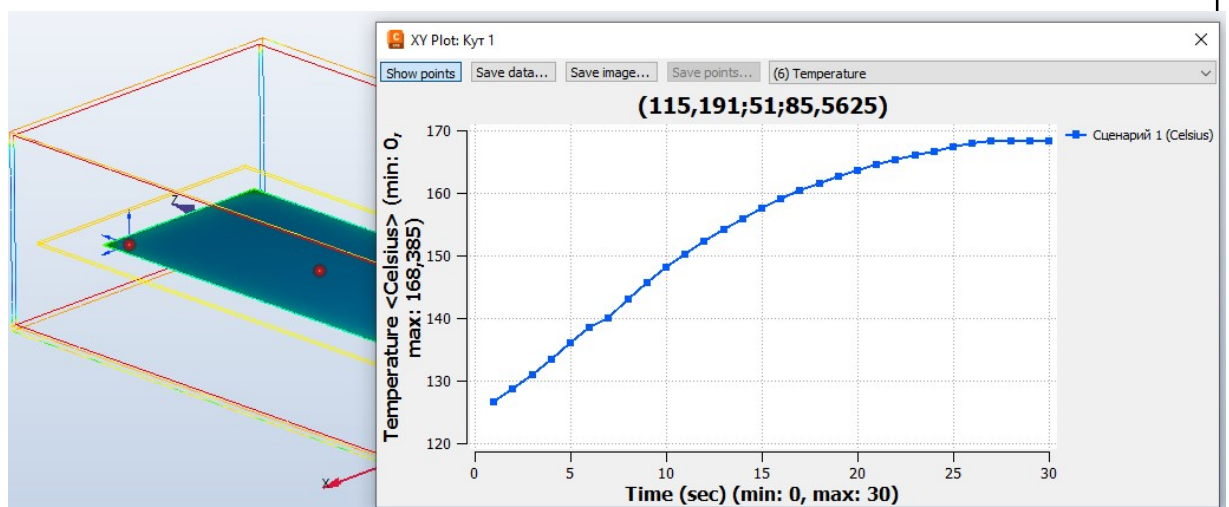


Рисунок 3.36 — Вимірювання температури в заданих точках моделі

3.5. Висновки

В розділі представлено алгоритм побудови імітаційної моделі для цифрового дослідження процесу випікання лавашу в тунельній печі з використанням системи інженерного аналізу Autodesk CFD.

Модель базується на математичній моделі, що включає основні рівняння для потоку рідини і теплообміну: Нав'є-Стокса або рівняння імпульсу; перший закон термодинаміки або рівняння енергії.

Для дослідження були створенні геометрична модель однієї секції тунельної печі, визначені граничні та початкові умови, що відповідають процесу випікання лавашу в дані конструкції печі, згенерована кінцево-елементна сітка, налаштовані параметри розрахунку та визначені інструменти для обробки отриманих результатів.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА (АБО) ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Аналіз результатів експериментальних досліджень

За допомогою програмного забезпечення Autodesk CFD були проведені дослідження за наведеним вище методом.

Були створені і прораховані 4 сценарії, в яких змінювались такі параметри як:

- густина;
- коефіцієнт теплопровідності;
- теплоємність.

4.1.1. Перший сценарій. Контрольний зразок. Вірменський лаваш за оригінальною рецептурою без добавок

За першим сценарієм в моделі було використано тепло-фізичні характеристики, що відповідають вірменському лавашу за оригінальною рецептурою без добавок.

Параметри заготовки:

- густина: 1100 кг/м³

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА (АБО) ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	210747.KP.01.004 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/26	

- коефіцієнт теплопровідності (в залежності від температури):

Температура, °C	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/см·К
30	0,003
36	0,00356
55	0,00377
77	0,00382
92	0,00445
98	0,00604
101	0,00637

- теплоємність (в залежності від температури):

Температура, °C	Теплопровідність, Дж/г·К
30	2
36	2,34
55	3,09
77	4,3
92	4,7
98	6,16
101	6,52

Дані з Рисунку 4.1 свідчать, що зразок різко нагрівається на початку процесу і поступово зменшує швидкість нагрівання до сталого значення в кінці.

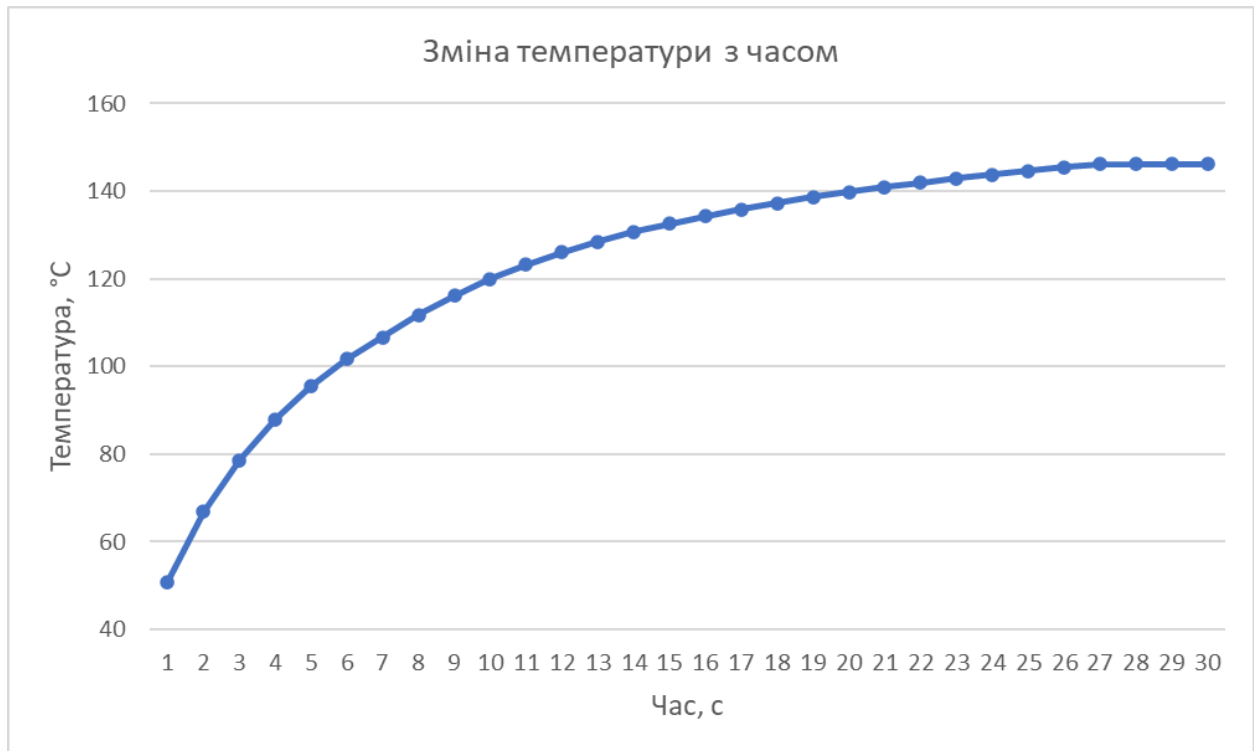


Рисунок 4.1 — Контрольний зразок. Залежність температури лавашу від часу нагріву

За першу секунду після повного заходження заготовки у піч, температура піднімається з 50,8 °C до 66,8 °C, тобто на 16 °C. Така різка зміна температури відбувається через велику різницю температур між заготовкою та прогрітою піччю. З кожною секундою різниця стає меншою і швидкість зростання температури заготовки падає.

Загалом, заготовка нагрілася на 95,4 °C:

- Перші десять секунд складають 72,5 % усього нагріву.
- Другі десять секунд складають 20,7 % усього нагріву.
- Треті, і останні, десять секунд процесу складають 6,7 % усього нагріву.

Спостерігається співвідношення процесу повного пропікання, розділеного на три рівні проміжки часу, як 11:3:1.

Було досліджено повздовжній перетин заготовки і побудовано графік, який вказував наскільки в точці заготовка була нагріта. На перетині були узяті 21 точку, з одного краю і з однаковим кроком до іншого. Ці точки були

збережені і використані для отримання результатів в таких часових точках, с: 5, 10, 15, 20, 25, 30. На Рисунку 4.2 показані результати отримані з цього дослідження повздовжнього перетину.

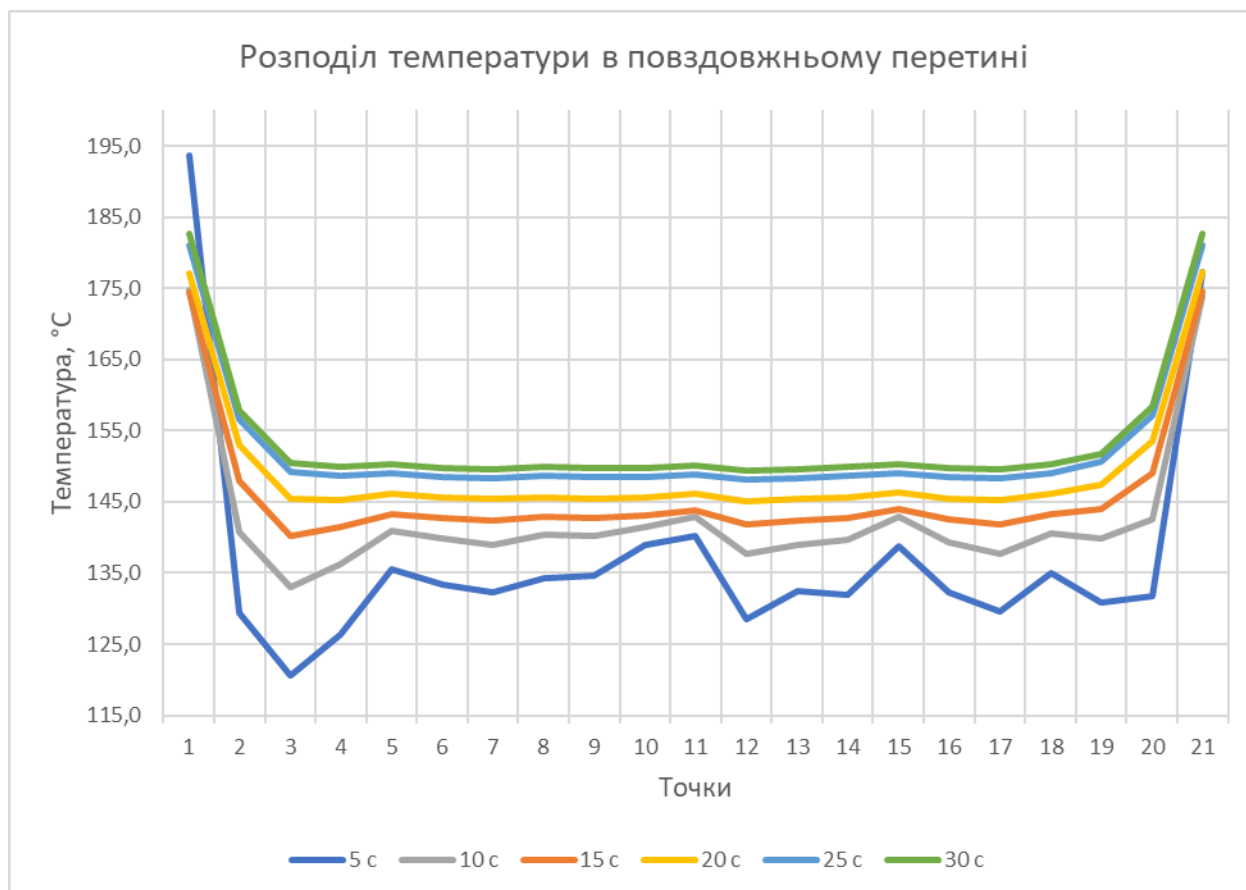


Рисунок 4.2 — Контрольний зразок. Розподіл температури в різних точках повздовжнього перетину

Дані з графіка свідчать, що значна різниця температур між лавашем та нагрітим повітрям печі обумовлює інтенсивну теплопередачу на крайніх ділянках заготовки і тому високу температуру в крайніх точках. Обмеження обчислювальної потужності комп'ютера не надало можливості сформувати достатньо густу КЕ-сітку, що вплинуло на недостатню плавність отриманого графіку.

Точки 1 та 21 знаходяться на краях і через те, що вони мають більше площі контакту з гарячим потоком повітря та випромінювання — вони мають найбільшу температуру, це пояснюється тим що окрім вертикального

потоків теплоти на цих ділянках лавашу діє теплопередача в горизонтальній площині з двох боків. Екстремумами на потрібному проміжку кривої, яка вказує на температури 5 секунди, є 3 і 11.

Не зважаючи на те, що точка 3 мала найменшу температуру, а 11 мала найбільшу температуру, відносно інших точок, в кінці процесу випікання температури всіх точок вирівнюються, що свідчить про рівномірність пропікання лавашу.

Середня температура точок, без врахування крайових, складала:

5 с	132,7 °C
10 с	139,4 °C
15 с	142,7 °C
20 с	145,7 °C
25 с	148,8 °C
30 с	150,0 °C

Також, було проведено дослідження поперечного перетину заготовки, так само як і з повздовжнім було узяті 21 точка, з однаковою відстанню між ними. Проте, поперечний перетин в 2 рази менший за площиною, в порівнянні з повздовжнім, тому дослідження поперечного перетину розкриває більш точну інформацію, стосовно температур по всій довжині перетину. Отримані результати продемонстровані на Рисунку 4.3.

Враховуючи що поперечний розмір лаваша в два рази менший за повздовжній прогрів заготовки відбувається більш інтенсивно, про що свідчать пологість кривих на крайніх ділянках лавашу (Рисунок 4.3).

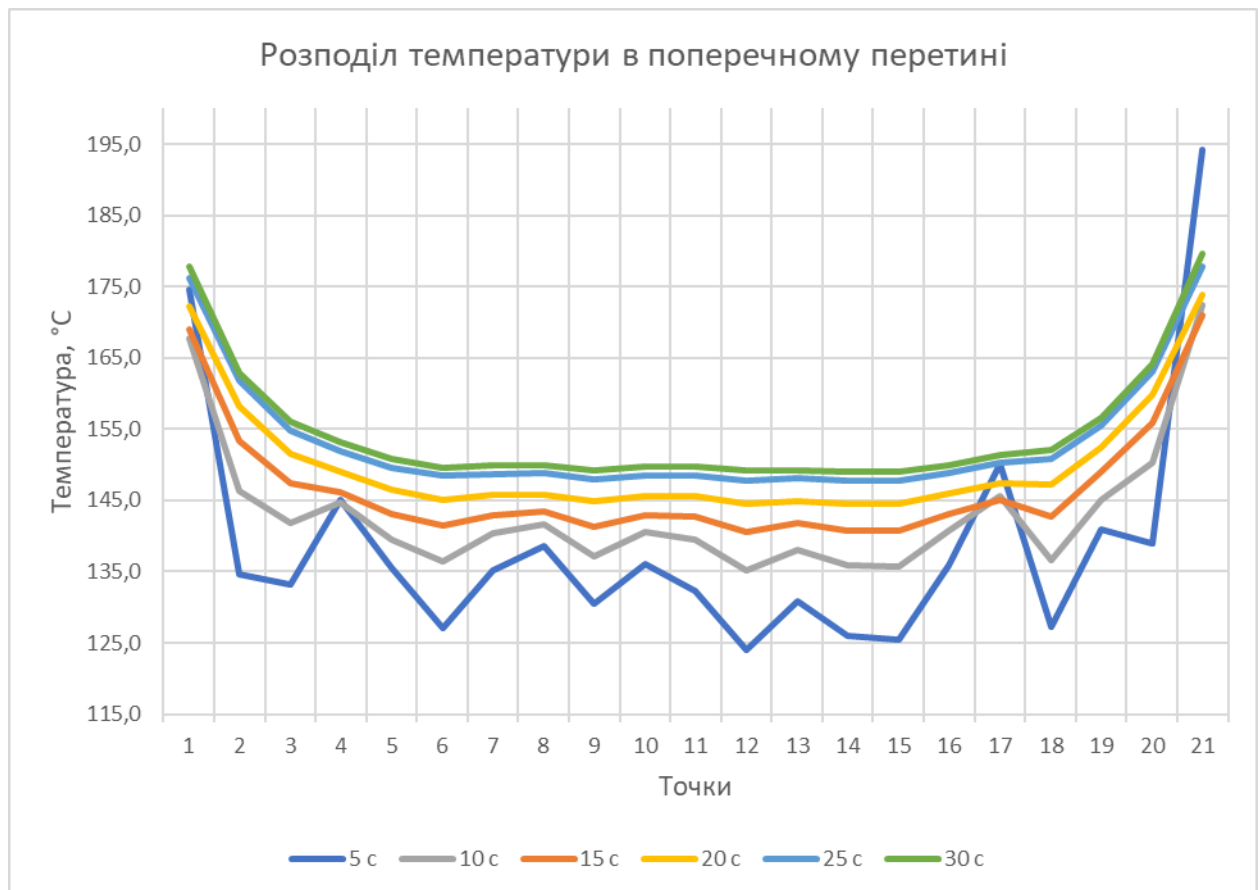


Рисунок 4.3 — Контрольний зразок. Розподіл температури в різних точках поперечного перетину

Середня температура точок, без врахування крайових, складала:

5 с	133,8 °C
10 с	139,7 °C
15 с	143,2 °C
20 с	146,5 °C
25 с	149,7 °C
30 с	150,9 °C

Середні температури повздовжнього та поперечного перетину мають різницю менше 1%. Найбільша різниця є на 5 с процесу, що підкреслює те, що початок процесу являється найбільш інтенсивним.

Далі була розглянута температура в центрі та куті заготовки, їхня різниця та характер перебігу процесу. Отриманий результат зображений на Рисунку 4.4.

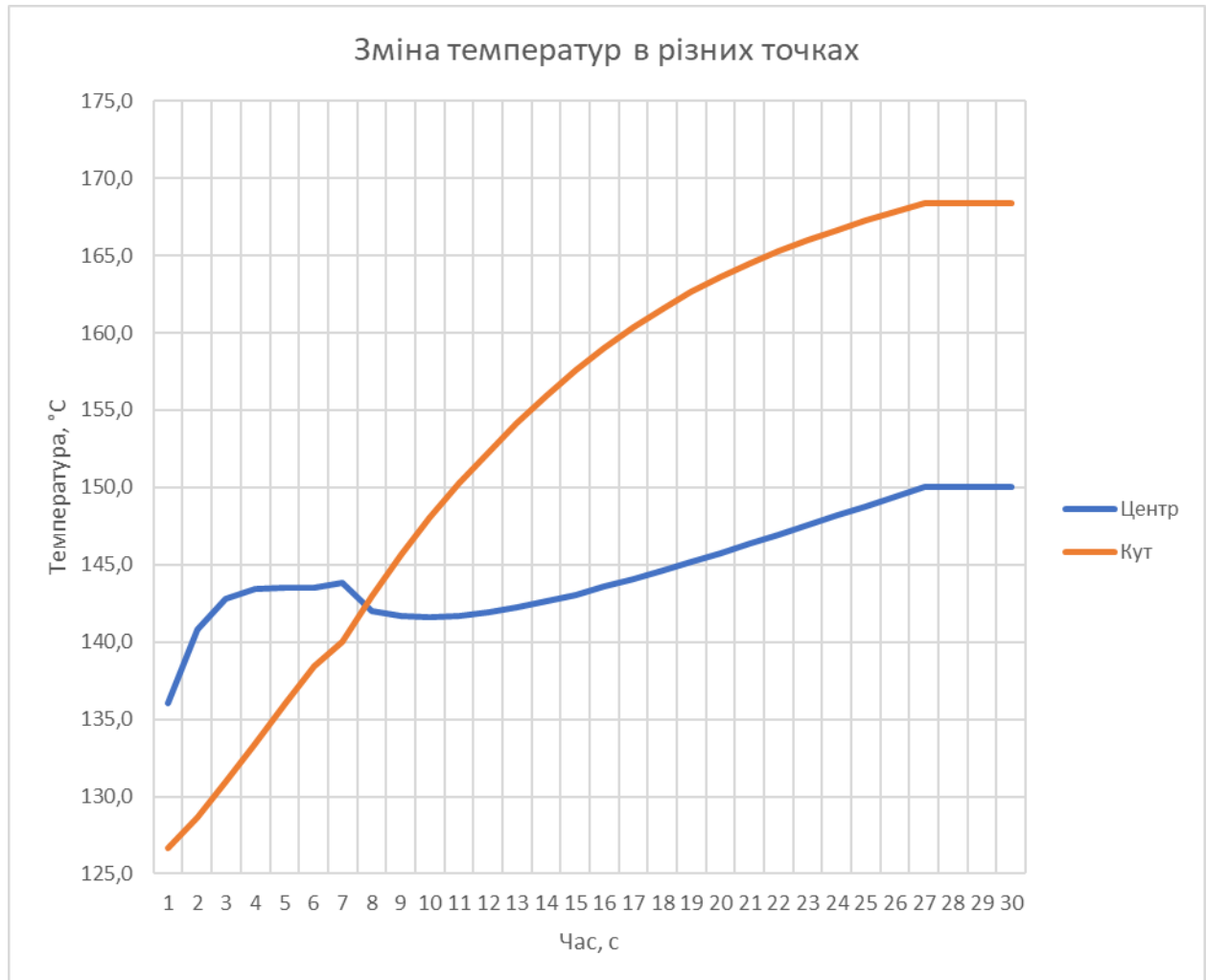


Рисунок 4.4 — Контрольний зразок. Зміна температури з часом, в центрі та куті заготовки

Дані з графіку свідчать, що пропікання у куті відбувається досить рівномірно, а в центрі спостерігається більш складний процес. Такий процес спостерігається при випіканні хлібобулочних виробів, так як тісто є органічною речовиною, всередині якої зберігається вода, повітря. Вони також реагують на зміну температури, проте процеси які відбуваються та їх характери відрізняються, що призводять до того, що процес нагрівання органічних речовин являється складним процесом. У куті вихід парів

простіший ніж в центрі, тому наявність води та повітря в ньому не призводить до такого ж процесу, як в центрі.

Відбувається сорбція пари, потім температура швидко зростає до 141°C в зоні інтенсивного теплопідведення. Після цього здійснюється різкий перехід від «теплого удару» до перехідної зони і м'якого температурного режиму зони допікання, коли температура зменшується і плавно збільшується. Даний характер температурних кривих співпадають з даними отриманими дослідниками нашого університету в реальних умовах.

4.1.2. Другий сценарій. Вірменський лаваш з додаванням камеді

За другим сценарієм в моделі було використано тепло-фізичні характеристики, що відповідають вірменському лавашу з додаванням камеді.

Параметри заготовки:

- густина: 1020 кг/м³
- коефіцієнт теплопровідності (в залежності від температури):

Температура, °C	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/см·K
30	0,0029
36	0,0041
55	0,0043
77	0,00456
92	0,00472
98	0,0061
101	0,00634

- теплоємність (в залежності від температури):

Температура, °С	Теплопровідність, Дж/г·К
30	1,73
36	1,85
55	2,83
77	4,02
92	4,18
98	5,84
101	6,22

Отримані результати пропікання всієї заготовки зображені на Рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 — Камедь. Залежність температури лавашу від часу нагріву

Перебіг процесу відбувається так само як і у контрольного зразка, з відмінністю у тому, що температура зростає швидше, в порівнянні з оригінальною рецептурою, в середньому, різниця температури складає $2,95^{\circ}\text{C}$. Це свідчить про те, що необхідно налаштувати температури або час перебування заготовки у печі, тобто збільшити швидкість руху заготовки.

Результати, отримані з дослідження повздовжнього перетину заготовки (Рисунок 4.6), до якої додавали камедь, вказують на те, що відбувається більш рівномірне нагрівання, а показники на 25 с і 30 с майже не відрізняються, при цьому, у контрольного зразка спостерігається чітка відмінність в температурі між цими кривими.

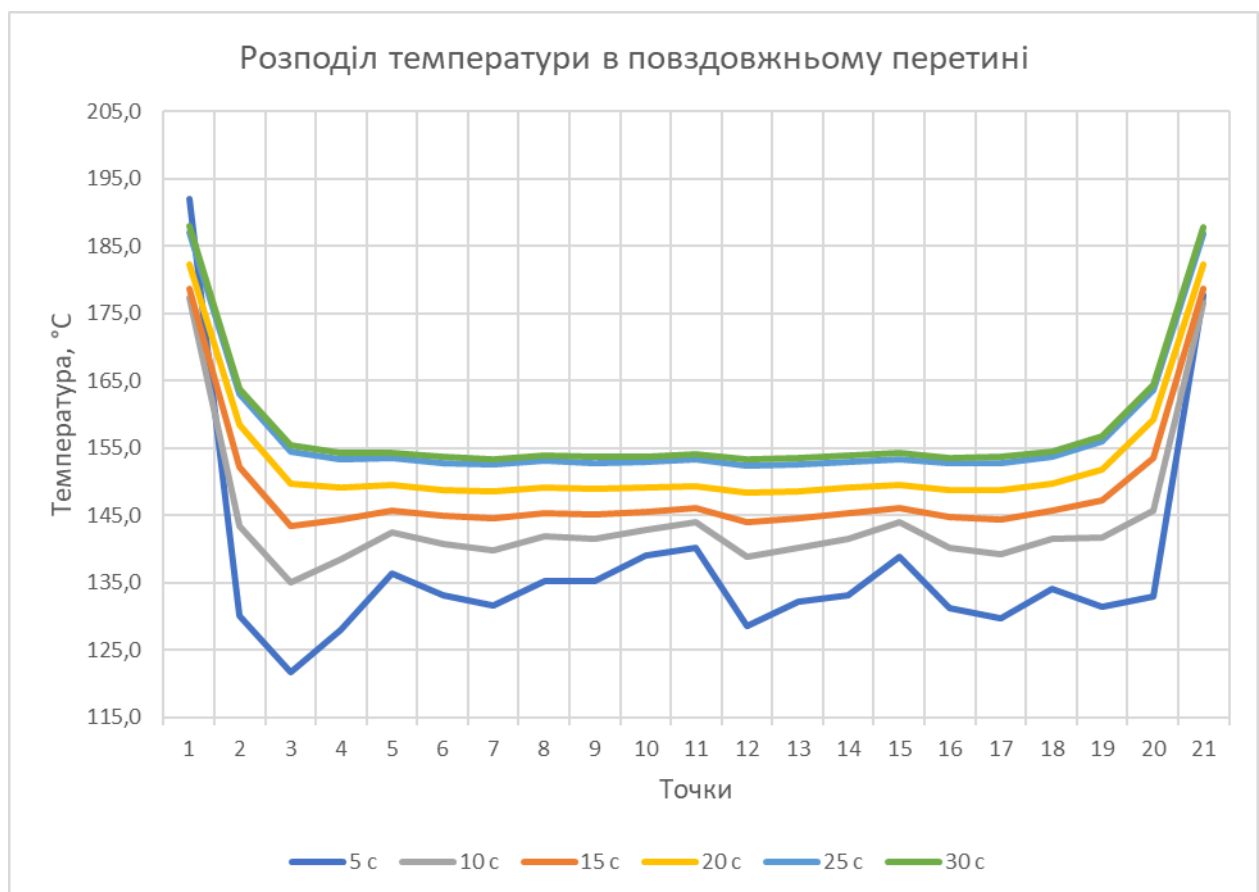


Рисунок 4.6 — Камедь. Розподіл температури в різних точках повздовжнього перетину

На 5 с різниця температур між контрольним зразком і зразком, до якого додавали камедь, не суттєва і складає 0,2 °С. Найбільша різниця відбувається на 25 с. З 10 с можна помітити, що ця різниця стає все більше і це збільшення зростає на 1 градус з кожною п'ятою секундою (1,4 °С, 2,4 °С, 3,5 °С, 4,5 °С), а з 25 с до 30 с різниця зменшується на 0,4 °С до 4,1 °С.

Результати дослідження поперечного перетину заготовки з додаванням камеді (Рисунок 4.7) показує схожу тенденцію з повздовжнім перетином стосовно часу 25 с і 30 с. Точка 17 на 5 с, відмінно від контрольного зразку, не досягає температури такої саме, яка буде на 30 с.

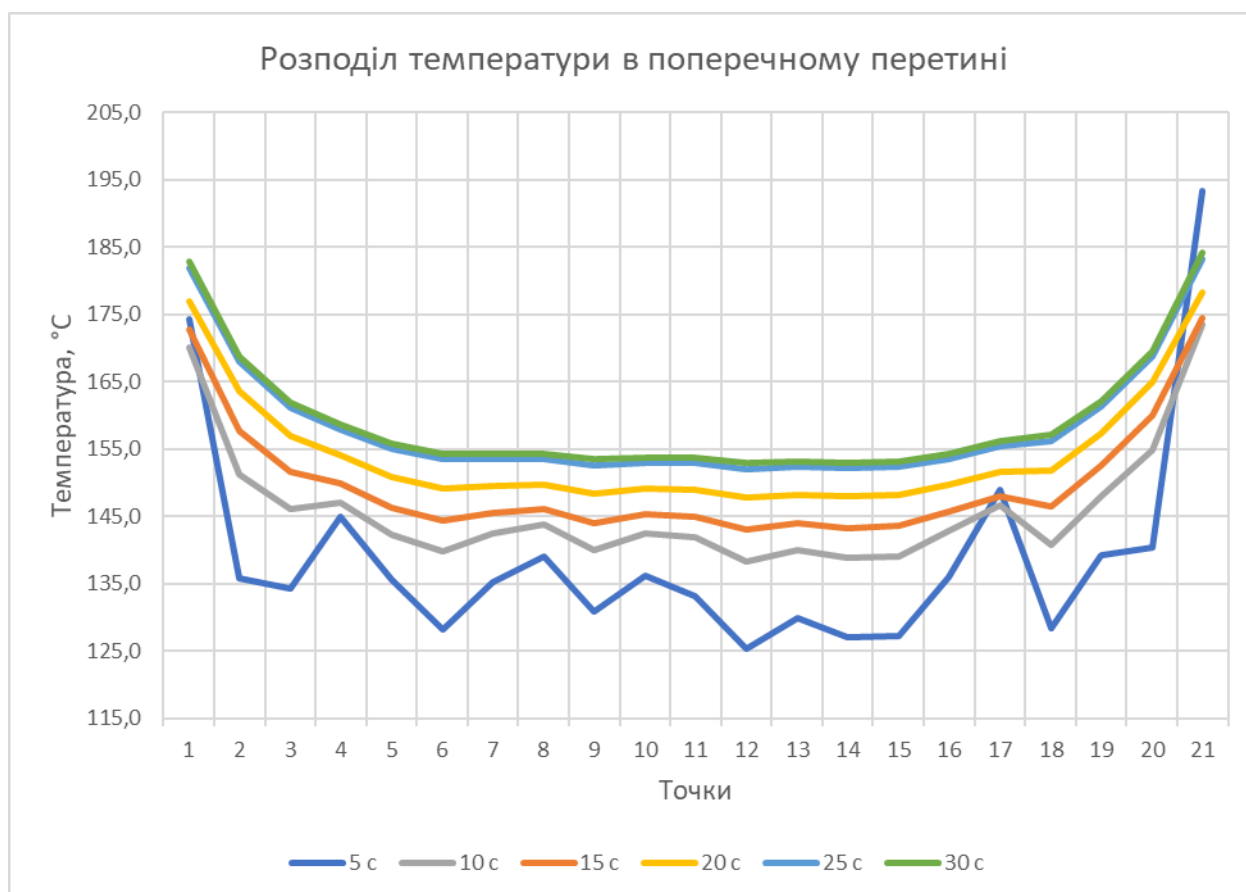


Рисунок 4.7 — Камедь. Розподіл температури в різних точках поперечного перетину

Проте спостерігається різкий скачок різниці середньої температури з 5 с до 10 с при якому, різниця складає 2,4 °С. Подальша різниця температур

дорівнює 2,9 °С, 4 °С, 4,9 °С, відповідно. З 25 с до 30 с так само спостерігається зменшення різниці зменшується на 0,4 °С до 4,5 °С.

Відмінності характеру спостерігається на результатах дослідження зміни температур в центрі та куті заготовки, які вказані на Рисунку 4.8.

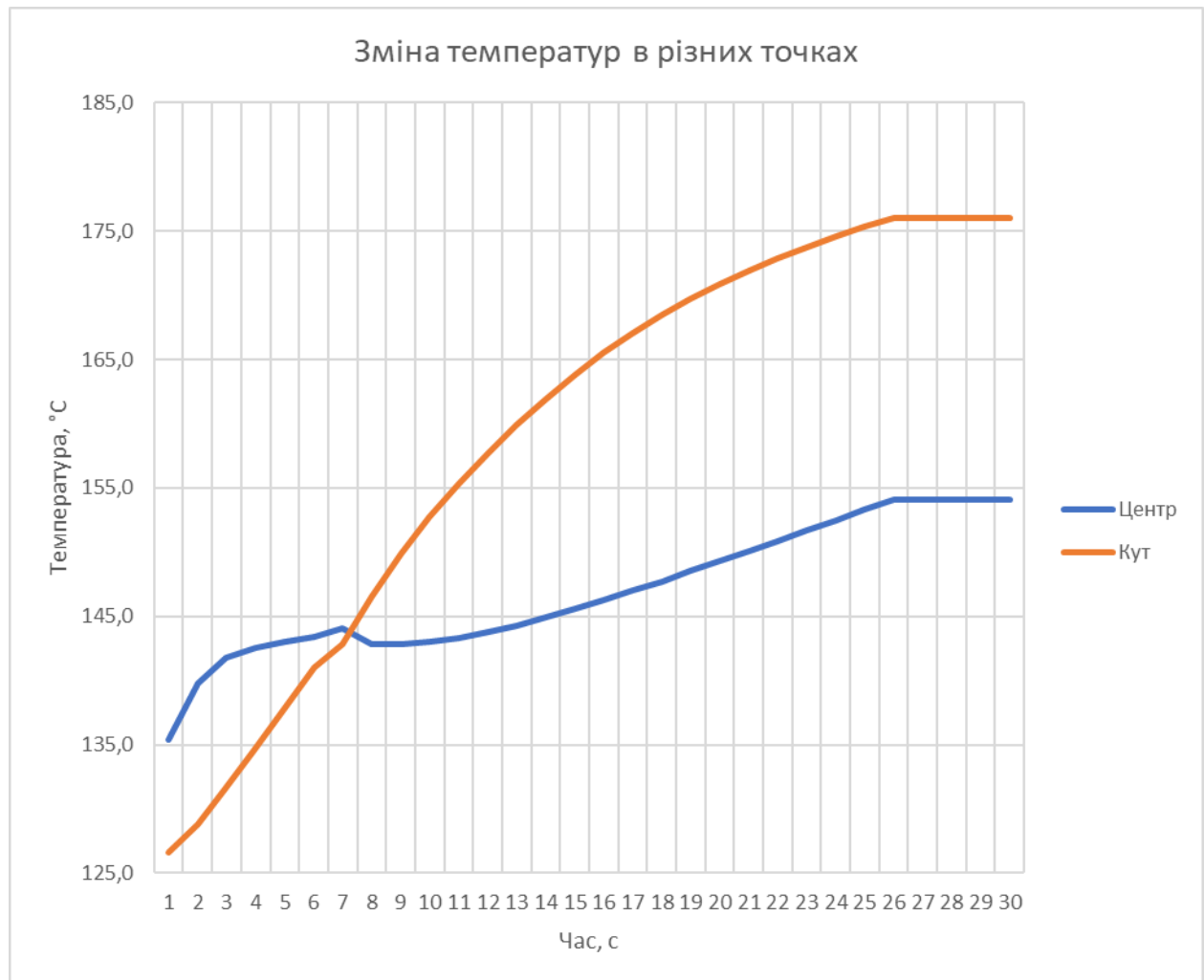


Рисунок 4.8 — Камедь. Зміна температури з часом, в центрі та куті заготовки

Відмінність полягає у перебігу температури в центрі заготовки, а саме у відсутності такого різкого зниження температури від «теплового удару» до перехідної зони. З додаванням камеді, ця зміна набуває більш плавний характер.

Також, різниця температур наприкінці складає 7,6 °С у куті та 4,1 °С у центрі заготовки.

4.1.3. Третій сценарій. Вірменський лаваш з додаванням пшеничних висівок

За третім сценарієм в моделі було використано тепло-фізичні характеристики, що відповідають вірменському лавашу з додаванням пшеничних висівок.

Параметри заготовки:

- густина: 1064 кг/м³
- коефіцієнт теплопровідності (в залежності від температури):

Температура, °C	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/см·К
30	0,0027
36	0,0034
55	0,00362
77	0,00374
92	0,00433
98	0,00591
101	0,00618

- теплоємність (в залежності від температури):

Температура, °C	Теплопровідність, Дж/г·К
30	1,95
36	2,27
55	3
77	4,19

92	4,6
98	6,06
101	6,43

Результати пропікання усієї заготовки з рецептурою до якої додавалися пшеничні висівки (Рисунок 4.9.) вказують на те, що значних відмінностей в температурі в перебігу процесу між контрольним зразком і тим, до якого додаються пшеничні висівки, немає, проте кінцева температура відрізняється на 2,6 °С.



Рисунок 4.9 — Пшеничні висівки. Залежність температури лавашу від часу нагріву

На Рисунку 4.10 вказано зміну температур в 21 точці по повздовжньому перетині заготовки, рецептура якої має пшеничні висівки. Лінії тренду кривих у часі 15 с, 20 с, 25 с, 30 с знаходяться, відносно, на

однакових відстанях, що свідчить про швидкий перехід до плавного пропікання заготовки, а відсутність великих різниць температур між точках у часі 20 с, 25 с, 30 с свідчать про рівномірність пропікання вже в середині процесу.

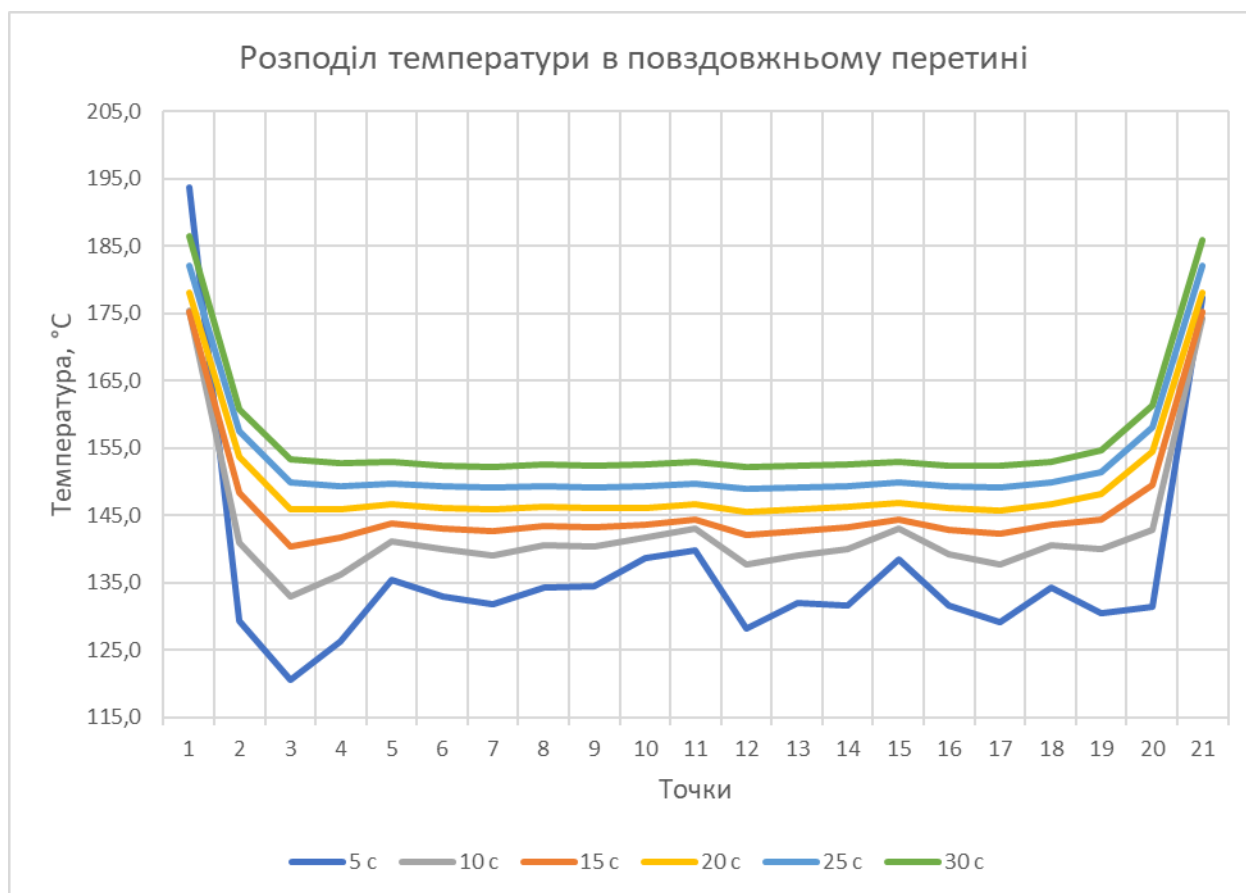


Рисунок 4.10 — Пшеничні висівки. Розподіл температури в різних точках повздовжнього перетину

На відміну від зразку, до складу якого входив камедь, середня температура на 5 с в зразку, який має у своїй рецептурі пшеничні висівки, менша за контрольного і складає $-0,3^{\circ}\text{C}$. Різниці середніх температур до 25 с, включно, не перевищує 1°C і складають $0,1^{\circ}\text{C}$, $0,4^{\circ}\text{C}$, $0,6^{\circ}\text{C}$, $0,7^{\circ}\text{C}$, відповідно. Проте, з 25 с до 30 с відбувається різкий скачок різниці температури, який дорівнює 2°C , тобто різниця складає $2,7^{\circ}\text{C}$.

Отримані результати дослідження поперечного перетину вказані (Рисунку 4.11) подібні до результатів повздовжнього перетину, різниця між ними у кожній часовій точці дорівнює $0-0,1^{\circ}\text{C}$.

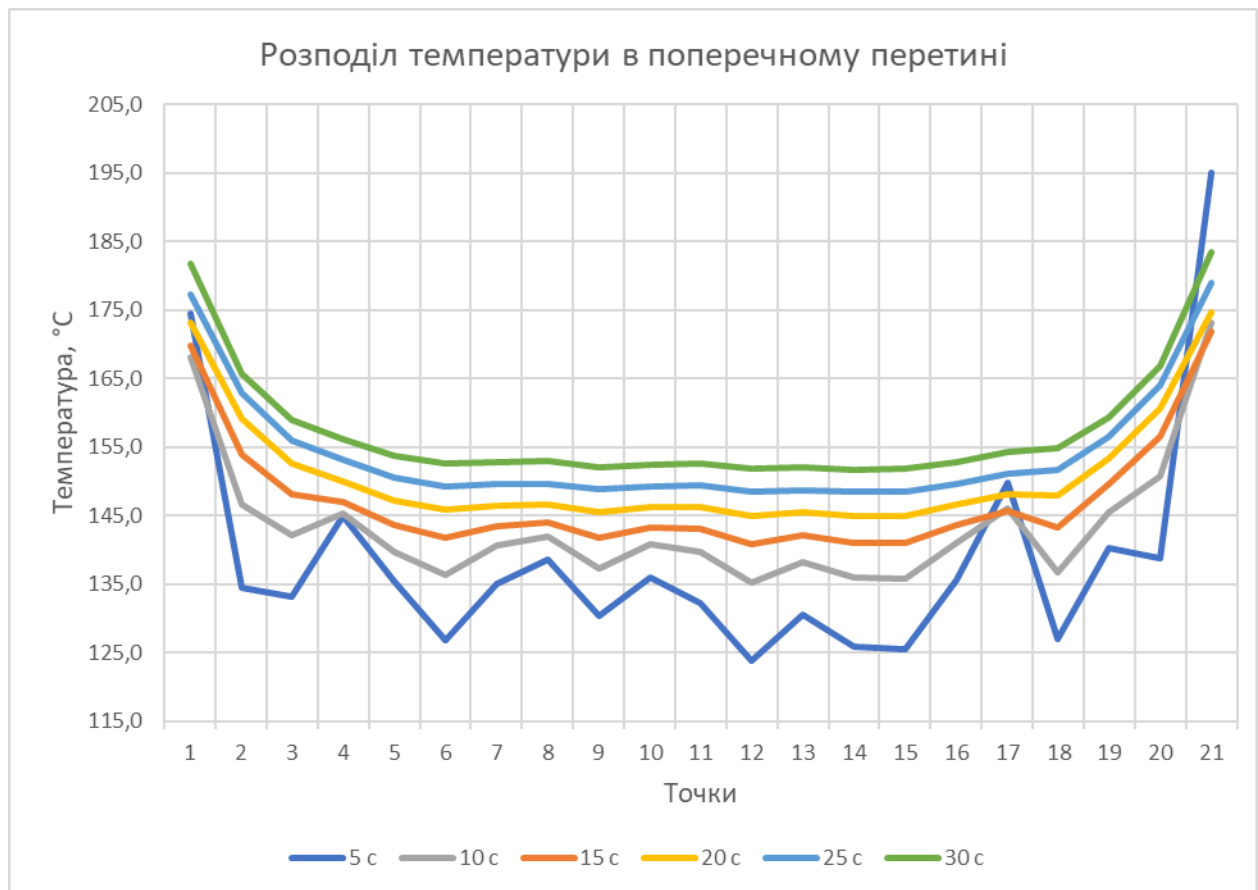


Рисунок 4.11 — Пшеничні висівки. Розподіл температури в різних точках поперечного перетину

На Рисунку 4.12 спостерігається схожа тенденція з контрольним зразком і немає більш плавного перебігу як у зразку з додаванням камеді.

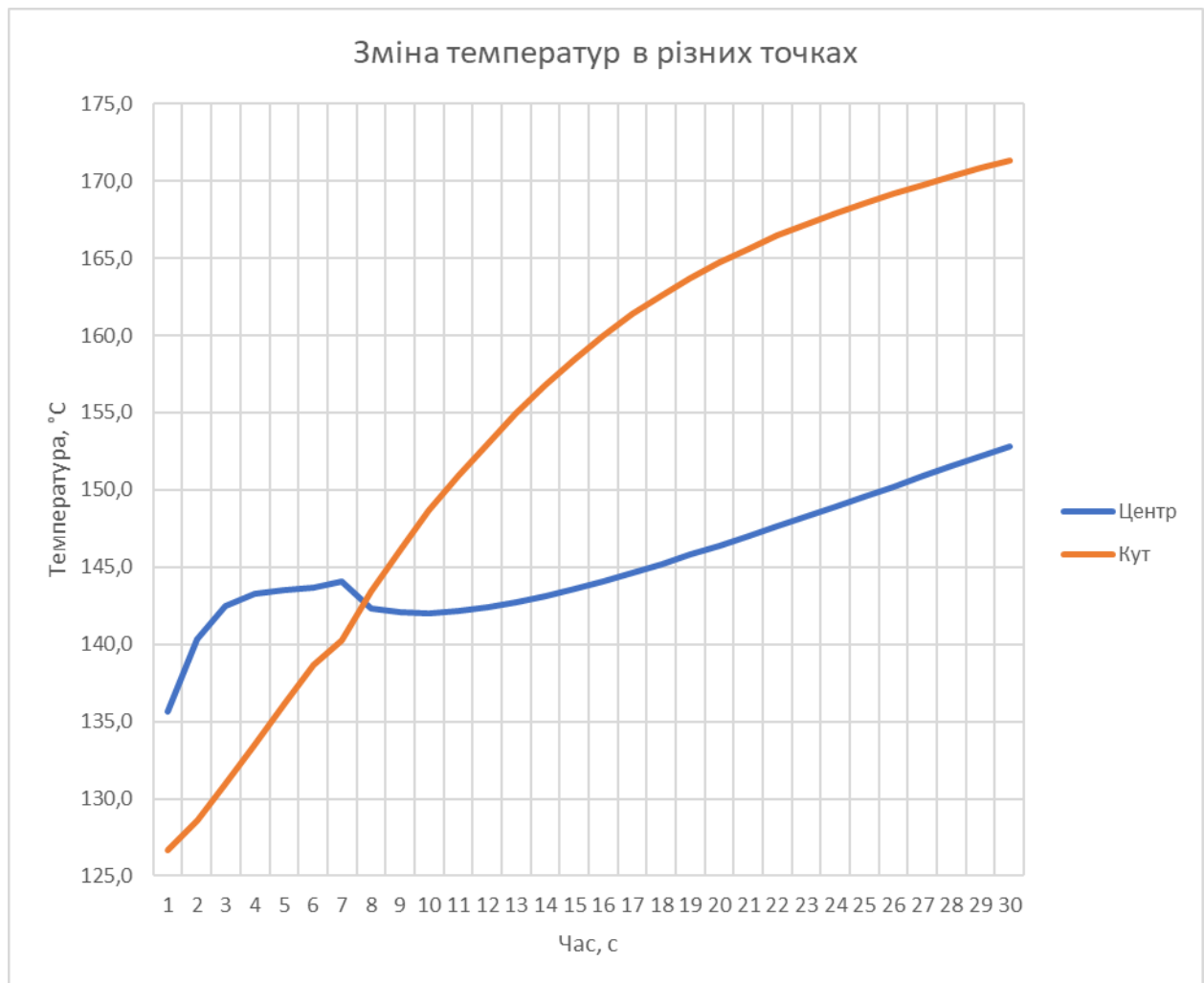


Рисунок 4.12 — Пшеничні висівки. Зміна температури з часом, в центрі та куті заготовки

Різниця температур у куті складає 2,95 °C, а у центрі — 2,8 °C.

4.1.4. Четвертий сценарій. Вірменський лаваш з використанням пшенично-вівсяного борошна

За четвертим сценарієм в моделі було використано тепло-фізичні характеристики, що відповідають вірменському лавашу з використанням пшенично-вівсяного борошна у рецептурі.

Параметри заготовки:

- густина: 985 кг/м³
- коефіцієнт теплопровідності (в залежності від температури):

Температура, °С	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/см·К
30	0,0023
36	0,0032
55	0,00345
77	0,00351
92	0,00411
98	0,00576
101	0,006

- теплоємність (в залежності від температури):

Температура, °С	Теплопровідність, Дж/г·К
30	1,63
36	1,78
55	2,57
77	3,87
92	4,03
98	5,65
101	6,01

На Рисунку 4.13 вказані результати загального пропікання заготовки, рецептура якої має пшенично-вівсяне борошно.



Рисунок 4.13 — Пшенично-вівсяне борошно. Залежність температури лавашу від часу нагріву

Процес відбувається характерно для випікання. Різниця температури з контрольним зразком в кінці процесу складає 3,16 °C.

Отримані результати з дослідження повздовжнього перетину зразку з пшенично-вівсяного борошна вказані на Рисунку 4.14, на якому спостерігається велика різниця температури з контрольним зразком на 30 с, яка є найбільшою в порівнянні з іншими зразками зміненої рецептури. Ця різниця складає 7,3 °C.

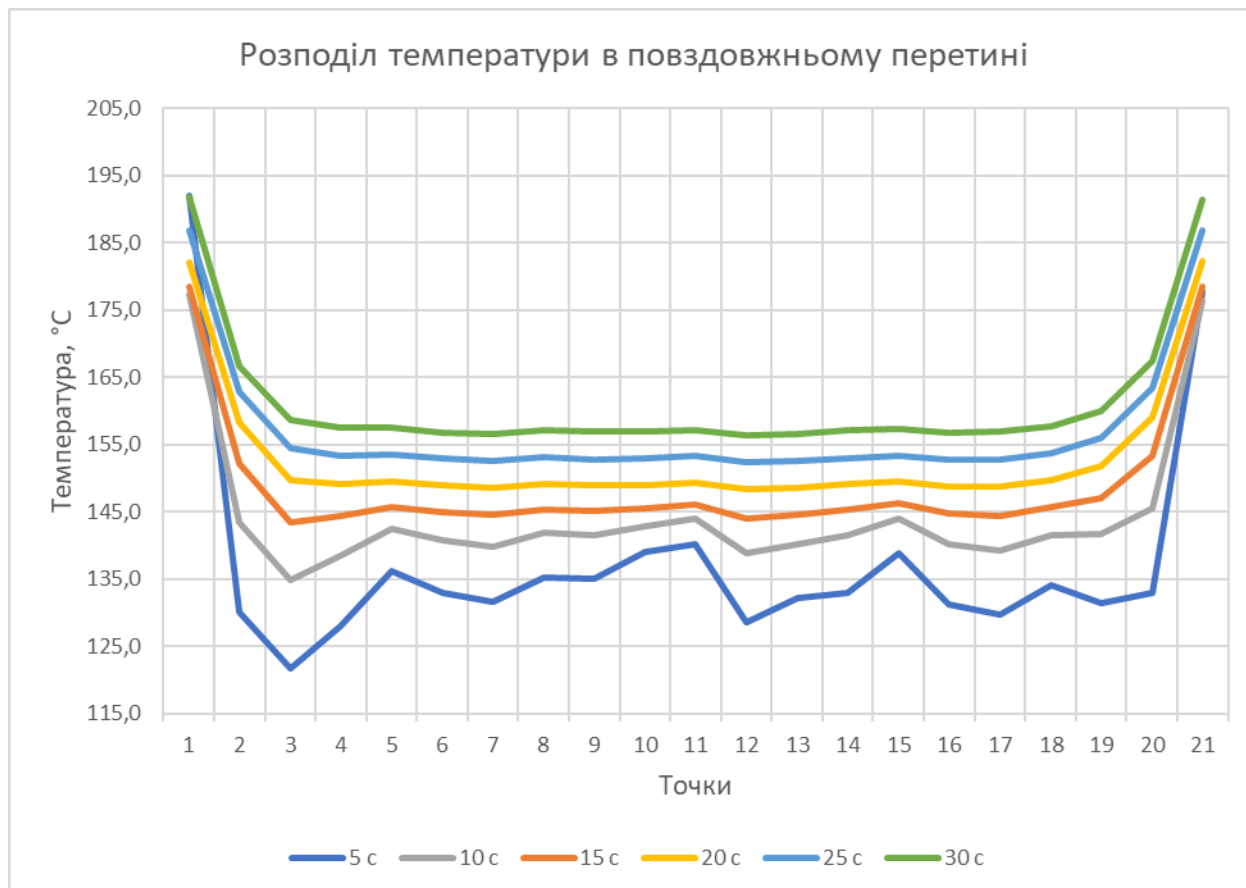


Рисунок 4.14 — Пшенично-вівсяне борошно. Розподіл температури в різних точках повздовжнього перетину

Згідно отриманих результатів дослідження поперечного перетину (Рисунок 4.15), суттєвих різниць з повздовжнім перетином немає.

Середня температура цих двох перетинів для 5 с, 10 с, 15 с, 20 с, 25 с та 30 с складає 0,24 °C, 1,51 °C, 2,64 °C, 3,71 °C, 4,7 °C, 7,44 °C, відповідно.

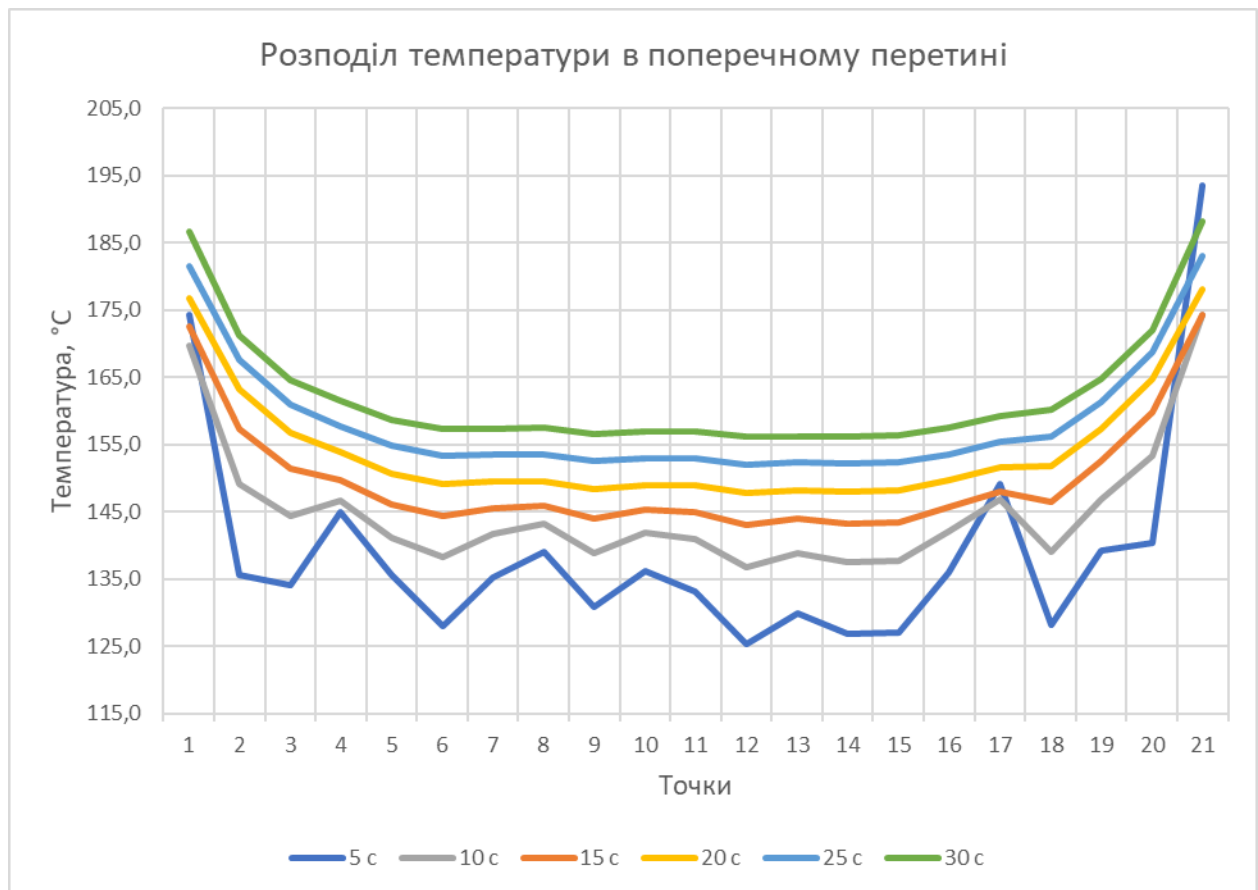


Рисунок 4.15 — Пшенично-вівсяне борошно. Розподіл температури в різних точках поперечного перетину

На Рисунку 4.16 можна побачити, що крива, яка описує результати розрахунку температури в центрі заготовки, співпадає з кривою зразка, до якого додавали камедь.

Різниця температур між зразком з пшенично-вівсяного борошна і контрольним зразком, в кінці процесу, у куті складає 9,8 °С, а у центрі — 7,3°С.

Більш детально оглянути та порівняти інтегровані результати на Рисунку 4.17, Рисунку 4.18, Рисунку 4.19 та Рисунку 4.20.

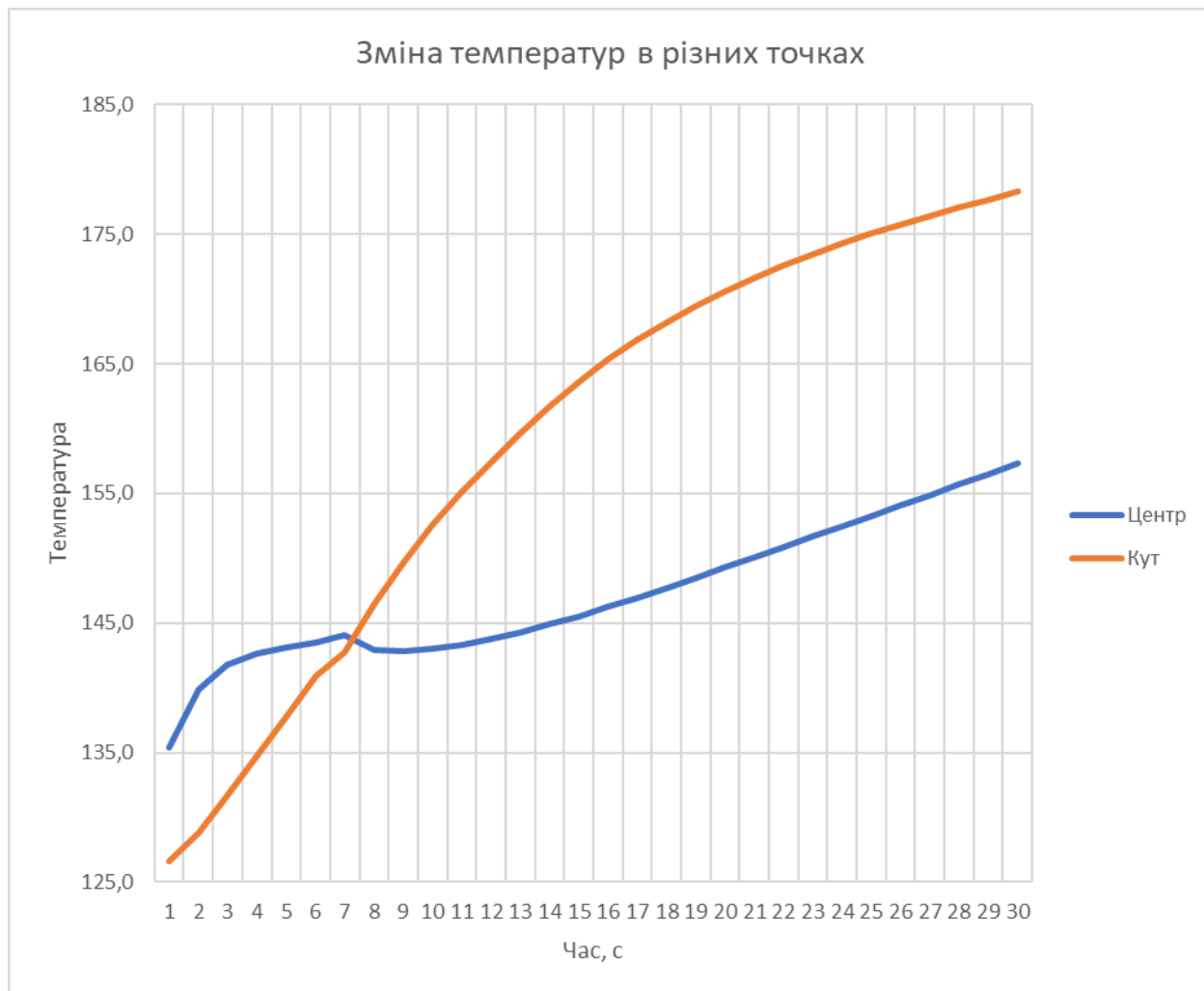


Рисунок 4.16 — Пшенично-вівсяне борошно. Зміна температури з часом, в центрі та куті заготовки

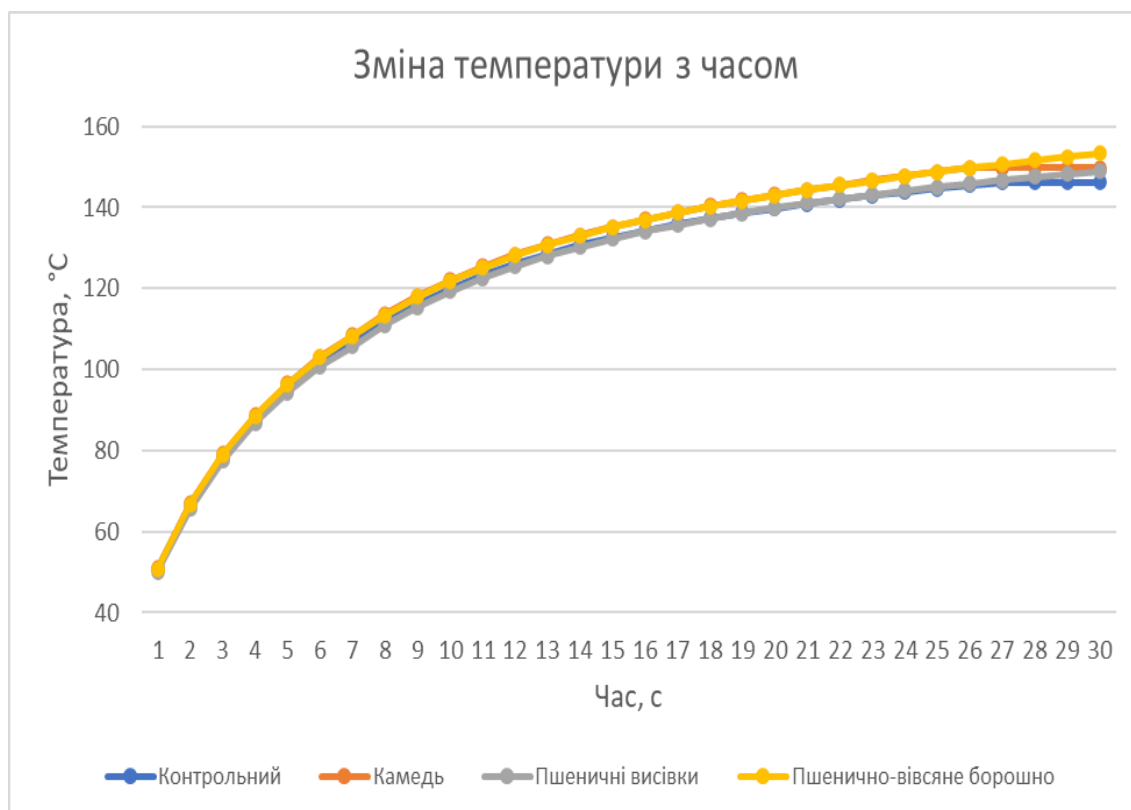


Рисунок 4.17 — Інтегровані результати. Залежність температури лавашу від часу нагріву

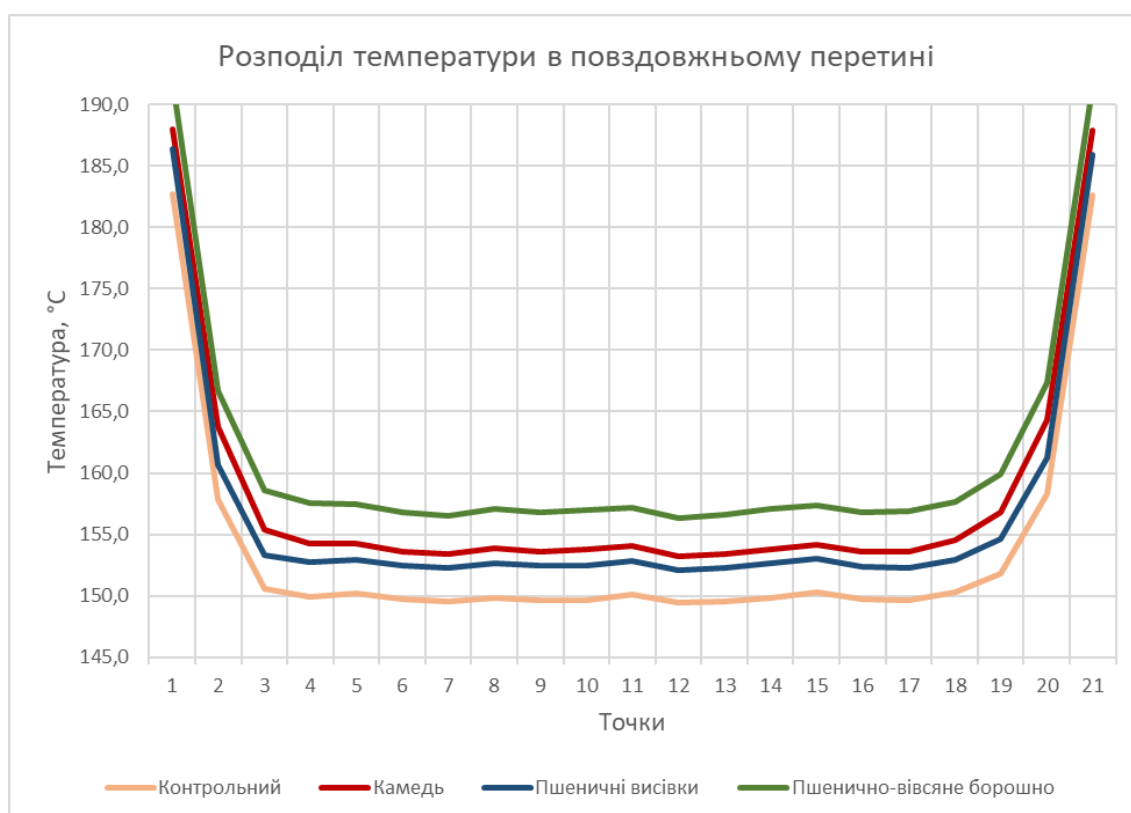


Рисунок 4.18 — Інтегровані результати. Розподіл температури в різних точках повздовжнього перетину (30 с)

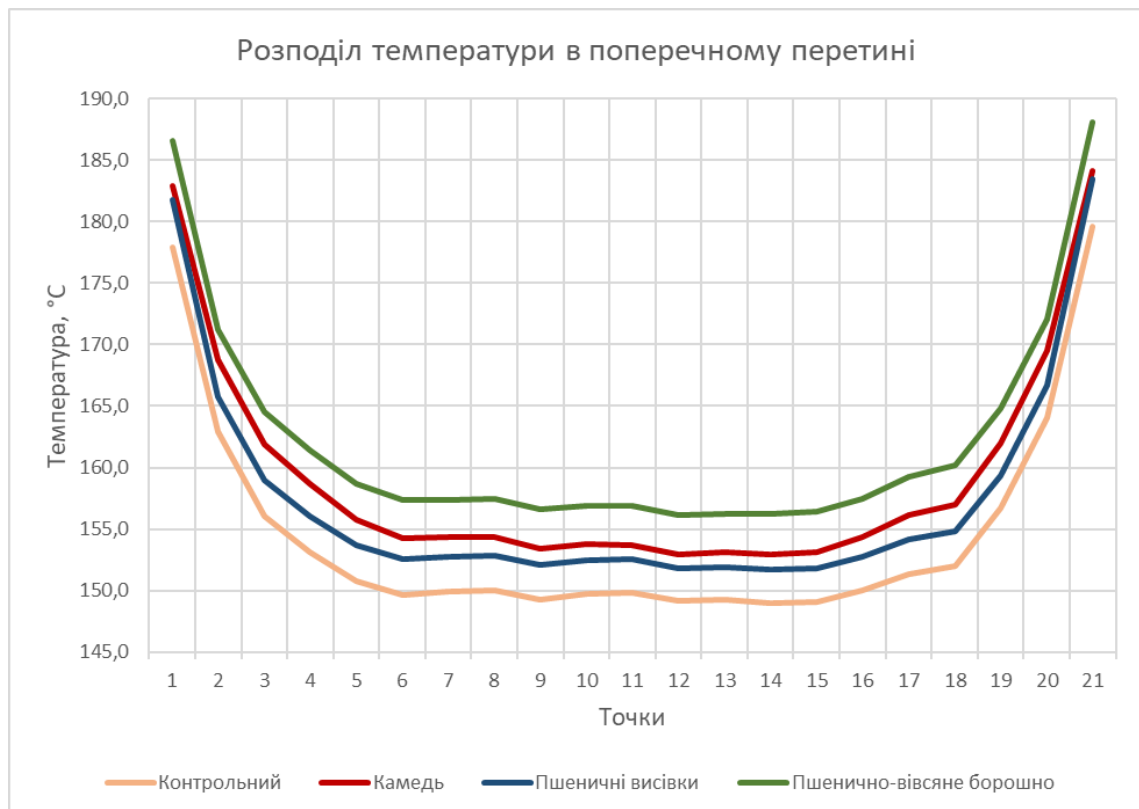


Рисунок 4.19 — Інтегровані результати. Розподіл температури в різних точках поперечного перетину (30 с)

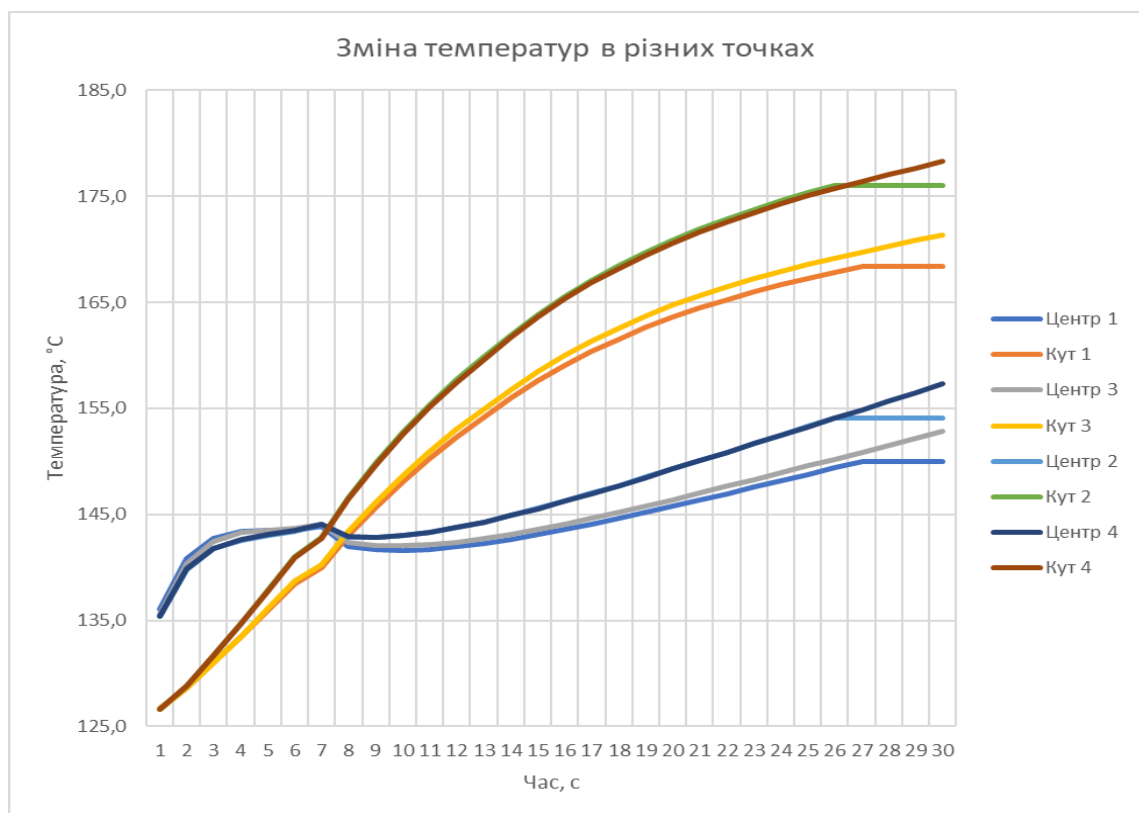


Рисунок 4.20 — Інтегровані результати. Зміна температури з часом, в центрі та куті заготовки

4.2. Обґрунтування отриманих основних наукових, практичних та соціальних результатів досліджень з точки зору достовірності, наукової та практичної цінності

Температурний режим випікання кожного виду виробів має свої особливості, на які також впливають сорт і хлібопекарські властивості борошна, рецептура тіста, тривалість кінцевого вистоювання, щільність завантаження пода печі, її конструкція та ін. Тривалість випікання виробів одного і того ж сорту не тільки в різних печах, а і в однакових може бути різною, що пояснюється різними тепловими і зволожувальними режимами, а також в якійсь мірі зміною якості сировини і тіста.

З огляду на те, що дослідження лавашу не так поширене, як дослідження хлібу — кожне його дослідження має вищу цінність за цінність другого. Отримані результати освітлюють різницю в процесі випікання лавашу, між оригінальним рецептом і рецептами з пшенично-вівсяного борошна та з додаванням таких добавок як пшеничні висівки та камеді. Визначена необхідність регулювання параметрів процесу, таких як температура або час перебування у печі.

Використання пшенично-вівсяного борошна, пшеничних висівок, камеді, а також інших продуктів зумовлене поліпшенням/підвищенням харчової цінності готового продукту, що є важливим соціальним чинником. На даний час, суспільство потребує харчові продукти з кращою харчовою цінністю з оглядом на те, що все більше людей прагнуть харчуватися більш здоровою їжею.

Дане дослідження було спрямоване на: вивчення зміни параметрів тіста, які впливають на процес випікання, зі зміною рецептури; зміни в самому процесі випікання; виявлення різниці в показниках та надання порад по зміні параметрів процесу. Дослідження було експериментальним з

використанням програмного забезпечення Autodesk CFD, отримані результати вказали на те, що процес відбувався характерно для випікання хлібопекарського виробу, температури на виході з печі збігалися з реальними, тож можна сказати, що результати достовірні, а отже мають цінність для ознайомлення та подальшого використання, за потреби, у більш складних та детальних дослідженнях.

4.3. Висновки

Отримані результати вказали на те, що усі розглянуті зміни в рецептурі вплинули на процес випікання таким чином, що заготовки нагрівалися більше ніж це було необхідно, так як процес випікання контрольного зразка являє собою еталоном при якому готова продукція має найбільш оптимальні параметри пропікання, вологості всередині та ін.

Найбільш наближеним по процесу випікання був третій зразок з рецептурою до якого додавалися пшеничні висівки, його температура була більшою на 1,8% в кінці процесу і на 0,03% загальної середньої температури протягом усього процесу, а найбільш віддаленим — четвертий, в рецептурі якого було пшенично-вівсяне борошно, його температура була більшою на 4,9% в кінці процесу і на 2,38% загальної середньої температури протягом усього процесу. Тобто, можна підтвердити, що вид борошна впливає на процес випікання більше, ніж добавки.

Отже, для того аби використовувати розглянуті рецептури, необхідно змінити параметри процесу, а саме температуру в печі та(або) час перебування заготовки всередині печі приблизно на 5-10 секунд в залежності від рецептури. Підбір цих параметрів вартий окремого дослідження, бо вирішення цього питання не є прямим, так як при різних температурах, процеси відбуваються по різному і немає абсолютно прямо пропорційної залежності. Так само і з часом перебування заготовки у печі, процесам потрібен певний час, аби вони відбулися коректно.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Багато приміщень на харчових підприємствах характери характеризуються значними тепловиділеннями (котельні; приміщення печей, сушарок, випарних станцій; варильні відділення тощо). Джерелами теплоти (інфрачервоного випромінювання) є переважна більшість виробничих процесів, поверхні обладнання, паропроводи, газоходи, відкрите полум'я. Теплота виділяється при нагріванні матеріалів, переході електричної енергії у теплову, при терті рухомих частин машин тощо. В теплий період року додається ще й теплота сонячного випромінювання. Проте й саме інфрачервоне випромінювання застосовують в установках для обробки молока, сушіння цукру та сиру, виготовлення хлібобулочних виробів, стерилізації та обігрівання.

Існують також виробництва, де використовують знижені температури повітря (наприклад, на багатьох стадіях технологічного циклу в м'ясній і молочній галузях харчової промисловості повинна підтримуватися температура 277...285 К) та низькі температури (холодильні приміщення, камери з температурами нижче 273 К для зберігання продуктів, які швидко псуються).

Фізіологічні процеси в організмі проходять нормально при тепловому балансі людини з навколишнім середовищем. Здатність людини переносити зміни температури, як і її тепловідчуття значною мірою залежить від параметрів мікроклімату навколишнього середовища. Значні відхилення цих параметрів приводять до зміни теплового балансу організму та таких його фізіологічних функцій, як терморегуляція, обмін речовин, робота серцево-судинної та нервової систем. Тривала дія на організм людини

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	210747.KP.01.005 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4	

несприятливих метеорологічних умов (високих або низьких температур повітря, значних теплових випромінювань) порушує терморегуляцію, різко погіршує самопочуття внаслідок перегріву чи переохолодження організму, знижує продуктивність праці, призводить до захворювань та втрати працездатності.

Особливо несприятливо впливає на самопочуття людини надлишкова теплота навколишнього середовища. Тривала дія високої температури повітря посилює діяльність серцево-судинної та дихальної систем, спричиняє втрату значної кількості вологи та мінеральних солей, а в окремих випадках – і тепловий удар. Тепловий удар супроводжується втратою свідомості, частішанням пульсу та дихання, підвищеною температурою тіла (до 39 °C).

При низьких температурах повітря поверхня тіла людини віддає теплоту навколишньому середовищу і тим інтенсивніше, чим більше між ними різниця температур. Виробничі процеси, що відбуваються при знижених та низьких температурах, можуть бути причинами охолодження і навіть переохолодження організму. При низьких температурах відбувається звуження кровоносних судин шкіри, зменшення припливу крові до неї, зниження температури шкіряного покриву та внутрішніх органів, виникає м'язове тремтіння, дихання стає неритмічним, частота і об'єм вдиху збільшуються, змінюється вуглеводний обмін.

Результатом дії низьких температур є травми (відмороження), захворювання м'язових та суглобних органів тощо. У виробничих приміщеннях передача теплоти здійснюється в основному конвекцією та випромінюванням. Передача теплоти конвекцією залежить від форми і температури поверхні нагрітого тіла та від температури і швидкості руху навколишнього повітря. Передача теплоти випромінюванням залежить від температури поверхні та ступеня чорноти тіла (темні шорсткі поверхні випромінюють теплоти більше, ніж гладкі, блискучі). Дослідження

показують, що не менше 60% усієї витрачуваної теплоти поширюється у навколишнє середовище шляхом інфрачервоного випромінювання.

Потоки теплових випромінювань складаються, головним чином, з інфрачервоних променів, які охоплюють область спектра з довжиною хвилі в межах 0,76...740 мкм. Інфрачервоне випромінювання поділяється на короткохвильове з довжиною хвилі 0,76...1,4 мкм великої проникності через довгохвильове - з довжиною хвилі понад 1,4 мкм, які більшою частиною поглинаються в епідермісі.

Довгохвильові інфрачервоні випромінювання впливають на функціональний стан центральної нервової та серцево-судинної системи (стає частішим пульс та дихання, змінюється артеріальний тиск, підвищується температура тіла, посилюється потовиділення), що призводить до серцевосудинних захворювань та захворювань органів травлення. Крім того, вони можуть спричиняти опіки шкіри та патологічні зміни в органах зору (кон'юнктивіти, помутніння рогівки та кришталика).

Інтенсивна дія короткохвильових інфрачервоних випромінювань може спричинити сонячний удар (запаморочення, частішання пульсу та дихання, порушення координації рухів, важке ураження мозку, втрата свідомості) та привести до катаракти очей.

Методи захисту людини від температурних впливів та теплового випромінювання можна умовно поділити на загальні, які забезпечують спільний захист від цих шкідливостей, та окремі, що забезпечують захист від однієї з них. Основні методи захисту - усунення високотемпературних джерел теплоти; теплоізоляція та охолодження гарячих поверхонь; екранування; застосування вентиляції, повітряних оазисів та душування; засоби індивідуального захисту; організація раціонального режиму праці і відпочинку.

Усунення високотемпературних джерел можливо при зміні технології, скороченні довжини паропроводів і газоходів, механізації, автоматизації та

дистанційному управлінні виробничими процесами тощо. Для зменшення кількості надлишкової теплоти, що надходить у приміщення від обладнання, зовнішні поверхні його покривають теплоізоляційними матеріалами. Теплова ізоляція є ефективним та самим економічним засобом щодо зменшення не тільки інтенсивності інфрачервоного випромінювання від нагрітих поверхонь (печі, апарати, трубопроводи та ін.), але й загальних тепловиділень, а також щодо запобігання опікам при дотиканні до цих поверхонь та скорочення витрат палива. Температура на поверхні обладнання не повинна перевищувати 45 °С, а в приміщеннях із пожежо- та вибухонебезпечним середовищем - 35 °С (за протипожежними нормами).

Інфрачервоні промені мало поглинаються повітряним середовищем і при досягненні поверхні інших тіл перетворюються на теплову енергію. Тому вентиляція і навіть кондиціонування повітря не захищають від променистої теплоти. Захист від прямої дії теплових випромінювань здійснюється, в основному, екрануванням - установленням термічного опору на шляху теплового потоку. Екрани бувають відбивні та поглинальні.

Відбивні екрани виготовляють із алюмінію, жерсті, цегли та інших матеріалів.

6. МАРКЕТИНГОВЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Проект був орієнтований на потреби суспільства в харчовій галузі. Є потреба в поліпшенні харчової цінності продуктів, так як збільшується попит на здорове харчування. Все більше людей прагнуть отримувати від їжі якомога більше користі для покращення стану здоров'я, самопочуття.

Одним з напрямів поліпшення харчової цінності продукту є додавання до оригінального рецепту добавки або використання більш корисних та якісної сировини. У проекті розглядались пшенично-вівсяне борошно та такі добавки як пшеничні висівки та гідроколоїди. Вони якісно впливають на харчову цінність продукту, проте для цього необхідно налаштовувати процес виробництва готової продукції так, аби під час нього залишалось якомога більше цінного впливу на продукт.

В майбутньому, харчова продукція, яка має низьку харчову цінність поступово буде зникати і на її місці буде продукція, яка має більшу цінність з точки зору здоров'я, вартість якої буде менша, та процес виробництва легше.

Зважаючи на тенденцію переходу до продуктів з вищою харчовою цінністю, можна вважати, що харчовій галузі необхідно якомога швидше створювати таку продукцію, в якій суспільство буде зацікавлено більше, в даному випадку це продукція з кращою харчовою цінністю. Незважаючи на те, що така продукція зараз може коштувати дорожче — люди віддають перевагу їй.

Отже, можна припустити, що якщо процес виробництва та сировина для виробництва харчового продукту з вищою харчовою цінністю буде коштувати підприємствам більше, ніж для звичних, можна буде отримати більший прибуток через соціальну важливість такої продукції та готовність суспільством купляти дорожче, але корисніше.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва 6. МАРКЕТИНГОВЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	210747.KP.01.006 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1	

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі було проаналізовано 3 дослідження, в яких вивчався вплив на властивості тіста таких добавок як пшеничні висівки та гідроколоїди, а також пшенично-вівсяне борошно.

Проаналізувавши дані були виявлені параметри, необхідні для розрахунків, які відбувалися в симуляційному середовищі програми Autodesk CFD. Це були такі властивості тіста як густина, коефіцієнт теплопровідності та теплоємність. Для тіста: оригінальної рецептури це 1100 кг/м^3 , $0,003\text{--}0,00637 \text{ Вт/см}\cdot\text{К}$, $2\text{--}6,52 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$, відповідно; з додаванням гідроколоїдів (камедь) це 1020 кг/м^3 , $0,0029\text{--}0,00634 \text{ Вт/см}\cdot\text{К}$, $1,73\text{--}6,22 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$, відповідно; з додаванням пшеничних висівок це 1064 кг/м^3 , $0,0027\text{--}0,00618 \text{ Вт/см}\cdot\text{К}$, $1,95\text{--}6,43 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$, відповідно; з використанням пшенично-вівсяного тіста це 985 кг/м^3 , $0,0023\text{--}0,006 \text{ Вт/см}\cdot\text{К}$, $1,63\text{--}6,01 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$, відповідно.

Сучасні методи дослідження практичного напрямлення, експерименти якого виконуються на реальних пристроях з реальними зразками являють собою дослідження з використанням нового обладнання, яке швидко та точно може визначити параметри, якість, реологічні властивості тіста, борошна. Для дослідницької роботи, експерименти якого відбуваються на змодельованих в комп'ютері умовах, виконуються з останніми версіями програмного забезпечення, яке дає змогу наблизитись до результатів, які були б отримані з експериментів практичного напрямлення.

Використовуючи програмне забезпечення Autodesk Inventor було побудовано модель печі, в якій проводилися дослідження процесу випікання лавашу з різною рецептурою в Autodesk CFD. Завдяки Autodesk CFD є можливим проводити дослідження різних сценаріїв, де використовуються ті самі умови, змінюючи лише деякі параметри, у випадку цього дослідження,

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва ВИСНОВКИ	210747.KP.01.000 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

змінювались густина, коефіцієнт теплопровідності та теплоємність зразка. Було створено 4 сценарії, де першому відповідав лаваш оригінальної рецептури, інші 3 були зі зміненою рецептурою.

Проаналізувавши отримані результати було виявлено, що обидві добавки вплинули на перебіг процесу менше, ніж використання пшенично-вівсяного борошна в рецептурі. Найбільш наближеним результатом до контрольного зразка був зразок з пшеничними висівками, його температура була більшою на 1,8% в кінці процесу і на 0,03% загальної середньої температури протягом усього процесу, а найбільш результати від контрольного зразка був зразок з використанням пшенично-вівсяного борошна, його температура була більшою на 4,9% в кінці процесу і на 2,38% загальної середньої температури протягом усього процесу.

Для виконання наукових досліджень практичного спрямування на базі даного дослідження були описані заходи з охорони праці, які встановлені для роботи у місцях високої та низької температур.

Підвищення якості продукту та поліпшення харчової цінності в харчовому продукті є одним з найбільш пріоритетних напрямків в харчовій галузі, так як суспільство по усьому світу стає більш вимогливим до цих показників з кожним роком. Дослідження направлені на вивчення можливих варіантів вдосконалення сировини та процесів виробництва харчових продуктів для підвищення їх якості та збільшення харчової цінності стає дедалі більш актуальним і економічно прибутково.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Peressini, D. and Sensidoni, A. 2009. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49, 190-201.
2. Hansen, M., Baech S.B., Thomsen, A.D., Tetens, I., and Sandstrom, B. 2005. Long-term intake of iron fortified wholemeal rye bread appears to benefit iron status of young women. *Journal of Cereal Science*, 42, 165-171.
3. Sudha, M.L., Vetrmani, R., and Leelavathi, K. 2007. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100, 1365-1370.
4. Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C., Caballero, P., and Apesteguia, A. 2003. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research Technology*, 216, 51-56.
5. Wang, J., Rosell, C.M., and Benedito de Barbera, C. 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226.
6. Rosell, C.M., Santos, E., and Collar, C. 2010. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab. *European Food Research Technology*, 231, 535–544.
7. Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kuhne, B., Van de Walle, D., Courtens, T.M. and Gellynck, X. 2008. Nutritional value of bread: influence of processing, Food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48, 243-257.
8. Bonnand-Ducasse, M., Della Valle, G., Lefebvre, J., and Saulnier, L. 2010. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *Journal of Cereal Science*, 52, 200-206.
9. Rani, K.U., Prasada Rao, U.J.S., Leelavathi, K., and Haridas Rao, P. 2001. Distribution of enzymes in wheat flour mill streams. *Journal of Cereal Science*, 34, 233-242.
10. Collar, C., Bollain, C., and Rosell, C.M. 2007. Rheological behaviour of formulated bread doughs during mixing and heating. *Food Science Technology International*, 13, 99-107.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Бабко Є. М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бруква О. Ю.	Назва, додаткова назва СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	210747.KP.01.000 ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М. В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

11. Bordes, J., Branlard, G., Oury, F.X., Charmet, G., and Balfourier, F. 2008. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *Journal of Cereal Science*, 48, 569-579.
12. Skendi, A., Biliaderis, C.G., Papageorgiou, M., and Izydorczyk, M.S. 2010. Effects of two barley beta-glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*, 119, 1159-1167.
13. Sedej, I., Mandic, A., Sakac, M., Misan, A., Tumbas, V., and Hadnadev, M. 2011. Assessment of antioxidant activity and rheological properties of wheat and buckwheat milling fractions, *Journal of Cereal Science*, 54, 347-353.
14. Chopin Applicatios Laboratory. 2009. Mixolab applications handbook. Rheological and enzymatic analysis, Villeneuve la Garenne, France.
15. Sullivan, P., O'Flaherty, J., Brunton, N., Arendt, E., and Gallagher, E. 2011. The utilisation of barley middlings to add value and health benefits to white breads. *Journal of Food Engineering*, 105, 493-502.
16. Cayot N. Sensory quality of traditional foods. *Food Chemistry*. 2007; 101(1):154-162.
17. Flander L, Suortti T, Katina K, Poutanen K. Effects of wheat sourdough process on the quality of mixed oatwheat bread. *LWT - Journal of Food Science and Technology*, 2008; 44:656-664.
18. Kupper C. Dietary guidelines and implementation of celiac disease. *Journal of Gastroenterology*, 2005; 128:121-127.
19. Flander L, Salmenkallio-Marttila M, Suortti T, Autio K. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT*, 2007; 40:860-870.
20. Khatkar BS. Dynamic rheological properties and breadmaking qualities of wheat gluten: Effects of urea and dithiothreitol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004; 85:337-341.
21. Asghar, A., Effect of Carboxyl Methyl Cellulose and Gum Arabic on the Stability of Frozen Dough for Bakery Products, 2005, 29,p. 237-241.
22. Ognean, C.F., Darie, N., Ognean, M., Hypocaloric and Hypoglucidic Food – Technological Trends, Alma Mater Publishing House, Sibiu, 2006.
23. Phillips, G. O., and Williams, P. A., Handbook of hydrocolloids, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2000.
24. ASRO. 2008. Metode de analiza a cerealelor si produselor de macinis, SR ISO 2171:2002, SR ISO 21415-2:2007, SR 91:2007, Bucharest

ДОДАТКИ

6. Модернізація валкового екструдера для формування тістових заготовок вірменського лаваша

Олексій Бруква, Євген Бабко, Валентин Олішевський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Загальне технологічне обладнання, що застосовується в хлібопекарської промисловості повинно відповідати наступним вимогам:

- безпечність матеріалу з якого зроблена машина чи апарат, необхідна міцність і можлива довговічність;
- поточність і висока продуктивність;
- легкість в керуванні та управлінні технологічним процесом;
- технологічно оптимальний вплив на продукт, що оброблюється.

Матеріали і методи. Для формування тістових заготовок з ніжною консистенцією використовуються поршневі та валкові екструдери. Різні моделі екструдерів відрізняються конструктивним виконанням елементів, що входять в робочу частину, кількістю робочих камер, наявністю додаткових систем, які розширюють технологічні можливості екструдерів, конструкцією живильників, приводів тощо. Вибір типу нагнітача залежить як від властивостей перероблювальної маси, так і від технологічних вимог до її обробки.

Результати. Процес формування тістових заготовок вірменського лаваша — один з найскладніших технологічних процесів, під час якого розкриваються найрізноманітніші фізико-механічні властивості формуючого матеріалу. Тому конструкторські рішення формуючих машин повністю визначається технологічними властивостями певного середовища. Товщина шару стрічки при безматричному формуванні визначається відстанню між формуючими валками. Проведена модернізація валкового екструдера марки ВЕ-07 дозволила покращити конструктивно-технологічні характеристики обладнання, що дозволяє обслуговувати підшипники без розбору обладнання, полегшує і пришвидшує процес змащення. Така модернізація зменшує простій обладнання у неробочому режимі, в результаті чого валковий нагнітач працює без непередбачуваних зупинок на ремонт вузла. Підвищення продуктивності обраним методом збільшують кількість заготовки з тіста, яка надходить на стрічку, тим самим дає змогу використовувати всю лінію більш ефективно і економічно.

Висновки. Запропонована модернізація валкового екструдера для формування тістових заготовок вірменського лаваша призвела до покращення експлуатації та обслуговування, а саме дозволяє обслуговувати підшипники без розбору обладнання, полегшує і пришвидшує процес змащення, чим зменшує простій обладнання у неробочому режимі.

Література

1. Лісовенко О.Г., Руденко-Грицюк О.А., Литовченко І.М. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробів. Київ: Наукова думка, 2000. 282 с.
2. Новікова О.В. Технологія виробництва хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів: навч. посібник. Київ: Ліра-К, 2017. 540 с.

UDC 664.65

Oleksiy Brukva, master's student

Evhen Babko, PhD, Assoc. Prof.

Valentyn Olishevskiy, PhD, Prof.

National University for Food Technologies, Ukraine

MODERNIZATION OF ROLL EXTRUDER FOR FORMATION OF ARMENIAN LAVASH TEST PREPARATIONS

General technological equipment used in the bakery industry must meet the following requirements:

- safety of the material from which the machine or device is made, the required strength and possible durability;
- current and high productivity;
- ease of management and control of the technological process;
- technologically optimal impact on the processed product.

Piston and roll extruders are used to form dough blanks with a delicate consistency. Different models of extruders differ in the design of the elements included in the working part, the number of working chambers, the presence of additional systems that expand the technological capabilities of extruders, the design of feeders, drives and more. The choice of the type of supercharger depends on both the properties of the processing mass and the technological requirements for its processing.

The modernization of the BE-07 roller extruder has improved the design and technological characteristics of the equipment, which allows to service the bearings without disassembly of the equipment, facilitates and speeds up the lubrication process. This upgrade reduces simple downtime, causing the roller supercharger to operate without unforeseen downtime. Increasing productivity by the chosen method increases the amount of dough from the dough that enters the tape, thus allowing you to use the entire line more efficiently and economically.

Conclusions

The proposed modernization of the roll extruder for forming Armenian pita dough blanks has led to improved operation and maintenance, namely it allows to service bearings without disassembly of equipment, facilitates and speeds up the lubrication process, thus reducing simple equipment in idle mode.

REFERENCES

1. Lisovenko O.T., Rudenko-Hrytsiuk O.A., Litovchenko I.M. Technological equipment for baking and pasta. Kyiv: Naukova Dumka, 2000. 282 p.
2. Novikova O.V. Technology of production of bakery and flour confectionery: textbook. manual.: Kyiv: Lira-K, 2017. 540 p.

UDC 664.1.034.625

Denis Lobanov, undergraduate student

Valentyn Olishevskiy, PhD, Prof., **Evhen Babko**, PhD, Assoc. Prof.

National University for Food Technologies, Ukraine

УДК 664.65

Модернізація формувальної машини тіста вірменського лавашу в лінії АЛ-130

Бруква О.Ю., магістр, Бабко Є.М., к.т.н., Олішевський В.В., д.т.н.
Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

Традиційний процес виробництва лаваша вимагає відточених навичок при формуванні та випічці виробів, а також значних трудовитрат протягом всіх етапів виготовлення.

Незважаючи на простоту приготування, виробництво вірменського лаваша також має свої секрети. Розкатка тіста відбувається в двох напрямках, що необхідно для отримання якісного лаваша. При традиційному виробництві це робиться ручним способом, але при автоматизованому виробництві це вимагає застосування особливих технологій і спеціальних машин.

Відомий вузол подачі тіста формувальної машини містить бункер для завантаження тіста, нагнітальну камеру, виконану з двох рифлених циліндрично-гвинтових валків із постійною по довжині кроком гвинтових ліній, встановлених паралельно з можливістю проходження тіста між ними.

Недоліком вузла нагнітання є конструкція валка, що може обумовлювати проблематику з точки зору гігієнічності процесу під час експлуатації, а саме потрапляння у тісто матеріалів.

Нами була вдосконалена конструкція валу таким чином, аби гігієнічні показники були покращені, безпека для споживача готової харчової продукції була забезпечена згідно вимогам.

Це вирішується тим, що вузол подачі тіста формувальної машини містить бункер для завантаження тіста, нагнітальну камеру, виконану з двох рифлених циліндрично-гвинтових валків із постійним по довжині кроком гвинтових ліній, встановлених паралельно з можливістю проходження тіста між ними.

Нами запропоновано (рис.1) на кромках гвинтових ліній додатково по всій довжині виконати фаски, на переході між робочим валком і підшипниковим вузлом виконати заокруглення, та додатково встановити манжетне ущільнення.

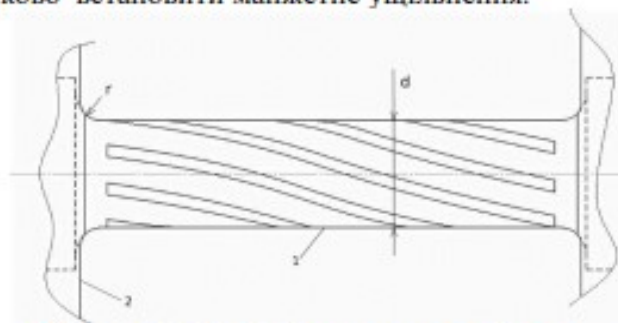


Рисунок 1 - Циліндрично-гвинтовий валок

Висновки. Запропоноване удосконалення конструкції вузлу подачі тіста формувальної машини захищає споживача харчової продукції від негативних наслідків, які могли б бути присутні при споживанні готової продукції з забруднювачами, такими як: відломлені частинки валів, змащувальний матеріал, речовини та бактерії, які утворилися в «мертвих» зонах.

Література

- Лісовенко О.Т., Руденко-Грицюк О.А., Литовченко І.М. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробів. Київ: Наукова думка, 2000. 282 с.
- Новікова О.В. Технологія виробництва хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів: навч. посібник. Київ: Ліра-К, 2017. 540 с.

№ 4-033

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



ДИПЛОМ

**ПЕРШОГО СТУПЕНЮ
НАГОРОДЖУЄТЬСЯ**

Бруква Олексій

**УЧАСНИК XI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ВЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ**

**«НАУКОВІ ЗДОБУТКИ У ВИРІШЕННІ АКТУАЛЬНИХ ПРОБЛЕМ
ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРЕРОБКИ СИРОВИНИ,
СТАНДАРТИЗАЦІЇ І БЕЗПЕКИ ПРОДОВОЛЬСТВА»**

12-13 травня 2022 року, м. Київ

Проректор з наукової роботи
та інноваційної діяльності
НУБІП/України, к.с.-г.н., доцент
В.М. Кондратюк



ГРАМОТА

НАТОРОДЖУЄТЬСЯ

студент

Національного університету
харчових технологій

**Бруква Олексій
Юрійович**

за участь

у I турі Всеукраїнського конкурсу
студентських наукових робіт з
галузей знань і спеціальностей у 2021/2022
навчальному році за спеціальністю
«Галузеве машинобудування»

Ректор
НУХТ

Олександр ШЕВЧЕНКО

23 червня 2022 р.