



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
НОВИ САД**



**мр Јелена Додић**

**ОПТИМИЗАЦИЈА ТЕХНОЛОШКОГ ПОСТУПКА  
ПРИПРЕМЕ КВАСНОГ ТЕСТА ЗА ЗАМРЗАВАНЕ  
ПЕКАРСКЕ ПРОИЗВОДЕ**

**докторска дисертација**

Нови Сад, 2007. год.

## САДРЖАЈ

<b>1. УВОД .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА .....</b>	<b>2</b>
<b>3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ .....</b>	<b>3</b>
3.1. Производња хлеба.....	3
3.2. Сировине за производњу хлеба.....	3
3.2.1. Основне сировине .....	4
3.2.1.1. Брашно.....	4
3.2.1.2. Квасац.....	6
3.2.1.3. Вода.....	7
3.2.1.4. Кухињска со.....	8
3.2.2. Додатне сировине .....	8
3.2.2.1. Шећери.....	8
3.2.2.2. Липиди.....	8
3.2.3. Адитиви .....	9
3.2.3.1. Оксидо-редукциона средства.....	9
3.2.3.2. Површински активне материје.....	9
3.2.3.3. Ензимски препарти.....	10
3.2.3.4. Хидроколоиди.....	10
3.3. Технолошки поступак производње хлеба од замрзавног теста.....	14
3.3.1. Мешење .....	14
3.3.2. Обрада теста.....	16
3.3.3. Ферментација теста пре замрзавања.....	16
3.3.4. Замрзавање и складиштење замрзнутог теста .....	17
3.3.4.1. Физичке промене у тесту током замрзавања.....	17
3.3.4.2. Хемијске и биохемијске промене у тесту током замрзавања и складиштења замрзнутог теста.....	18
3.3.4.3. Техника замрзавања теста.....	23
3.3.4.4. Техника складиштење .....	24
3.3.5. Паковање .....	25
3.3.6. Одмрзавање.....	26
3.3.7. Ферментација теста након одмрзавања.....	27
3.3.8. Печење .....	27
3.3.9. Чување хлеба .....	28
3.4. Нумеричко решавање математичких модела замрзавања и одмрзавања.....	29

<b>4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ.....</b>	<b>31</b>
4.1. Материјал	31
4.1.1. Брашно.....	31
4.1.2. Квасац.....	31
4.1.3. Вода.....	31
4.1.4. Со.....	31
4.1.5. Додаци.....	31
4.2. Методе рада.....	32
4.2.1. Анализе квалитета брашна.....	32
4.2.2. Анализе квасца.....	32
4.2.3. Поступак припреме замрзнутог теста и од њега добијеног готовог производа.....	32
4.2.3.1. Избор комерцијалног квасца оптималних карактеристика.....	32
4.2.3.2. Процена времена замрзавања и одмрзавања у дефинисаним условима.....	34
4.2.3.3. Испитивање квалитета замрзаног теста са додатком хидроколоида и од њега добијеног готовог производа.....	36
4.2.4. Испитивање активности пекарског квасца.....	39
4.2.5. Испитивање квалитета теста.....	39
4.2.6. Оцена квалитета готових пекарских производа.....	40
4.2.6.1. Показатељи квалитета целог хлеба.....	41
4.2.6.2. Показатељи квалитета средине хлеба.....	41
4.2.6.3. Показатељи квалитета коре хлеба.....	41
4.2.7. Статистичке методе и програмски пакети.....	42
<b>5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....</b>	<b>43</b>
5.1. Избор комерцијалног квасца оптималних карактеристика.....	43
5.1.1. Анализа квалитета сировина.....	43
5.1.2. Резултати ферментографске и матурографске анализе.....	45
5.2. Процена времена замрзавања и одмрзавања у дефинисаним условима.....	48
5.2.1. Анализа квалитета сировина.....	49
5.2.2. Испитивање режима замрзавања.....	50
5.2.3. Фитовање експерименталних података.....	53
5.2.4. Испитивање ферментативне активности квасца.....	60
5.3. Испитивање квалитета замрзаног теста са додатком хидроколоида и од њега добијеног готовог производа - замес са константном количином воде.....	62
5.4. Испитивање квалитета замрзаног теста са додатком хидроколоида и од њега добијеног готовог производ - замес са константном конзистенцијом теста.....	71
5.4.1. Анализа квалитета сировина.....	72
5.4.2. Резултати испитивања активности пекарског квасца.....	73
5.4.3. Резултати испитивања квалитета теста.....	77
5.4.4. Оцена квалитета готовог пекарског производа.....	91
<b>6. ЗАКЉУЧЦИ.....</b>	<b>103</b>
<b>7. ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>105</b>

## 1. УВОД

Хлеб је кроз векове саставни део трпезе свих слојева друштва. Обзиром на садржај протеина, липида, угљених хидрата, целулозе, минералних материја и витамина њиме се задовољавају енергетске потребе организма као и потребе за појединим хранљивим материјама. Ипак, за конзумента су најчешће, од највећег значаја сензорне карактеристике хлеба.

Свеж хлеб, доброг квалитета, се одликује руменом и хрскавом кором, пријатном аромом, добрим карактеристикама при сечењу, меком и еластичном текстуром средине и влажним укусом. Међутим, квалитет пекарских производа у великој мери зависи од времена које протекне између печења и конзумирања (Vargenas i dr., 2003). Током складиштења хлеба на собној температури хрскава кора постаје влажна и кожаста, док мека средина постаје тврда и крта. Пријатна арома се, такође губи неколико часова након печења. Да би конзументи били снабдевени производима задовољавајућег квалитета пекарска индустрија је принуђена на рад у току ноћи или у раним јутарњим часовима. У индустријским размерама, проблем представља и транспорт свежих производа из великих аутоматизованих постројења до продајних места (Inoue i Bushuk, 1991).

Замешени и обликовани замрзнути пекарски производи, од којих се лако и брзо могу добити свежи крајњи производи, предложени су као решење за постојеће проблеме традиционалног пекарства (Vargenas i dr., 2003). Поступак производње хлеба од замрзаваног теста захтева континуирану расположивост потребних сировина и поседовање одговарајуће опреме.

Предности процеса производње хлеба од замрзаваног теста подразумевају побољшање услова рада и смањење трошкова јер се дуг процес производње дели на два независна дела, добијају се производи веће трајности, олакшава се дистрибуција, смањују се губици услед бацања старог хлеба (Naito i dr., 2004), а потрошачи су у сваком тренутку снабдевени свежим производима.

Поред значајних предности овај поступак има и недостатке који се огледају у сиромашнијем квалитету хлеба у односу на хлеб добијен традиционалним поступком (мања запремина, брже старење, слабије изражена арома), губитку стабилности теста услед вишеструког замрзавања/одмрзавања током транспорта и варирању карактеристика готовог производа (Sharadanant i Khan, 2003b).

Због свих наведених предности и недостатака, ова област је и данас актуелна, обзиром да су и поред опсежних истраживања многе појединости процеса производње остале неразјашњене.

## 2. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА

Савремено пекарство у нашој земљи, још увек, у највећој мери подразумева производњу хлеба и пекарских производа *in situ*. Припрема пекарских производа у кућним условима своди се, готово искључиво, на мешање према традиционалном моделу. Овакво понашање пекара и потрошача делимично је последица навика, али и изузетно лоше снабдевености нашег тржишта замрзнутим пекарским производима добијеним од квасног теста, као и сировинама и опремом намењеним за производњу истих.

Резултати истраживања које обухвата докторска дисертација допринели би стварању предуслова за ширу примену технологије замрзавања пекарских производа, у складу са захтевима нашег тржишта и навикама нашег потрошача, што би отворило нове могућности за пласман ове групе производа и на шире тржиште.

Циљ истраживања обухваћених докторском дисертацијом усмерен је ка дефинисању и унапређењу услова производње и финализације замрзнутих пекарских производа непосредно пред употребу, у близини корисника или од стране самог корисника.

Добијени резултати требало би да дају допринос бољем разумевању феномена који се дешавају у поступку замрзавања/одмрзавања теста. Разјашњење ових феномена додатно је отежено чињеницом да је тесто сложен, хетероген систем који као један од инградијената има живу ћелију од чије метаболичке активности у највећој мери зависе карактеристике теста и од њега добијеног готовог производа.

Модификација постојеће, код нас примењиване технологије, у смислу примене одабраних сојева квасца, одабраног режима замрзавања/одмрзавања и дужине чувања теста у замрзнутом стању, као и примене одабраних додатака тесту, требало би да резултује пекарским производима добијеним од замрзаног теста чије су технолошке и сензорне карактеристике побољшане.

### 3. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

#### 3.1. ПРОИЗВОДЊА ХЛЕБА

Припрема хлеба је вероватно једна од најстаријих технологија у историји човечанства. Забележено је да су становници Вавилона, Египта, Грчке и Рима имали хлеб у свом јеловнику још у прехришћанско доба. Од тог времена пекарска технологија се развијала у много различитих праваца. Нове сировине и састојци укључени су у рецептуру хлеба, а наука је генерисала константан и импресиван прогрес пекарства.

Чињеница је да на различитим поднебљима постоје велике разлике како у погледу рецептуре, тако и самог поступка припреме хлеба. Ове разлике у складу су са историјом, традицијом и религијом народа који у тим регионима живе.

Савремено пекарство у нашој земљи, још увек, у највећој мери подразумева производњу хлеба и пекарских производа *in situ*. Припрема пекарских производа у кућним условима своди се, готово искључиво, на мешање према традиционалном моделу. Овакво понашање потрошача и пекара делимично је последица навика, али и изузетно лоше снабдевености нашег тржишта замрзнутим пекарским производима добијеним од квасног теста, као и сировинама и опремом намењеним за производњу истих.

Поступак производње хлеба на традиционалан начин обухвата припрему и одмеравање сировина, мешање, ферментацију у маси, дељење и округло обликовање, интермедијарну ферментацију, завршно обликовање, завршну ферментацију и печење.

Код производње хлеба од замрзаваног теста, операција ферментације у маси се често избегава. У зависности од приступа, умешено и обликовано тесто се замрзава одмах или након ферментације. Након замрзавања, тесто се складишти у замрзнутом стању одређено време и затим одмрзава. Одмрзнуто тесто се у неким случајевима још додатно обликује или се директно након одмрзавања подвргава завршној ферментацији, а затим пече.

#### 3.2. СИРОВИНЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ ХЛЕБА

Основне сировине за пекарску производњу су брашно, вода и со, а најчешће додатне су масноће и шећери. Тесту се додају и средства за нарастање, као што су квасац или хемијска средства, и широка лепеза адитива која укључује стабилизаторе, емулгаторе, оксиданте, хидроколоиде и ензиме (Gujral i Singh, 1999).

Према важећем Правилнику о квалитету жита, млинских и пекарских производа, тестенина и брзо смрзнутих теста, Sl. SRJ 52/95, основне сировине за производњу хлеба су брашно, пекарски квасац, вода и кухињска со. Додатне сировине су шећери, липиди, разна брашна, прекрупа, мекиње, клица, житне пахуљице, скроб, глутен, млеко, јаја, воће и зачини. као адитиви користе се различита средства за побољшање обрадивости теста, побољшање квалитета и одрживости свежег готових производа (Žeželj, 2005).

Од квалитета и удела сваког састојка, начина њиховог чувања, поступка припреме као и самог процеса производње хлеба, зависи и квалитет крајњег производа. Када су у питању пекарски производи од замрзаваног теста, све наведено има много већи утицај на квалитет крајњег производа него што је то случај код традиционалног поступка (Ribotta i dr., 2004).

### 3.2.1. ОСНОВНЕ СИРОВИНЕ

#### 3.2.1.1. БРАШНО

Брашно је основна сировина у производњи хлеба. Од његових особина зависи квалитет, како теста, тако и крајњег производа. Брашно је врло комплексан природни материјал, чији састав и особине варирају зависно од сорте пшенице, климатских услова, примењених агротехничких мера, начина мељаве, правилног складиштења и чувања.

Најчешће коришћено је пшенично брашно које се добија млевењем пшеничног зрна. Када се користи за ферментисана теста ово брашно обезбеђује светле, укусне и лепо развијене векне хлеба (Bushuk i Rasper, 1994). Оно садржи протеине, скроб и остале угљене хидрате, пепео, влакна, масти, воду и мале количине минерала, витамина и ензима (Charey i Weaver, 1998).

**Протеини пшенице**, а пре свега глутен, су директно одговорни за формирање структуре теста. Специфичне реолошке особине теста су последица бубрења саставних делова брашна и формирања тродимензионалне глутенске мреже која настаје формирањем дисулфидних веза између ланаца глутена (De Man, 1990), а у коју су уклопљени скроб, липиди и гасови. Тесто које карактерише добро формиран глутенски матрикс лако је обрадиво и добро задржава гас настао метаболичком активношћу квасца (Bushuk & Rasper, 1994). На особине теста утичу и количина и квалитет протеина, па се сматра да је за пекарску индустрију пожељно брашно од тврде пшенице, са високим садржајем протеина и јаким глутеном (Bushuk i Rasper, 1994).

Глутен се описује као најкомпликованији, до сада познати, реолошки прехранбени материјал. Састављен је од две протеинске фракције великих молекулских маса: глутенина и глиадиана. Квалитет глутена, поред особина глиадиана и глутенина и њиховог међусобног односа, зависи и од конформације протеина, величине молекула и њихових агрегата и локације цистеинских интра- и интер-молекуларних мостова (Kulp i dr., 1995).

Фракције глутена не доприносе једнако јачини матрикса.  $\omega$ -глиадини не учествују у градњи дисулфидних мостова, а  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -глиадини могу да граде само интра-молекулске дисулфидне везе. Глутенинске фракције учествују у градњи и интра-и интер-молекулских дисулфидних веза (Porineau i Pineau, 1988; Skeritt i dr., 1990) чиме у великој мери доприносе стабилизацији структуре теста.

Наквашене, појединачне фракције глутена показују потпуно различите особине у односу на хидратисани глутен. Хидратисани глутенин представља гумасту, жилаву, растегљиву масу, док глиадин даје вискозну, лепљиву, нерастегљиву масу (Singh i MacRitche, 2001). Када се глутен накваси, као што се дешава у процесу припреме теста формира се кохезивна, еластична маса која пшеничном брашну даје функционалне карактеристике од значаја за пекарство.

**Скроб**, са око 70% има највећи удео у маси брашна (Auerman, 1988). Пшенична скробна зрна су округлог облика, величине 5-50  $\mu\text{m}$  (Kaluderski i Filipović, 1998). Садржај скроба у брашну, величина скробних зрна и степен њихове оштећености утичу на особине од њега замешеног теста, јер ситнија као и оштећена скробна зрна могу да апсорбују више воде (Auerman, 1988).

Скроб се састоји од две макромолекулске компоненте: амилозе (неразгранати полимер) и амилопектина (разгранати полимер). Скробно зрно је нерастворно у хладној води, док у топлој бубри. Хидротемичким поступком нарушава се кристална структура скробног зрна и долази до желатинизације. Овај процес се јавља приликом печења хлеба. Стајањем, кристална структура се делимично поново успоставља, односно долази до ретроградације скроба, која је одговорна за старење средине хлеба.

**Шећери** који се налазе у пшеничном зрну су: глукоза, фруктоза, рафиноза, малтоза, сахароза, мелобиоза и глукофруктозани. Количина од 1,0-1,8% ферментабилних шећера у брашну, служи као храна квасцу у почетним фазама процеса ферментације (Žeželj, 2005). Учешћем у Millard-овим реакцијама и реакцијама карамелизације, шећери имају важну улогу у процесу стварања боје коре у току печења.

**Липиди** брашна углавном су триглицериди незасићених масних киселина. У малим количинама присутни су и фосфолипиди, липопротеини и глуколипиди (Žeželj, 2005).

**Вода** је врло важан фактор одрживости брашна. са порастом садржаја влаге, смањује се апсорпциона моћ брашна, а тиме и принос хлеба (Žeželj, 2005).

**Минералне материје** брашна чине фосфор, калцијум, магнезијум, хлор и калијум. Остали елементи су заступљени у траговима (Žeželj, 2005).

**Витамини** су у брашну заступљени у врло малим количинама. Највише има витамина Б комплекса, мање токоферола, а садржај осталих витамина је занемарљив

**Ензими** брашна су протеазе,  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаза и липоксигеназа (Auerman, 1988). Њихова активност започиње у моменту контакта са водом, приликом мешања, а завршава се у току печења хлеба.

**Баластне материје** брашна чине целулоза, хемицелулоза, лигнин и пентозани. Оне су врло значајне са нутритивног становишта, и ако се у људском организму не ресорбују.

**Пигменти**, каротен и ксантофил, су одговорни за боју брашна. Њихов садржај зависи од удела омотача зрна у композицији брашна, као и од његове гранулације.

У пракси се, као сировина за замрзавана теста користи пшенично брашно квалитета који је задовољавајући за традиционалну пекарску производњу. Врло су ретки готови пекарски производи добијени од замрзаног теста за чије је мешање употребљено било који друго брашно укључујући и прекрупну (Kulp i dr., 1995).

За мешање теста које ће се замрзавати без предходне ферментације препоручује се пшенично брашно чији је садржај пепела око 0,55% рачунато на суву материју, садржај протеина око 12,5% рачунато на суву материју, чији је глутен доброг до одличног квалитета, седиментациона вредност већа од 35, садржај влажног глутена око 30%, број падања минимално 300 s, са минимално оштећеним скробом. Уколико ће се брашно користити за теста која ће ферментисати пре замрзавања, захтеви везани за његов квалитет су још оштрији (Kulp i dr., 1995).

Неки аутори препоручују изузетно јако брашно које даје замрзнуга теста велике стабилности (Inoue i Bushuk, 1992). Међутим, овакво брашно изискује интензивно и дуготрајно мешање које доводи до загревања теста, односно до ферментације квасца која је непожељна.



Многобројни су аутори који указују да је за припрему теста које ће се замрзавати потребно користити средње јако до јако брашно. При томе треба имати у виду да за јачину брашна није одговоран само висок садржај протеина у брашну, већ и квалитет самог глутена (Ab El-Hady i dr., 1996; Abd El-Hady i dr., 1999; Lu i Grant, 1999; Rouillie i dr., 2000; Barcenas, 2003).



### 3.2.1.2. КВАСАЦ

Квасац који се примењује у пекарству, пекарски квасац, представља технички чисту културу квасца *Saccharomyces cerevisiae*.

Слика 1: Пекарски квасац

Пекарски квасац представља масу приљубљених ћелија са извесном количином ванћелијске воде која испуњава међупросторе. Чврста фаза, тј. ћелије квасца, састоји се од суве материје и ћелијске воде. Конзистенција квасце (сувоћа или влажност) зависи од односа ванћелијске и ћелијске воде. Садржај воде у ћелији квасца је 70-75%, а просечан хемијски састав приказан је у Табели 1. Састав ћелије квасца није константан већ зависи од фазе размножавања и услова у околини ћелије, као што су ацидитет односно алкалитет, присуство соли и других чинилаца (Pejin, 1989).

Табела 1: Хемијски састав ћелије пекарског квасца (Pejin, 1989)

Ензими квасца (тзв. зимазни комплекс) су најзанчајнији за његову примену у пекарству. Захваљујући њима квасац ферментираше глукозу, фруктозу и друге моносахариде и дисахариде, до CO<sub>2</sub> и етанола. Ослобођени CO<sub>2</sub> има улогу у нарастању и ставрању порозне структуре теста, а остали продукти ферментације утичу на формирање ароме пекарских производа.

Хемијско једињење	Садржај [% на суву материју]
Пепео	6-10
Угљени хидрати	43
гликоген	12
трехалоза	12
манан	15
глюкан	2
Сирови протеини	40
протеини и аминокиселине	38-48
нуклеинске киселине	4
нуклеотиди	4
Сирови липиди	7
масне киселине	4
стероли	1
фосфолипиди	2
Витамини	врло мало
комплекс витамина Б	≈ 165 mg/100g s.m.
ергостерол	0,2-0,5

Активност пекарског квасца у тесту се мења током времена. Првих десетак минута квасац се прилагођава новим условима, након чега се активност постепено повећава и два сата након замеса достиже максимум. У периоду од четири сата након замеса активност је константна, а затим се смањује. Количина квасца која се додаје у замес зависи од његове ферментативне активности, конзистенције, формулације и начина израде теста (Auerman, 1988).

У пекарству се користе различите форме пекарског квасца (Giannou i dr., 2003):

**Квасно млеко** је суспензија квасца у води, садржи 80-82% влаге, карактерише је изузетно ниска одрживост (око 24h), чува се на око +4°C;

**Пресовани** (компримовани, формовани) **квасац** се добија филтрацијом квасног млека и садржи око 70% влаге, карактерише га ниска одрживост, чува се на око +4°C;

**Активни суви квасац** се добија екструдирањем и сушењем свежег пресованог квасца и садржи 7-9% влаге, садржи и мртве ћелије, мора се активирати пре употребе, чува се на собној температури;

**Инстант квасац** се добија екструдирањем и брзим сушењем свежег пресованог квасца и садржи око 5% влаге, садржи и мртве ћелије, употребљава се без предходне активације, чува се на собној температури;

**Криорезистентни квасац** је производ новијег датума, користи се за израду пекарских производа који се замрзавају у некој од фаза производње, у односу на обични пекарски квасац отпорнији је на стрес изазван ниским температурама па након одмрзавања показује мањи пад ферментативне активности и већи проценат преживљавања.

Уколико се за замес теста које ће се замрзвати користе криорезистентни сојеви од њега добијен готов производ биће супериорних карактеристика. Криорезистентни сојеви добијају се на више начина: селекцијом из природног окружења (Oda, 1986), прилагођавањем променом услова култивације или додатком помоћних средстава у тесто (Gelinas i dr., 1989; Park, i dr., 1997; Rodrigues-Vargas, 2002), прилагођавањем употребом мутагена (Tanghe i dr., 2000; Van Dijck i dr., 2000, Teunissen i dr., 2002; Sakar i dr., 2005) и прилагођавањем методима молекуларне биологије (Shima i dr., 1999; Naito i dr., 2004).

У пракси се показало да је, поред употребе криорезистентног квасца, комерцијални пекарски квасац прихватљив за мешање теста која ће се замрзавати након делимичне ферментације или без ферментације која предходи замрзавању (Kulp i dr., 1995). Новији литературни наводи указују да је за припрему замрзаног теста, уколико се користи комерцијални пресовани квасац, потребно повећати количину квасца у тесту и до 5% у односу на брашно. Уколико се оваква препорука усвоји, свакако је потребно обратити пажњу на промене сензорних карактеристика готовог производа, али и на економске аспекте овакве производње (Giannou, 2003).

Неки аутори препоручују употребу сувог квасца за припрему теста које ће се замрзавати. Резултати њихових истраживања показују да квасац мање ферментативне активности, какав је суви, даје боље резултате у погледу трајности замрзнутог теста и од њега добијених готових пекарских производа, у односу на квасац високе ферментативне активности, какав је пресовани (Kulp i dr., 1995; Ab El Nady i dr., 1999).

Неповољне последице замрзавања могу се превенирати употребом стартер култура при замесу. У ту сврху предложена је здружена култура *Saccharomyces cerevisiae* и *Lactobacillus plantarum Q2* уз извесне модификације процеса производње које подразумевају освежевање теста додатком одређене количине брашна и воде након одмрзавања (Pere i dr., 2005).

### 3.2.1.3. ВОДА

Вода, која се користи за замес теста, мора одговарати квалитету воде за пиће. Треба да је без боје, мириса и пријатног укуса.

Количина воде која се додаје при замесу зависи од садржаја влаге брашна и његових физичко-хемијских карактеристика (Gil i dr., 1997) као што су моћ упијања воде, гранулација брашна, степен оштећености скроба. Врста хлеба, количина шећера и масти, као и начин израде теста такође утичу на количину воде коју је потребно додати при замесу. Количина додате воде, у зависности од ових фактора, варира у врло широком интервалу, од 35-40% до 72-75 % у односу на брашно (Auerman, 1988).

Додатком воде у брашно, активирају се ензими, долази до формирања нових веза између макромолекула брашна и промена реолошких особина теста (Giannou, 2003). Температуром воде подешава се температура теста од које зависи брзина биохемијских процеса у тесту. Тврдоћа воде утиче на активност ензима и на особине глутена. Тврда вода побољшава физичке особине глутена и теста од неквалитетног брашна (Auerman, 1988). Присуство  $\text{CO}_2$  је пожељно, јер повећава порозност средине хлеба, док присуство хлора негативно утиче на процес ферментације теста.

#### 3.2.1.4. КУХИЊСКА СО

Кухињска со, прехранбеног квалитета, се у тесто може додавати као нерастворена (ситни, униформни кристали) или у виду раствора одређене концентрације. Додаје се у количини од 0,0% до 2,5 % на брашно.

Со у тесту утиче на укус, инхибира ферментацију теста смањујући активност квасца, инхибира деловање ензима и учвршћује глутен (услед директног дејства на глутен, односно инхибиторног деловања на протеазе брашна). Мала количина соли у тесту повећава активност амилаза чиме се обезбеђује снабдевање квасца малтозом (Wood, 1998).

### 3.2.2. ДОДАТНЕ СИРОВИНЕ

#### 3.2.2.1. ШЕЋЕРИ

У почетној фази ферментације, квасац користи ферментабилне шећере који су присутни у тесту, а потичу из брашна. У каснијим фазама ферментације квасац метаболише шећере настале ензимском разградњом скроба.

У тесто се могу, при замесу, додати веће количине шећера са циљем да се добије тесто слатког укуса, повећа производња  $\text{CO}_2$  и поправи боје коре. Ферментативна активност квасца се повећава у присуству шећера, али само до одређених концентрација, након чега опада, услед инхибиторног дејства на метаболизам квасних ћелија. Оптимална количина је 3-5 % на брашно. Повољан утицај додатка шећера у тесто се огледа у повећању запремине, равномернијој структури средине и продужењу свежине готових пекарских производа (Žeželj, 2005).

#### 3.2.2.2. ЛИПИДИ

Липиди се додају у тесто у виду масти, уља или "шортенинга" (смеше животињских и биљних масти, односно, биљних масти или хидрогенованих биљних масти, са емулгаторима и антиоксидантима). Њихов додатак олакшава манипулацију тестом, побољшава изглед средине и укус хлеба (Stauffer, 1999). Липиди помажу очувању квалитета, мекоће, свежине хлеба и доприносе квалитету текстуре. Додатак масти у хлебно тесто резултује већом крајњом запремином векни, мањом хрскавошћу коре и продуженим очувањем квалитета хлеба (Autio i Laurikainen, 1997). У пекарској пракси су у употреби свињска маст, путер (маслац), лој, биљна уља, биљне масти и "шортенинзи".

Када су у питању пекарски производи од замрзаваног теста, европска произвођачка пракса, препоручује употребу 1-2% масти у односу на брашно, при чему се преферирају засићене или делимично засићене масти. Додатком масти, добијају се теста добре

обрадивости и добре способности да задржавају  $\text{CO}_2$ , а од њих добијени готови производи су одличних карактеристика средине. Незасићене масти, односно уља, због свог негативног утицаја на квалитет теста, додају се искључиво уколико су саставни део формулације "шортенинга" (Kulpi dr., 1995).

Нека прелиминарна истраживања показују да употреба кикирики бутера обезбеђује да пекарски производи од замрзаног теста које је замрзнуто непосредно након обликовања имају специфичну запремину као и они који су добијени од замрзаног теста које је ферментисало (Kulpi dr., 1995).

### 3.2.3. АДТИВИ

#### 3.2.3.1. ОКСИДО-РЕДУКЦИОНА СРЕДСТВА

Оксиданти, било да су органског или синтетског порекла, се у тесто додају при мешењу ради бржег успостављања глутенске мреже путем оксидације сулфхидрилних група, чиме у великој мери утичу на реолошке особине теста, али и на карактеристике готовог производа. Наведене чињенице разлог су примене оксиданата у свим типовима пекарске производње. Поред тога, оксидациона средства избељују брашно, разарајући жуте пигменте брашна.

Најчешће примењивана оксидациона средства су калијумбромат, калијумјодат, азодикарбонамид, ацетонпероксид и дехидроаскорбинска киселина. Ови оксиданти се међусобно разликују по брзини деловања и продуктима реакције. Према важећем Правилнику, у нашој земљи, дозвољена је употреба једино аскорбинске киселине (Правилник о квалитету жита, млинских и пекарских производа, тестенина и брзо смрзнутих теста, 1995).

Деловање L-аскорбинске киселине (витамин Це) у тесту одвија се у две фазе. У првој фази, током мешања, долази до образовања дехидро-L-аскорбинске киселине, која је оксидујући агенс, док у другој фази, током одмарања теста, долази до оксидације сулфхидрилних група. Овај адитив се додаје у количини од 1,0-7,5 g на 100 kg брашна (Žeželj, 2005). L-аскорбинска киселина значајно редукује лепљивост теста и директно или индиректно утиче на структуру и интеракције између макромолекула протеина у тесту (Rouille i dr., 2000).

Оксиданти се у замрзавана теста додају са циљем да повећају запремину пекарских производа, што се дешава у првих неколико минута печења. Количина оксидационог средства која ће се додати тесту мора се пажљиво одредити. Поред квалитета брашна, услови производње теста, а нарочито температура замеса, од суштинског су значаја за дозирање оксиданата. Нека истраживања показују да је при смањењу температуре замеса потребно повећати дозу оксиданта у тесту које ће се замрзавати без предходне ферментације (Kulpi dr., 1995).

#### 3.2.3.2. ПОВРШИНСКИ АКТИВНЕ МАТЕРИЈЕ

Површински активне материје, односно сурфактанти, додају се у тесто ради побољшања структуре и изгледа средине, повећања запремине и продужења свежине готових производа (Žeželj, 2005). Сурфактанти реагују и са мастима које су додате у тесто што редукује површински напон у гасним мехуровима и омогућава стварање великог броја ситних мехурова.

Сурфактанти се у основи деле на побољшаваче квалитета средине (моноглицериди) и побољшаваче квалитета теста (етокси-моно- или диглицериди, натријум- или калцијум-стеариллактат).

Чак и код употребе брашна која имају висок садржај протеина, при производњи замрзаваних теста препоручује се додаток очвршћивача теста. На овај начин се у великој мери повећава стабилитет теста што је од изузетног значаја за добијање пекарских производа од замрзаног теста доброг квалитета (Dubois i Blockcolosky, 1986a; Hosomi i dr., 1992; Addo i dr., 1995).

### 3.2.3.3. ЕНЗИМСКИ ПРЕПАРАТИ

Најчешће примењивани ензими у пекарској производњи су  $\alpha$ -амилазе (приоритетно фунгалне због ниске температуре инактивације) и протеазе. Комерцијални ензимски препарати могу да садрже и целулазе, глуканазе, пентозаназе, али и неке оксидоредуктазе као што су липоксигеназе, глукоза оксидазе и пероксидазе. Зависно од врсте ензима, њиховим додатком у тесто се може постићи континуално настајање ферментабилних шећера (амилазе, глукоамилаза, лактаза), утицај на стабилност теста (липооксигеназа) и подешавање растегљивости теста (протеазе).

Иако ензими у тесту немају превасходно улогу оксидоредукујућег агенса, приликом примене ензимских препарата треба обратити пажњу на могуће синергистичко деловање ензима са оксидантима. У том смислу, све комерцијалне ензимске препарате неопходно је стандардизовати пре примене у оквиру конкретне рецептуре и услова производње. Примена ензима се препоручује у оним видовима пекарства у којима је минимизирана примена оксиданата (Kulp i dr., 1995).

За производњу теста које ће се замрзавати литература препоручује паралелну употребу, пажљиво дозирањем ензима и оксиданата. Оваква примена као резултат даје готове пекарске производе велике запремине и униформне, добро развијене структуре средине (Kulp i dr., 1995).

### 3.2.3.4. ХИДРОКОЛОИДИ

Хидроколоиди, односно гуме, су група адитива који се све чешће примењују у прехранбеној индустрији са циљем да контролишу реологију и текстуалне карактеристике водених система. Они делују као стабилизатори емулзија, суспензија и пена (Selomulyo, 2007).

Захваљујући особини да утичу на реолошка својства теста и биохемијској инертности, хидроколоиди се у пекарској индустрији користе за модификацију структуре, оптимизацију расподеле воде, контролу миграције воде у производу и побољшање укупног квалитета производа за време чувања (Appelqvist i Debet, 1997, Linden i Lorient, 1999).

Хидрофилне гуме се у тесто додају са циљем да индукују структурне промене основних састојака пшеничног брашна током процеса производње хлеба, као и током његовог складиштења (Appelqvist i Debet, 1997). Ове структурне промене могу да модификују селективност неких ензима или да доведу до побољшања технолошког квалитета теста и хлеба (Armero i Collar, 1997). Они утичу напонашање теста при печењу, као и на трајност готовог пекарског производа (Armero i Collar, 1997; Davidou i dr., 1996).

Утицај хидроколоида на функционалне карактеристике теста и последично на квалитет хлеба зависи од природе, оријентације функционалних група, величине ланаца и количине хидроколоида додатих у тесто, као и од састава теста, осталих састојака и процесних услова. Механизам деловања хидроколоида у тесту се заснива на њиховој компетитивности са полимерима брашна, глутеном и скробом, у односу на воду (Schiraldi i dr., 1996).

Природа протеин-полисахарид интеракција значајно се мења као последица широких варијација структуре биополимера и услова растворљивости. Резултати неких ранијих истраживања указали су на постојање асоцијационих интеракција између полисахарида микробиолошког порекла, карагеана и алгината са чистим глутеном (Huebner i Wall, 1979). Уочени пораст вискозитета смеше дезаминованог глутена и натријум-алгината може се објаснити фазном сепарацијом и електростатичким привлачењем карбоксилне и амидне групе. Интеракција између хидрофобног дела глутенског ланца и  $\lambda$ -карагенана остварује се реакцијом између сулфатних група хидроколоида и глутаминских аминокиселина из глутена (León, 2000).

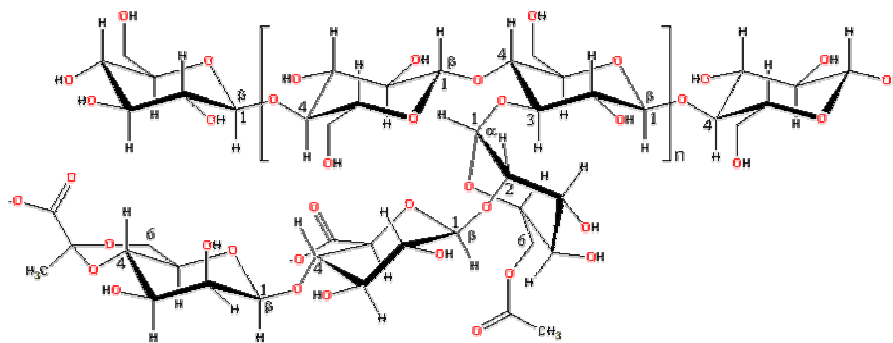
Захваљујући формирању комплекса између полимера скроба, амилозе и/или амилопектина, и хидроколоида долази до њиховог синергистичког деловања током формирања теста (Bahnassey i Greene, 1994). Присуство гума у тесту утиче на отапање, желатинизацију, фрегментацију и ретроградацију скроба (Kokini i dr., 1992; Fanta i Christianson, 1996). Ови ефекти утичу на лепљивост теста и његове реолошке особине (Rojas i dr., 1999).

У складу са горенаведеним додаток гума у тесто индукује промене структуре основних сировина током процеса припреме, замрзавања, складиштења и одмрзавања хлебног теста и готовог производа (Appelqvist and Debet, 1997; Ferrero i dr., 1993; Liehr i Kulicke, 1996). Овакве промене за последицу имају промену технолошких особина теста и хлеба (Armero i Collar, 1997). Хидроколоиди утичу на пециве особине теста и на трајност хлеба (Davidou i dr., 1996; Armero i Collar, 1998).

## КСАНТАН

Ксантан или ксантан гума је збирни назив за хетерополисахарид микробиолошког порекла кога продукује *Xanthomonas campestris*, као продукт секундарног метаболизма. То је полианјонски, хидрофилни биополимер сачињен од D-глукозе, D-манозе и D-глукуронске киселине. Поред њих у молекулу ксантана има и око 4,7 % ацетила и око 3% пирувата. Молекулска маса ксантана је  $2-15 \times 10^6$  g/mol.

Молекул је разгранат и састоји се од линеарног дела (основни ланац) и грана (бочни ланци). Разни ксантаногени сојеви продукују исти основни део структуре, али је садржај група везаних за основни ланац различит, што значајно утиче на реолошке особине. Основни ланац чине молекули глукозе. Бочни ланац је сачињен од  $\alpha$ -D-манозних јединица, за које су везани молекули  $\beta$ -D-глукуронске киселине. Киселе карбоксилне групе су везане у соли натријума, калијума или калцијума. Ацетил групе су везане за C-6 атом неких јединица  $\alpha$ -D-манозе, а пирогрођана киселина је везана за C-4 и C-6 атом  $\beta$ -D-манозе, кеталном везом.



Слика 2: Шематски приказ молекула ксантана

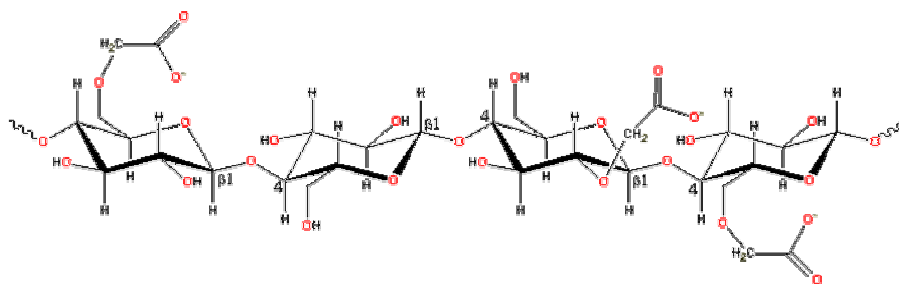
Многе реолошке особине ксантана су последица конформације коју молекул заузима у раствору. Описани ланац у раствору може егзистирати као појединачна, дупла или трострука спирала, која реагује са другим полимерним макромолекулима градећи комплекс. Овако настаје растресита мрежаста структура која се одржава валентним везама (Sutherland, 1998).

Ксантан карактерише добра растворљивост и стабилност у киселим и базним условима, висока вискозност раствора већ при малим концентрацијама, компатибилност са протеинима, липидима и полисахаридима, резистенција на ензиме (протеазе, целулазе, хемицелулазе, пектиназе, амилазе).

Примена ксантана у прехранбеној индустрији има за циљ промену реолошких особина присутне воде. Користи се као суспендујући агенс, стабилизатор пене и емулзија, средство за желирање. У намирницама до изражаја долази његова особина брзог испољавања укуса, "доброг осећаја у устима" и компатибилност са другим састојцима хране. Ксантан се у замрзвана теста додаје са циљем да ојача глутенску мрежу формирањем јаких веза са ланцима протеина брашна, повећа капацитет везивања воде и способност теста да задржава гас, повећа специфичну запремину векни и минимизује миграцију воде из средине у кору хлеба током његовог складиштења (Collar i dr., 1999; Rosell i dr., 2001).

### КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛУЛОЗА

Карбоксиметилцелулоза је дериват целулозе која настаје у реакцији целулозе, NaOH и монохлорсирћетне киселине. Основу карбоксиметилцелулозе чини целулоза, која је полимер D-глукопиранозе чији су молекули међусобно повезани  $\beta(1\rightarrow4)$ -гликозидном везама.



Слика 3: Шематски приказ мономерне јединице карбоксиметилцелулозе

Неуједначеном дериватизацијом ланаца нативне целулозе настају ланци карбоксиметилцелулозе са већим или мањим степеном супституције, који су притом краћи од ланаца нативне целулозе. Супституција се углавном врши на 2-О- и 6-О-везама, а у нешто мањој мери на 2,6-ди-О-; затим 3-О-; 3,6-ди-О-; 2,3-ди-О-; 2,3,6-три-О-везама. Различити препарати могу имати различит степен супституције који се креће у опсегу 0,6-0,95 по мономерној јединици.

Степен супституције диктира особине овог биополимера и његових раствора. Раствори ниже супституисаних деривата карбоксиметилцелулозе одликују се тиксотропним реолошким особинама, док раствори више супституисаних деривата показују псеудопластичне особине. Реолошко понашање раствора карбоксиметилцелулозе зависи од температуре, односно вискозитет ових раствора значајно се смањује током загревања (Fennema, 1996).

Молекули карбоксиметилцелулозе при малим концентрацијама у раствору налазе су линеарно облика. Са повећањем концентрације биополимера, молекули се преклапају и склупчавају, да би при изразито високим концентрацијама дошло до њиховог умрежавања и образовања термореврзибилног гела.

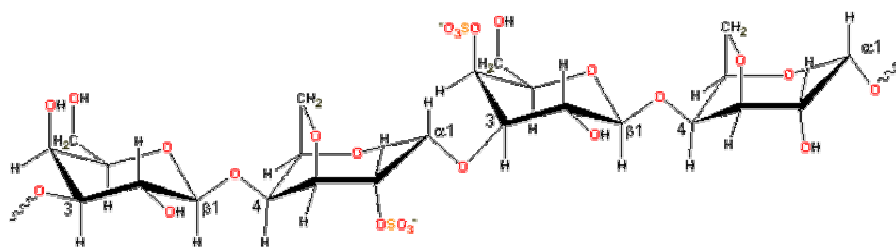
Фактори као што су повећање јонске јачине и смањење вредности рН у раствору карбоксиметилцелулозе, утичу на смањење вискозитета, проузрокујући при том склупчавање молекула.

У прехранбеној индустрији овај биополимер се користи у циљу промене реолошких особина производа тј. као регулатор вискозитета без желирања, као средство за згушњавање, емулгатор, стабилизатор и као суспендујући агенс. додатком карбоксиметилцелулозе повећава се капацитет воде коју може да прими производ чиме се успорава процес старења производа. Карбоксиметилцелулоза смањује проценат масноће у прехранбеним производима који су добијени пржењем.

#### κ-КАРАГЕНАН

Карагенан је полисахарид који се добија екстракцијом из црвене морске алге. Овај посебан тип морске алге се често појављује у Атланском океану близу обала Велике Британије, Европе, Северне Америке. Кувањем алге у кључалој води екстрахује се карагенан. Постоје три главне класе карагенана:

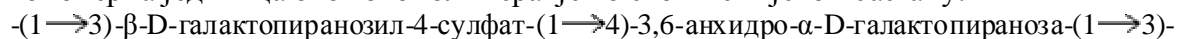
- **κ-карагенан** – ствара чврсте, строго дефинисане гелове; добија се из *Chrysolina cottonii*;
- **ι-карагенан** – ствара мекане гелове; добија се из *Eucheuma spinosum*;
- **λ-карагенан** – користи се за згушњавање производа; најчешће се добија из *Gigartina* алги које расту искључиво у морима Северне Европе.



Слика 4: Шематски приказ мономерне јединице κ-карагенана



Мономерна јединица овог биополимера је по свом хемијском саставу:



Молекулска маса карагенана, који се користи у прехранбеној индустрији је око 100.000 – 500.000 g/mol, са максимумом расподеле величина на око 250.000 g/mol.

Карагенан је флексибилан молекул велике молекулске масе који својим спиралним ланцима гради хеликоидну структуру. Таква структура му омогућава да ствара велики спектар различитих гелова на собној температури. Највећа предност карагенана је што гради растворе који се у реолошком смислу понашају тиксотропно.

Употребљава се као адитив у прехранбеној индустрији за желирање, згушњавање и за унапређење текстуре хране код сладоледа, јогурта и меканог белог сира. Користи се и као агенс за стабилизацију.

к-карагенан се додаје тесту са циљем повећања специфичне запремине готовог производа. Sharadannt i Khan (2006) су доказали да присуство к-карагенана у тесту значајно смањује садржај растворљивих протеина и повећава садржај резидуалних протеина у поређењу са контролним узорком. Присутвом к-карагенана у тесту формира се ригидан гел који није стабилан при сукцесивним циклусима замрзавање/одмрзавање па се специфична запремина пекарских производа од замрзаног теста смањује са пролонгирањем складиштења замрзнутог теста. Хлеб добијен од замрзаног теста са к-карагенаном садржи више воде у односу на контролни узорак, при чему је активитет те воде смањен услед конкуритивности између хидроколоида и глутена, односно скроба, у погледу воде (Léon, 2000).

### 3.3. ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПАК ПРОИЗВОДЊЕ ХЛЕБА ОД ЗАМРЗАВАНОГ ТЕСТА

Широм света, производња хлеба и пецива од замрзаног теста све је популарнија. На америчком континенту замрзавање се већ деценијама користи у пекарству. У земљама Западне и Северне Европе овај поступак се широко примењује. Земље Јужне, а у још већој мери Југоисточне Европе, сусрећу се са читавим низом проблема при увођењу замрзавања у пекарску производњу. Климатски фактори који изискују велике утрошке енергије, недостатак одговарајућих сировина и опреме, али и традиционалне рецептуре, процес припреме и форме производа на које су конзументи навикли, у великој мери отежавају имплементацију ове технологије (Kulp i dr., 1995).

Технолошки поступак припреме хлеба од замрзаног теста у великој мери је сличан традиционалном поступку. Међутим, да би била могућа широка употреба замрзавања у пекарској технологији, неопходно је познавати сваку операцију процеса производње и у потпуности разјаснити њен утицај на квалитет готовог производа.

#### 3.3.1. МЕШЕЊЕ

У складу са рецептуром, припремљене сировине се мешају током операције мешења. Циљ мешења је добијање квазихомогене смеше, развијање глутенске структуре и инкорпорирање мехурова ваздуха чиме се добија тесто оптималних реолошких особина. То се постиже применом оптималних услова мешења које треба да је брзо, хомогено и у контролисаним температурним условима.

Да би се формирало тесто неопходно је да дође до трансформације малих честица глутена у мрежу која показује вискозне, еластичне и кохезивне особине. У првој фази мешања, протеини се хидратишу, а након тога, у наставку мешања, долази до међусобне интеракције ових макромолекула. Поред интеракција протеинских молекула, остале компоненте брашна, липиди, со, нескробни полисахариди и скроб такође учествују у формирању глутенског матрикса.

Вискоеластичне особине теста примарно зависе од континуитета протеинске фазе која, код потпуно развијеног теста, окружује грануле скроба (Hamer i Hoseneu, 1988). Реолошко понашање глутена зависи од особина молекула састојака теста које међусобно реагују и од типа веза којима се ови молекули међусобно повезују при изгадњи глутенске мреже. Јачини глутенске мреже доприносе бројност и јачина међумолекулских веза, молекулска маса агрегата и просечна молекулска маса и расподела молекулских маса протеинских молекула који изграђују мрежу (Philips i Finley, 1987). Каснија истраживања показују да већа количина молекула глутенина великих молекулских маса доприни јачини глутена (Inoue i Bushuk, 1992; Inoue i dr., 1994).

Хемијске везе које стабилизују потпуно развијен глутен у хлебном тесту, у литератури се обично деле на ковалентне и секундарне везе. Ковалентне везе обухватају интер- и интрамолекулске дисулфидне мостове протеина који настају током мешања теста (Hamer i Hoseneu, 1988). Секундарне везе подразумевају водоничне, хидрофилне, хидрофобне и јонске везе, као и поларне интеракције. Иако су секундарне везе слабе, обзиром на њихову бројност, њихов утицај на јачину глутена није занемарљив. Неки аутори предпостављају да секундарне везе имају већи значај од дисулфидних мостова (Kulp i dr., 1995).

Утицај непротеинских асоцијација на јачину и стабилност глутена није довољно испитан, али се не сме занемарити. Оне укључују нековалентне протеин-липид комплексе, ковалентне везе са хемицелулозама брашна и можда олигосахаридима, и секундарне везе са површином гранула скроба.

У континуалну протеинску фазу, која је формирана током мешања су уклопљена скробна зрна и мехурићи ваздуха. Уколико тесто није добро умешено, скроб и протеини су неравномерно распоређени, и протеински ланци остају опружени унутар слојева (Autio i Laurikainen, 1997). Када је тесто премешено, многе дисулфидне везе се кидају и глутен је делимично деполимеризован, што резултује повећањем растворљивости и смањењем издвајања липида (Demiralp i dr., 2000). Премешено тесто је обично лепљиво, делимично услед смањења молекулске масе протеина због примењене механичке силе (Autio i Laurikainen, 1997). Продужење мешања може допринети ефектима оксидације и деагрегације великих протеинских агрегата, вероватно због оксидације већег броја сулфхидрилних група (Demiralp i dr., 2000).

Тесто одговарајуће структуре може се добити мешањем брашна са одређеном количином воде. Када је упоребљена количина воде релативно мала, желатинизација скроба није довољно успешна. Као резултат тога, средина од њега добијеног хлеба се исушује, лакше пуца и брже стари. Насупрот томе, када се у тесто умеси превелика количина воде, њен вишак онемогућава жељену желатинизацију скроба, па средина остаје влажна и лепљива. Моћ упијања воде зависи од типа, географског порекла и осталих карактеристика брашна. Брашно које је складиштено на одговарајући начин поседује бољу моћ упијања воде од свеже млевеног (Giannou i dr., 2003).

Код мешања теста које ће се замрзавати тежи се минимизацији активности квасца пре замрзавања. То се постиже употребом брзоходних месилица и контролом температуре замеса. Лопатице оваквих месилица пресецају тесто, па долази до формирања великог броја малих мехурића, односно до развоја хомогене структуре теста, што резултира фином структуром хлеба. Да би температура замешеног теста била одговарајућа потребно је да брашно и вода за замес буду охлађени током припреме сировина. Резултати истраживања показују да теста замешена уобичајеним поступком на температури 24-26°C имају суву површину и одговарајуће карактеристике. Код замеса теста у складу са рецептурама које су уобичајене у Европи, а која не ферментишу пре замрзавања, температура замешеног теста од 18-20°C, као ни додаток квасца и соли током процеса мешања, не дају значајна побољшања карактеристика готовог производа. Овакви резултати можда су последица спорије активности квасца који се уобичајено користи у Европи у односу на квасац који се примењује на северноамеричком континенту и у Великој Британији (Kulp i dr., 1995).

### 3.3.2. ОБРАДА ТЕСТА

Након мешања следе фазе дељења и обликовања теста, које се могу извести ручно или машински. При томе долази до модификације структуре теста, при чему се мањи мехурићи ваздуха спајају у веће што доприноси развоју глутенске мреже (Autio i Laurikainen, 1997) и формирања покорице, која омогућује задржавање CO<sub>2</sub> насталог у току ферментације.

Комаде теста који ће се замрзавати требало би обрадити током 10-20 min. У том периоду тесто се одмара, интермедијарно ферментише и обликује се. Након тога тесто се може замрзнути без ферментације или се подвргава ферментацији у дефинисаним условима (Kulp i dr., 1995).

Неки аутори сматрају да код замрзаваних теста не постоји могућност корекције реолошких недостатака мехаичком обрадом након замрзавања (Rouillie i dr., 2000). Резултати других аутора показали су да се разним механичким третманима након одмрзавања може утицати на реконституисање оштећеног глутена што у великој мери доприноси смањењу недостатака замрзаног теста (Takano i dr., 2002).

Прекомерно обликовање теста може изазвати догревање и ферментацију пре замрзавања (Sing i MacRitche, 2001) што није пожељно.

Код производње пекарских производа од замрзаног теста значајан је и облик, јер он утиче на стабилност и крајњи квалитет производа. Сматра се да су округли комади мање задовољавајући од плочастих и цилиндричних облика (Havet i dr., 2000).

### 3.3.3. ФЕРМЕНТАЦИЈА ТЕСТА ПРЕ ЗАМРЗАВАЊА

Ферментација теста пре замрзавања не мора бити саставни део процеса производње хлеба и пецива од замрзаног теста.

Уколико ферментација теста у комадима траје 40 min, што је време оптимално за ферментацију, настају изузетно нестабилна теста која се не могу складиштити, нити пећи без предходне корекције недостатака. Литература препоручује да теста која садрже 5% квасца, у малим комадима ферментишу пре замрзавања у трајању од 25%, односно 75%, у односу на време које би тесто ферментисало. Ферментација пре замрзавања оваквих

комада, која би трајала 50% времена оптималног за ферментацију, не даје задовољавајуће резултате у погледу квалитета готовог производа.

Краће време ферментације је лакше и боље усклађено са преосталим операцијама у процесу производње, а готови производи, као што су кифле и кајзерице, имају задовољавајуће карактеристике. Комади теста, који су пре замрзавања ферментисали у краћем времену, имају мању запремину што захтева мање капацитете у процесу складиштења и транспорта. Печење оптимално ферментисаних комада теста након одмрзавања је кратко јер је реактивација квасца брза, па је лимитирајући сегмент процеса производње одмрзавање. Чак је и време одмрзавања могуће скратити употребом специјализованих пекарских пећи (Kulp i dr., 1995).

### 3.3.4. ЗАМРЗАВАЊЕ И СКЛАДИШТЕЊЕ ЗАМРЗНУТОГ ТЕСТА

Комади теста, непосредно након обликовања или након кратког периода ферментације, замрзавају се коришћењем расположиве технологије и затим складиште на одговарајућој температури. Чување хране у замрзнутом стању се изводи минимизацијом физичких, хемијских и ензимских реакција које се иначе дешавају на амбијенталној температури.

#### 3.3.4.1. ФИЗИЧКЕ ПРОМЕНЕ У ТЕСТУ ТОКОМ ЗАМРЗАВАЊА

Замрзавање, као метод очувања свежине и квалитета прехранбених производа, обухвата два значајна међусобно повезана физичка процеса. Први је смањење температуре, а други, промена фаза од течне у чврсту (Kulp i dr., 1995).

Промене температуре теста током замрзавања описује типична крива замрзавања. Процес замрзавања теста састоји се од три фазе: *хлађење изнад зоне мржњења производа* које тече брзо уз значајно смањење температуре, *хлађење у зони мржњења* када долази до формирања кристала леда и при коме се уочавају минималне промене температуре теста током времена и *хлађење испод зоне мржњења* када се, поново, значајно повећава брзина смањења температуре током времена.

Фактор који утиче на брзину хлађења изнад зоне мржњења је топлотна проводљивост. Због топлотне проводљивости, која зависи од састава теста, структуре и величине честица материјала, површински слојеви комада теста су хладнији него они ближи центру. Брзина хлађења теста зависи од разлике у температури комада теста и окружења. Током хлађења теста изнад зоне мржњења потребно је одвести само специфичну топлоту. Последице хлађења теста у овој фази замрзавања су повећање вискозитета течне фазе и значајно смањење нивоа различитих реакција. Овај ефекат је позитиван и од великог је значаја код чувања хране која је само охлађена (на  $4\pm 1^\circ\text{C}$ ).

Када температура теста достигне температуру мржњења, поред специфичне топлоте неопходно је одвести и латентну топлоту фазне трансформације да би дошло до промене агрегатног стања воде из течне у чврсту. Ова промена повећава енергију коју је потребно уложити у процес, односно долази до смањења брзине замрзавања о чему сведочи зараван на графику у околини тачке мржњења. Дужина заравни се смањује уколико је разлика између температуре комада теста и околине већа, а што се постиже применом ниже температуре замрзавања. Примена ниже температуре околине током замрзавања резултује бржим хлађењем и нижим степеном пропагације леда.

Замрзавање је кристализација течне воде у чврсту форму, лед. Ова фазна промена се дешава када температура воде падне испод  $0^{\circ}\text{C}$ , или, у храни, када температура достигне температуру мржњења течне фазе. У тој тачки, може се десити замрзавање без формирања кристала леда. Неизвесност иницијације формирања кристала леда дешава се због проблема нуклеације. Замрзавање без ефекта нуклеације може да се догоди тек на  $-40^{\circ}\text{C}$ . На тој температури, спонтано се формирају нуклеуси и долази до кристализације леда. Ово је хомогена нуклеације. Течна фаза теста, садржи различите честице које представљају нуклеус кристализације на температурама много вишим од  $-40^{\circ}\text{C}$ , а оваква кристализација се назива хетерогена.

Када се једном формира нуклеус, кристал леда може да расте. Док нуклеација захтева значајно смањење температуре, раст кристала леда је могућ уз минимално хлађење. Брзина кристализације зависи од брзине одвођења топлоте. Морфологија кристала је контролисана брзином одвођења топлоте. Пропагација леда је комплексан процес чак и у чистој води, а додатно се компликује присуством различитих растворака у течној фази теста.

Однос брзине нуклеације и брзине раста кристала дефинише облик и величину кристала леда који се формирају у тесту. Овај однос значајније утиче на кристализацију леда него брзина замрзавања. Када се производи замрзавају споро, нуклеација је такође спора и условљава, у крајњој инстанци, формирање великих кристала леда. Насупрот томе, брзо замрзавање иницира брзу нуклеацију, а као крајњи производ процеса настају ситни кристали леда.

На различитим температурама замрзавања може се идентификовати еутектичка тачка у којој је течна фаза у потпуности очврснула. У многим прехранбеним производима, укључујући и замрзнуто тесто, потпуно очвршћавање је ометано присуством неких растворака. Соли, као што је кухињска со, кристалишу у еутектичкој тачки и ометају очвршћавање течне фазе. Шећер се, пак, опире кристализацији па при угушћивању формира сируп. Будући да течна фаза квасног теста садржи глукозу и фруктозу, као и кухињску со, еутектички систем у тесту је смеша леда, кристалисаних растворака и заостале течне фазе која садржи некристалисане састојке.

#### 3.3.4.2. ХЕМИЈСКЕ И БИОХЕМИЈСКЕ ПРОМЕНЕ У ТЕСТУ ТОКОМ ЗАМРЗАВАЊА И СКАЛДИШТЕЊА ЗАМРЗНУТОГ ТЕСТА

Укупан квалитет хлебног теста значајно се деградира током замрзавања и складиштења у замрзнутом стању (Innoue i Bushuk, 1992; Kenny i dr., 2001; Le Bail i dr., 1999; Lu i Grant, 1999; Neureneuf i Van Der Plaat, 1991; Ribotta i dr., 2001). Идентификована су два фактора који могу бити узроци ученог смањења квалитета хлеба: *губитак ферментативне активности квасца* који настаје услед самањења вијабилности и активности квасца, а последица је замрзавања и одмрзавања, и *смањење способности теста да задржава гас*, а настаје услед постепеног губитка јачине глутена који се у већој мери дешава у току складиштења теста у замрзнутом стању. Описане промене последица су, појединачних или комбинованих, физичких, хемијских и биохемијских процеса које се дешавају током замрзавања теста, његовог складиштења и одмрзавања.

## Губитак ферментативне активности квасца

Покушај да се објасни утицај замрзавања на квасац датира још из шездесетих и седамдесетих година двадесетог века. Тада се сматрало да су промене у квалитету замрзаног теста у односу на незамрзано последица губитка вијабилности ћелија квасца. Данас се зна да су уочене промене последица смањења вијабилности и активности ћелија квасца јер се замрзавањем теста не редукује у значајној мери само ферментативна активност квасца, већ и активност ензима, микробиолошки и оксидативни процеси.

Оштећење ћелија квасца током замрзавања може бити изазвано интрацелуларним замрзавањем воде уколико је брзина замрзавања већа од оптималне, али и/или променама у растворљивости које се јављају уколико је брзина замрзавања мања од оптималне.

Када су ћелије изложене температури нижој од 0°C долази до иницијалног подхлађивања ћелијског садржаја. Успостављање равнотеже примарно зависи од брзине и начина хлађења и од пермеабилности ћелијских мембрана. Уколико се хлађење дешава споро или уколико је пермеабилност мембрана велика, равнотежа се постиже изласком воде из ћелије квасца при чему долази до дехидратације ћелије. Уколико је, пак, хлађење брзо, а пермеабилност мембрана мала вода не напушта ћелију и долази до интрацелуларног формирања леда. Овако формиран ситни кристали леда су погодни за раст захваљујући великој слободној енергији на њиховој површини. Раст кристала леда дешава се услед прерасподеле слободне воде у замрзнутом тесту током његовог складиштења. Сматра се да велики кристали леда механички оштећују цитоплазматску мембрану и/или мембране органела па долази до одумирања ћелије и изливања ћелијског садржаја у околни простор. Нека истраживања показују да је летални утицај раста кристала леда услед рекристализације, више изражен од утицаја иницијалног формирања кристала леда током замрзавања (Varriano-Marston i dr., 1980; Berglund i dr., 1991; Takano i dr., 2002a).

Без обзира да ли се равнотежа постиже интрацелуларним формирањем леда или дехидратацијом, на температури нижој од 0°C у ћелијама се смањује садржај течне воде, а расте концентрација интрацелуларног раствора што доводи до промене у растворљивости. Ефекти које промене у растворљивости имају на ћелије квасца, последица су четири процеса која се дешавају приликом замрзавања теста: вода се замрзава, интрацелуларни раствор се концентрује, запремина ћелија се смањује и растворци преципитирају. Сваки од ових процеса може појединачно бити узрок оштећења ћелија квасца, али треба имати у виду да се ови процеси, осим преципитације раствора, најчешће симултано дешавају током замрзавања теста што доводи до промена осмотског и онкодског притика. Ове промене су неповољне за ћелију (Kulp i dr., 1995).

Квасац који је замрзнут у тесту показује већу осетљивост на оштећења изазвана замрзавањем у односу на квасац који је директно замрзнут. Претпоставка је да је разлог овакве појаве чињеница да је квасац у замрзнутом тесту у неповољним условима (осмотски притисак) и у неповољној физиолошкој фази (Kulp i dr., 1995).

Опште је прихваћено да ферментација теста пре замрзавања има за последицу смањење стабилности замрзнутог теста и погоршање квалитета хлеба добијеног од замрзаног теста (Hino i dr., 1987; Báguena i dr., 1991;). Смањење ферментативне активности квасца у замрзаном тесту може бити изазвано физиолошким стањем ћелија квасца код којих током ферментације долази до напрезања ћелијске мембране што за последицу има већу подложност оваквих ћелија оштећењима услед замрзавања него што је то случај код ћелија у фази мировања. Метаболити квасца који су настали у току ферментације пре замрзавања, такође, у извесној мери утичу на активност ћелија квасца у замрзаном тесту (Hsu i dr., 1979a).

Замрзавање и чување теста у замрзнутом стању у великој мери утичу на вијабилност ћелија квасца и њихову ферментативну активност. Након 90 минута складиштења замрзнутог теста 52,4% од укупног броја ћелија иницијално присутних у тесту губи вијабилност (Ribotta i dr., 2003a). Ферментативна активност квасца, који је замрзнут складиштен у истом периоду умањује се за 27,7% (Wolt i D'Appolonia, 1984b; Inoue i dr., 1994; El-Hady i dr., 1996).

Услови замрзавања морају бити подешени тако да се сачува брза и по могућству велика способност квасца за реактивацију. Да би се то остварило потребно је да температура теста у средини комада буде испод  $-10^{\circ}\text{C}$ . Веома је значајна и брзина којом ће се задата температура постићи, јер од свих састојака теста квасац највише "трпи" уколико је брзина замрзавања сувише мала или сувише велика. Оптималну брзину замрзавања за ћелије квасца, која износи  $7-10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  (Gelinas, 1991), није могуће постићи у тесту. Замрзивачи могу остварити смањење температуре пшеничног, хлебног теста од  $1-2^{\circ}\text{C}/\text{min}$  јер је пшенично тесто је лош проводник. Теста која су у ферментисала пре замрзавања имају нешто вишу почетну температуру, али се брже расхлађују (Kulr, 1995).

Велике брзине замрзавања негативно утичу на ферментативну активност квасца у замрзаном тесту (Autio i Sinda, 1992; El-Hady i dr., 1996), као и на вијабилност ћелија квасца (Logenz, 1974). Применом великих брзина замрзавања повећава се осетљивост ћелија на негативан утицај дужине складиштења. Брзине замрзавања од  $-0,9^{\circ}\text{C}/\text{min}$  обезбеђују очување ферментативне активности квасца у највећој мери (Le Bail i dr., 1996).

### **Смањење способности теста да задржава гас**

Смањење способности теста да задржава гас настао ферментацијом дешава се услед постепеног смањења јачине глутена током складиштења у замрзнутом стању. Ово се може приписати смањењу умрежености глутена које је последица рекристализације леда и присуства редукујућих супстанци пореклом из квасца, и редистрибуцији воде која је провоцирана променама у капацитету везивања воде конституената теста (Autio i Sinda, 1992; Hsu i dr., 1979; Inoue i Bushuk, 1991; Kline i Sugihara, 1968; Ribotta i dr., 2001; Ribotta i dr., 2003b; Varriano-Marston i dr., 1980).

Први публиковани резултати указали су на везу између одумирања ћелија квасца током складиштења замрзнутог теста и смањења способности теста да задржава гас током ферментације (Kline i Sugihara, 1968; Hsu i dr., 1979a). Овај ефекат приписан је деловању редукујућих супстанци из лизираних ћелија квасца на глутенску структуру. Реакцијом сулфхидрилне групе трипептида глутатиона, пореклом из ћелијског садржаја квасца, са дисулфидним мостовима мреже глутена, нарушава се структура теста што узрокује промене његових реолошких особина. Глутатион изливен из ћелија квасца током складиштења замрзнутог теста остаје растворен у течној фази у околини ћелије. Количина течне фазе у замрзнутом тесту је ограничена, што узрокује повећање концентрације редукујућих средстава у околини ћелије. Могућност да реактанти дифундују унутар комада теста у току одмрзавања такође је умањена. Током премесивања и поновне обраде замрзаног теста могло би доћи до уједначене расподеле глутатиона и, поред тога, у извесној мери до оксидације теста инкорпорирањем ваздуха. Обзиром да се овај корак у производњи хлеба од замрзаног теста не практикује мала је могућност реконституције глутена чији су недостаци последица деловања редукујућих средстава. Да би се минимизовао ефекат оваквих промена прибегава се додатку одговарајућег типа адитива у одговарајућој количини у тесто при замесу.

Поређењем реолошког понашања безквасног и квасног теста уочено је да је квасац значајан фактор који утиче на особине теста. Активност квасца у замрзаном тесту условљава смањење отпора растезању и повећава растегљивост. Поред тога, закључено је и да редукујућа средства пореклом из ћелијског садржаја лизираних ћелија квасца у извесној мери умањују деловање натријум-бромата који је као оксидационо средство додат тесту. Екстензограмски показатељ, однос отпора растезању и растегљивости, расте са продужењем времена складиштења замрзнутог безквасног и квасног теста и указује на утицај времена складиштења на квалитет теста, односно чврстину глутенске мреже. Ове промене нису једнаке за обе врсте теста и вероватно се могу приписати оксидујућем деловању натријум-бромата у тесту и његовој интеракцији са редукиционим средствима која потичу из ћелијског садржаја лизираних ћелија квасца (Vargiano-Marston i dr., 1980).

Каснија истраживања су показала да је за погоршање реолошких особина замрзаног теста и неприхватљиво продужење времена завршне ферментације у већој мери одговорно механичко оштећење глутена кристалима леда, а да је утицај редукиционих средстава из ћелијског садржаја лизираних ћелија квасца на реолошке особине замрзаног теста мање изражен. Постоји могућност да су аутори при тумачењу резултата потценили концентарцију редукиционих средстава која се нагомилавају у околини ћелија квасца, а које могу представљати проблем током складиштења замрзнутог теста, одмрзавања и ферментације (Wolt i D'Appolonia, 1984b).

Тумачења истих екстензиограма од старане других аутора указала су на могућност да јачина глутенске мреже замрзаног теста зависи од активности редукиционих средстава из ћелијског садржаја лизираних ћелија квасца, прерасподеле воде која је условљена променама у капацитету везивања воде састојака брашна, или од комбинације оба наведена фактора (Inoue i Bushuk, 1991; Inoue i dr., 1994). Резултати ових аутора показују да глутенска мрежа замрзаног теста губи на јачини током складиштења, што је у супротности са раније публикованим резултатима. Ове разлике можда се могу објаснити чињеницом да је у потоњим истраживањима као оксидујуће средство употребљена аскорбинска киселина уместо натријум-бромата.

Вискоеластична мерења су показала извесне промене у реолошком понашању теста условљене замрзавањем и одмрзавањем. Уочене промене су приписане смањењу броја мостова између ланаца глутена и слабљењу глутенске мреже. Додатак садржаја лизираних ћелија квасца у тесто није значајно утицао на промену његових реолошких карактеристика чиме је показано да улога редукујућих супстанци из квасца није пресудна за слабљење мреже глутена (Autio i Sinda, 1992).

Током складиштења теста у замрзнутом стању у току 24 седмице формирају се кристали леда који механички оштећују мрежу глутена услед чега матрикс постаје нехомоген и долази до сегрегације скроба. Ове проеме структуре теста за последицу имају смањење специфичне запремине од њега добијених векни и неприхватљиво продужење времена ферментације (Berglund i dr., 1991, Gélinas i dr., 1995).

Слабљење глутена може бити изазвано и деловањем протеаза које раскидају пептидне везе глутена. Ова реакција слаби глутенску мрежу, па се као последица јавља смањење моћи теста за задржи гас и неприхватљиво пролонгирање времена завршне ферментације. Висок ниво ових ензима у брашну од целог зрна пшенице чини га неподесним за припрему замрзнутог теста. Значајан је утицај и ензимских додатака (фунгални, бактеријски или ензими житарица) тесту на структуру глутена. Стога се употреба ових састојака у производњи замрзнутог теста које ће се складиштити у дужем временском периоду не препоручује.



Промене особина средине хлеба добијеног од замрзаваног теста последица су промена на скробу, а зависе од дужине складиштења замрзаваног теста. Постоји значајна позитивна зависност између односа амилозе и амилопектина, времена ферментације и запремине векни. Продужење времена складиштења замрзнутог теста негативно утиче на однос амилозе и амилопектина. Није сигурно да ли уочени ефекат указује на неку значајну функционалну промену или се само рефлектује на висок степен ретроградације растворљивог скроба (Wolt i D'Appolonia, 1984b).

Замрзавање и одмрзавање теста на  $+4^{\circ}\text{C}$  умањују температуру желатинизације скроба. Ова тврдња може се објаснити закључцима ранијих истраживања. У природном скробу, температура желатинизације праћена DSC-ом (*Differential Scanning Calorimetry*), зависи од величине и типа гранула скроба и садржаја и расподеле влаге (Fardi i Faubion, 1988). Раст кристала леда током складиштења замрзнутог теста указује да се вода током складиштења замрзнутог теста издваја из глутенског матрикса и скроба и мигрира у "резервоаре" (Berglund i dr., 1991). Смањење температуре желатинизације скроба у замрзнутом тесту може се приписати успорењу дифузије воде у грануле скроба или увећању кристала леда у замрзнутом тесту (Autio i Sinda, 1992).

Резултати досадашњих истраживања показују да је улога скроба у промени квалитета замрзаваног теста минорна, али да се прерасподела воде између брашна и осталих састојака теста дешава (Kulr, 1995). Брашно оштећеног скроба има већи капацитет везивања воде (Tipples, 1969) па је могуће да вода у замрзнутом тесту мигрира из глутена у оштећене грануле скроба. Овој тврдњи у прилог иду резултати који показују да садржај воде која се може замрзнути расте у замрзнутом тесту са продужењем његовог складиштења (Lu i Grant, 1999). Садржај овакве воде у замрзнутом тесту је већи уколико је температура складиштења  $-15^{\circ}\text{C}$ , а мањи при температури  $-25^{\circ}\text{C}$  (Bot, 2003).

Снимци начињени електронским микроскопом показују да замрзавано тесто има структуру сличну пени која је настала инкорпорирањем гасних мехурова у скроб/глутенски матрикс (Zounis i dr., 2002). Гасни мехурови на снимцима се идентификују као шупљине сферног облика. Постојање вишеугаоних шупљина доказује да у гасним мехуровима долази до формирања кристала леда који деформишу њихов облик и нарушавају основну пенасту структуру. Незамрзаванао тесто има "густу" структуру са великим бројем сферних шупљина и сферним гранулама које су приљубљене уз глутен, али нема кристале леда. Тесто које је замрзнуто складиштено 24h на  $-20^{\circ}\text{C}$  има много порознију структуру са значајно већим бројем сферних и угластих шупљина чије је постојање последица ферментативне активности квасца, али и формирања кристала леда током замрзавања и складиштења замрзнутог теста. Мрежа глутена у замрзаваном тесту је у већој мери растегнута него што је то случај код незамрзаваног. У узорцима незамрзаваног теста глутенски матрикс чини континуалну фазу уз коју су чврсто приљубљене грануле скроба. Након 10 седмица складиштења замрзнутог теста на  $-20^{\circ}\text{C}$ , величина шупљина се повећава и расподела величина постаје мање уједначена. Значајно је већи број угластих шупљина него сферних. Дугачке нити глутена, које су присутне у тесту које није замрзавано и у ономе које је замрзнуто складиштено 24h, нису уочљиве у тесту које је складиштено у замрзнутом стању 10 седмица. Током складиштења замрзнутог теста до 27 седмица долази до додатног нарушавања континуалне структуре теста: грануле скроба се издвајају из глутенске мреже, величина шупљина се значајно повећава, а уочава се још већи број угластих шупљина великих димензија. На основу оваквих резултата аутори су закључили да током складиштења замрзнутог теста несумњиво долази до оштећења његове структуре која су изазвана растом кристала леда и миграцијом воде.

Електрофорезом глутена из замрзаваног теста утврђен је велики број олигомера малих молекулских маса који су настали деполимеризацијом глутенина. Обзиром да је анализиран глутен из теста које је више пута подвргнуто сукцесивном замрзавању/одмрзавању, резултати несумњиво сведоче да ове технолошке операције доводе до денатурације протеина (Keneddy, 2000).

У замрзаваном тесту мањи је садржај јединица глутенина великих молекулских маса него што је то случај код незамрзаваног теста. Уочена појава последица је деполимеризације глутенског матрикса чији се интензитет повећава са продужењем складиштења замрзнутог теста на  $-18^{\circ}\text{C}$ . Редистрибуција воде, рекристализација леда и повећан садржај воде која је подложна замрзавању делују на глутенски матрикс омогућавајући деполимеризацију фракције глутенина великих молекулских маса (Ribotta i dr., 2001, Sharadanant i Khan, 2006). Услед оваквих промена способност замрзаваног теста да задржи гас је умањена у односу на незамрзавано тесто, што у крајњој инстанци доводи до смањења специфичне запремине од њега добијених пекарских производа.

Електронски снимак незамрзаваног теста показује да су грануле скроба чврсто уклопљене у глутенски матрикс. Код теста које није третирано хидроколоидима, а скалдиштено је у замрзнутом стању 8, односно 16 седмица, електронском микроскопијом је доказано интензивно оштећење глутенске мреже из које су издвојене грануле скроба. Додатком арапске гуме и гуме семена рогача у тесто оно постаје отпорније на негативне ефекте замрзавања и скалдиштења у замрзнутом стању (Sharadanant i Khan, 2006).

#### 3.3.4.3. ТЕХНИКА ЗАМРЗАВАЊА ТЕСТА

Литература наводи различита мишљења о оптималној брзини замрзавања. Неки препоручују брзо, а други споро замрзавање комада теста (Neureneuf i Nitsche, 1989; Neureneuf i Delruech, 1993). Изрази као што су "брзо" и "споро" често се јављају у литератури, а требали би их изоставити због могућности субјективног тумачења. Да би се избегле недоумице потребно је дефинисати састав теста, величину и облик комада, температуру замрзавања и температуру у центру комада теста.

Да би се обезбедило брзо и уједначено хлађење, комади теста се једнослојно постављају на перфориране полице/тацне које се смештају у комору за замрзавање. Замрзавање тече док температура у центру комада теста не достигне  $-15^{\circ}\text{C}$ . Уколико је могуће температура околине у току замрзавања треба да је  $-30^{\circ}\text{C}$ . Пожељна је употреба  $\text{CO}_2$  (Gormley, 1990). Као погодна температура за замрзавање, сматра се температура простора од  $-30^{\circ}\text{C}$ . Примена температуре од  $-60^{\circ}\text{C}$  даје лошије карактеристике готових производа, чак и када се процес прекине при достизању  $-20^{\circ}\text{C}$  у центру комада теста, услед оштећења квасца у спољашњим слојевима (Brack i Hanneforth, 1991).

Брзина замрзавања коју је пожељно применити зависи од више фактора (Kulp i dr., 1995). Најважнији од њих су: величина (маса комада теста); облик комада (највећи пречник); састав теста (садржај соли и адсорбена); конструкција ферментационе коморе (положај контролног термометра); паковање и карактеристике коморе за замрзавање (температура и услови одвођења топлоте). На промену брзине замрзавања може се утицати променом температуре простора за замрзавање, брзине вентилатора и почетне температуре теста (Brack i Hanneforth, 1991).

Код замрзавања теста која ће се складиштити у дужем временском периоду потребно је обезбедити брзу размену топлоте, па се препоручује употреба криогених гасова.

Истраживања показују да ћелије квасца које су неоштећене замрзавањем на  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ , не губе своју способност формирања гаса. Спорије замрзавање, на нижим температурама  $-35^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ , ипак изазива оштећења ћелија (Kulp i dr., 1995). Велике брзине замрзавања узрокују већу осетљивост теста током дужег складиштења у замрзнутом стању, у односу на мале брзине (Le Bail i dr., 1996).

Истраживања показују да плочасти комади теста дебљине 2cm који су замрзавани споро (90 min до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) показују након одмрзавања бржу и интензивнију продукцију гаса у односу на комаде који су замрзавани брзо (20 min до  $-20^{\circ}\text{C}$ ). Ово указује на недостатке сувише брзог замрзавања. Микробиолошки тестови показују да проценат преживљавања ћелија квасца након једнодневнoг складиштења у замрзнутом стању износи 77% код споро замрзнутог, односно 62% код брзо замрзнутог узорка теста. Након седмодневнoг складиштења добијене вредности су 61%, односно 51%, респективно. Смањење броја ћелија квасца објашњава уочено смањење продукције гаса за 30% након седмодневнoг складиштења, односно смањење вредности истог показатеља за 48% након четири седмице складиштења теста у замрзнутом стању. У сваком случају, било да се плочасти комади теста замрзавају брзо на ниским температурама, или помоћу криогених гасова, резултат је значајно смањење активности квасца. Што је нижа температура замрзавања, мањи је број неоштећених ћелија квасца и мања способност формирања гаса, а смањен је и еластицитет теста. Ферментативна активност замрзаваних, неоштећених ћелија квасца и оних које нису замрзаване, је слична (Kulp i dr., 1995).

Више аутора испитивало је утицај брзине замрзавања на квалитет теста која нису ферментисала пре замрзавања. Неки аутори указују да веће брзине замрзавања, у интервалу  $0,17^{\circ}\text{C}/\text{min}$  до  $0,43^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , узрокују веће смањење ферментативне активности квасца (ферментографске вредности), али и значајнија оштећења мреже глутена (запремина теста и хлеба) (Navet i dr., 2000). Други пак сугеришу, да се оптималан квалитет замрзаваних теста добија уколико се примени брзина замрзавања од  $0,3-0,7^{\circ}\text{C}/\text{min}$  (Kremić, 1989). Разлике у ставовима указују на неопходност оптимизације операције замрзавања за сваки конкретан случај.

За замрзавање теста и његово складиштење препоручују се раздвојене јединице опреме јер је непожељно често отварање врата замрзивача и додавање незмрзнутих комада теста које условљава варирања у температури складиштења и садржају влаге у комори.

#### 3.3.4.4. ТЕХНИКА СЛАДИШТЕЊА

Најбоље резултате у погледу квалитета и запремине пецива даје температура складиштења теста од  $-20^{\circ}\text{C}$  (Brack i Hanneforth, 1991). Током складиштења замрзнутог теста, непожељно је веће варирање температуре, јер се оно негативно одражава на квалитет готових производа. При температури складиштења од  $-18^{\circ}\text{C}$ , варирање температуре треба да је мање од  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (Vebić, 1974).

У току складиштења дешавају се физички и ензимски процеси који изазивају промене у тесту. Ове промене у већој мери делују на глутен и ћелије квасца, а у мањој на скроб.

Глутенски матрикс се мења, посебно са продужењем времена складиштења замрзнутог теста. Ове промене су више изражене уколико долази до варирања температуре складиштења, или уколико је она око тачке мржњења воде у том систему. Када се температура складиштења подигне на око и изнад  $-15^{\circ}\text{C}$ , значајна количина слободне воде је незамрзнута и као таква учествује у различитим реакцијама. Током складиштења у

замрзнутом стању, инкорпорирање гранула скроба у глутенски матрикс се редукује. Уколико је током мешања постигнуто потпуно опкољавање и препокривање гранула скроба, у току замрзавања скробне грануле бивају откривене и постају изложене оштрим условима процеса замрзавања (Berglund i dr., 1990). Рателјивост теста, које настаје као одговор на продукцију CO<sub>2</sub> се редукује, а ферментографске анализе показују мању количину створеног гаса. Притисак гаса је мањи због смањене продукције (Gormley, 1990).

Истраживања показују да је оштећење глутенског матрикса, а тиме и погоршање квалитета готовог производа директно сразмерно продужењу времена складиштења замрзнутог теста (Nemeth i dr., 1996). Са продужењем времена складиштења, за реактивацију хелија квасца и достизање пуне активности потребно је дуже време, али при томе растегљивост теста остаје смањена (Kulr i dr., 1995).

Ефекат складиштења замрзнутог теста на хелије квасца условљен је променама у стабилности пора и садржаја масних киселина у хелијској мембрани. Највећи утицај услови складиштења имају на фосфолипиде и слободне стероле (Neureneuf i Nitsche, 1989). Пожељним се показао велики однос фосфолипида и слободних стерола. Поларни липиди, посебно галактозил липиди, који се деградирају током складиштења замрзнутог теста, не умањују само растегљивост теста већ редукују и функционалност глутена.

Прихватљива дужина складиштења замрзнутих хлебних теста од пшеничног брашна је до две седмице (Abd El-Наdu i dr., 1996). Продукција гаса у замрзаном тесту се смањује са продужењем времена складиштења, а разлике су несумњиве уколико се упореде вредности овог показатеља за теста која су складиштена један дан и четири седмице. Квалитет замрзаног хлебног теста и од њега добијеног готовог производа употребљив је за потрошаче уколико складиштење замрзнутог теста не траје дуже од четири седмице.

Пораст енталпије теста које је складиштено у замрзнутом стању у току 16 седмица указује да се постоји могућност да се ретроградација у узвесном степену дешава унутар гранула скроба током складиштења замрзнутог теста или током одмрзавања. Поред тога пораст енталпије је можда последица разлике у садржају воде која се јавља као последица оштећења скроба и замрзавања.

Оптимални услови складиштења теста у замрзнутом стању морају се обезбедити и током транспорта, посебно уколико се жели даље складиштење након испоруке (Kulr i dr., 1995).

### 3.3.5. ПАКОВАЊЕ

Када се у центру комада теста достигне температура од -15°C, комади теста су очигледно стврднути, али се њима мора манипулисати пажљиво. За даље складиштење, замрзнути комади теста се пакују. Пожељно би било да се температурни услови током паковања комада замрзнутог теста не мењају значајно у односу на услове током замрзавања и да се тесто пакује у херметичним условима (Gormley, 1990).

Обзиром да је квасно тесто активан биолошки систем, деловањем ензима брашна у току замрзавања, складиштења теста у замрзнутом стању и одмрзавања долази до промена вредности рН, настанка мрких пигмената, ослобађања гаса, воде и других метаболита. Микроорганизми, природно присутни или додати у тесто, својим метаболичком активношћу ослобађају гас и мењају киселост. Ове промене значајно утичу на промену квалитета замрзнутог теста и умањују његову трајност. Добро изабран амбалажни материјал минимизоваће негативне и фаворизовати позитивне ефекте.

Амбалажни материјали који се користе за паковање замрзнутог квасног теста требао би, првенствено, да минимизује губитак влаге, оксидативне процесе и микробиолошки раст у периоду складиштења. Неопходно је, дакле, да одабрани материјал омогућава минималну пропустљивост гасова и влаге, поседује отпорност на лом и оштећења услед ниских температура, крутост која омогућује машинско паковање и добру температурна стабилност (Kulp i dr., 1995; Mallet, 1993, Le Bail i dr., 1999).

За паковање замрзнутог квасног теста у литератури се препоручују пластични материјали као што су комбинације етиленвинилацетата са линеарним полиетиленом ниске густине или мешавина линеарног полиетилена ниске густине са полиетиленом високе густине. Комбиновање линеарних полиетилена са другим пластичним материјалима повећава им чврстину у механичку отпорност (Kulp i dr., 1995).

### **3.3.6. ОДМРЗАВАЊЕ**

Одмрзавање замрзнутог теста пре ферментације је неопходна технолошка операција чији је циљ постизање најбољих особина теста и од њега добијеног готовог пекарског производа. У току одмрзавања дешава се рехидратација система, претежно глутенског матрикса и ћелија квасца (Kulp i dr., 1995).

Одмрзавање се обавља на изабраној константној температури или у условима повећавања температуре током времена, што је метод избора и то из два разлога. Прво, током одмрзавања, на површини теста дешава се кондензација јер је тесто хладније од околног ваздуха. Уколико је ова температурна разлика велика, површина комада ће се влажити. Овакво тесто је сувише влажно је лепљиво, па од њега добијени готови производи имају суву кору и смањену запремину. Поред тога, на површини од њега добијеног готовог производа се јављају мрље и пликови који нарушавају равномерност златножуте боје коре и производ чине сензорно неприхватљивим. Одмрзавање уз позитивне прираштаје температуре минимизује ове ефекте. Са друге стране, нагло одмрзавање повећава температуру само у спољашњим слојевима комада теста што их чини спремним за ферментацију, док је центар комада теста још увек у замрзнутом стању.

За тесто које је ферментисало пре замрзавања препоручује се да се на собној температури одмрзава у току 40 min да би се избегла прекомерна кондензација, док се за теста која нису ферментисала пре замрзавања овај период продужава на 60 min. Очекује се да је тада температура у центру комада теста 5°C (Kulp i dr., 1995).

Неки аутори препоручују успорено одмрзавање теста током 16 h на 4°C, и након тога ферментацију на 30°C при релативној влажности 85% (Lu i Grant, 1999).

За одмрзавање се препоручује употреба микроталаса у дефинисаним условима. Примена таласа мале енергије у дужем временском периоду (70W током 7-9 min на 50g теста) даје боље резултате него примена таласа велике енергије у краћем временском интервалу (Kulp i dr., 1995).

### 3.3.7. ФЕРМЕНТАЦИЈА ТЕСТА НАКОН ОДМРЗАВАЊА

Да би добили хлеб мале масе и велике запремине, са добро развијеном средином, тесто мора одређено време да ферментира. Услед активности квасца дешавају се бројне промене у тесту, које доводе до зрења теста. Зрело тесто показује оптималне реолошке особине као што су растељивост и еластичност и даје хлеб велике запремине са оптимално развијеном средином fine структуре пора.

Алкохол настао током ферментације утиче на колоидну природу протеина и мења површинске напоне унутар теста. CO<sub>2</sub> доприноси лабављењу и нарастању теста, а како се један део раствара у течной фази теста уз образовање угљене киселине, и снижењу рН (Giannou i dr., 2003). Производи ферментације као што су органске киселине (млечна, сирћетна, мравља), естри, алдехиди и кетони, имају улогу у формирању ароме хлеба.

Брзина ферментације зависи од количине квасца и температуре теста. Ферментација се одвија у условима контролисане температуре и релативне влаге, како би се спречило исушивање теста и избегла тзв. дивља ферментација (услед активности дивљих квасаца, млечнокиселих и сирћетних бактерија, плесни). Завршна ферментација, код замрзаваних теста траје 35-60 min, на температури 35-40°C и релативној влажности 75-80% (Žeželj, 2005).

Замрзавана теста која се подвргавају ферментацији након одмрзавања имају мањи садржај влаге и хладнија су у односу на замрзавана теста у тренутку зампочињања ферментације. Ови недостаци резултују променама у физичким и биохемијским особинама теста као што су еластичност, ферментативна активност, ензимска активност и ниво оксидоредукционих процеса. Ово су разлози због којих се услови ферментације морају прилагодити конкретном случају.

Замрзавана теста ферментису на 32-43°C. За хлебно тесто се препоручује нижа, а за пецива виша температура ферментације. Влажност у комори за ферментацију треба да је нешто нижа него код замрзаваних теста, односно треба да се креће у интервалу од 70-75%. Време ферментације замрзаваних теста значајно је дуже у односу на замрзавана теста истог састава. Ово је последица значајно ниже температуре у центру комада замрзаваног у односу на замрзавано тесто, смањењем могућности замрзаваног теста да задржава гас услед оштећења глутенске мреже и губитком активности квасца због процеса замрзавања. Уколико ферментација комада замрзаваног теста масе 510g траје 50-60 min, комад замрзаваног теста исте масе, под истим условима ферментисаће 75-90 min (Kulr i dr., 1995).

### 3.3.8. ПЕЧЕЊЕ

Печење је завршна фаза израде хлеба, током које долази до бројних физичких, хемијских и биохемијских промена као што су повећање запремине, испаравање воде и лако испарљивих материја, денатурација протеина, желирање скроба, инаktivација ензима, формирање структуре и боје коре. Највећа промена је експанзија мехурића CO<sub>2</sub> и настајање мреже пора (Autio i Laurikainen, 1997). Печење такође разара ензиме и микроорганизме укључујући пекарски квасац, али и контаминенте пореклом из сировина (Fellows, 1997).

Свеже печен хлеб има дивну арому која се рапдно губи током хлађења и складиштења. Током печења, настају многи алкохоли који се највећим делом губе у атмосфери пећи, као и велики број органских киселина и карбонилних једињења која се могу идентификовати у хлебу, а за која се верује да су значајне компоненте пријатног мириса. Формирање боје коре је првенствено резултат Maillard-ових реакција, а мање реакција карамелизације (De Man, 1990),

Печење се одвија у условима контролисане температуре и релативне влажности. Трајање печења зависи од масе и облика производа, начина довођења топлоте и топлотног режима, начина печења (у калупима или слободно), густине стављања комада теста на под пећи и особина теста које се пече (Auerman, 1988).

Најбољи квалитет пекарских производа од замрзаваног теста постиже се уколико је температура у центру комада теста у тренутку смештања у пекарску пећ  $\approx 25^{\circ}\text{C}$ . Минимална задовољавајућа температура је  $\approx 15^{\circ}\text{C}$ . Уколико се пече потпуно ферментисано, односно лепо развијено и зрело замрзавано тесто услови у пекарској пећи слични су условима под којима се пече незамрзавано тесто. Уобичајено време печења од 20 min на температури која је нешто нижа од уобичајене ( $\approx 10\text{-}20^{\circ}\text{C}$ ), уз мање дозирање паре у почетним фазама печења даје производе доброг квалитета од теста које је ферментисало пре замрзавања. Производи који се добијају од теста које није ферментисало пре замрзавања треба да се пеку 40 min (Kulpr i dr., 1995).

### 3.3.9. ЧУВАЊЕ ХЛЕБА

Температура коре хлеба, непосредно по изласку из пећи, је у просеку око  $130^{\circ}\text{C}$ , а средине хлеба  $95\text{-}98^{\circ}\text{C}$ . У том тренутку кора је готово обезводњена и због тога тврда и крта. Током хлађења хлеба, влажност коре се повећава услед премештања влаге из средине и апсорпције из околног простора, па она постаје мека, еластична и гумаста (He i Hoseneu, 1990). При дугом чувању незапакованог хлеба кора опет постаје тврда и крта. Средина хлеба се хлади спорије од коре. Током чувања хлеба након печења у полиетиленској амбалажи запажено је да долази до смањења влаге средине и стишљивости (Auerman, 1988).

При чувању хлеба у уобичајеним температурним условима ( $15\text{-}25^{\circ}\text{C}$ ), приближно за 10-12 h јављају се знаци старења, који су све израженији са продужењем времена чувања хлеба. При томе мека, лако стишљива и немрвљива средина постаје све тврђа, мање стишљива и мрвљива, глатка, тврда и крта кора постаје мека, еластична и понекад смежурана, а интензивна пријатна арома и укус свежег хлеба постепено се губе (Auerman, 1988).

Различити аутори су опазили позитивне ефекте додатка гума у тесто. Неки од њих сугеришу замену једног дела брашна гумом семена рогача чиме се постиже задржавање свежине хлеба у дужем временском року (Scwharzlaff i dr., 1996). Други пак, указују да додатак различитих гума у тесто побољшава особине замрзаваног теста и од њега добијених готових пекарских производа (Ward i Andon, 1993; Sharadanant i Khan, 2003a i 2003b).

### 3.4. НУМЕРИЧКО РЕШАВАЊЕ МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА ЗАМРЗАВАЊА И ОДМРЗАВАЊА

Применом нумеричког моделовања могу се предвидети промене које се дешавају током процеса са циљем побољшања квалитета финалног производа. Да би процене биле што прецизније, аутори који се баве моделовањем пажњу посвећују како развоју модела, тако и методологији одређивања термичких и физичко-хемијских особина производа. За валидацију модела и нумеричких метода помоћу којих су они развијени, од пресудног значаја су експериментални подаци.

Аутори публикованих радова су за решавање једначина преноса количине кретања, масе и топлоте, које описују промене током замрзавања, односно одмрзавања прехранбених производа, користили различите нумеричке методе. При томе су разматрани *ригорозни модели* базирани на парцијалним или обичним диференцијалним једначинама (Weltichanes i dr., 2005; Sun i Xing, 1999). Најчешће су коришћени нумерички методи као што су метод коначних разлика и метод коначних елемената. Одређени број аутора користио је и стандардни приступ кроз *CFD (Computational Fluid Dynamics)* симулацију (Wang, 2003). Публикована решења односе се на једначине преноса топлоте или једначине симултаног преноса масе и топлоте. Овакви, ригорозни модели узимају у обзир читав низ параметара па врло прецизно описују процес. При разматрању, моделовању и решавању ових једначина јавља се проблем детерминације термичких и физичко-хемијских особина прехранбених производа као што су нпр: специфична топлота, енталпија, енталпије фазних трансформација, термичка проводљивост и термичка дифузивност (Lind, 1991). Већина наведених параметара процењује се на основу једначина и корелација које су специфициране за одређене прехранбене производе и конкретне параметре процеса. Јасно је да су овакве процене оптерећене значајним грешкама. Обзиром да је решавање ригорозних модела комплексно, а мерење или предвиђање термичких и физичко-хемијских параметара отежано, они нису, или су у малој мери, примењиви за индустријске потребе.

Друга група модела којој је посвећена пажња су *аналитички модели*. То су једноставније једначине које се добијају из ригорозних модела усвајањем различитих апроксимација (Salvadori i Mascheroni, 1991; Mihori i Watanabe, 1994; Campañone i dr., 2005; Pham, 1996; Mittal i Zhang, 2000). Аналитички модели су засновани на теоријској основи и као такви обухватају параметре који директно описују параметре процеса. У литератури су најчешће примењивани модели по методу Plank-а и његове апроксимације (Delgado i Sun, 2001) и модели по методу Pham-а и његове апроксимације (López-Leiva i Hallström, 2003). Обзиром на њихову једноставност, аналитички модели су са становишта погонског инжењера, у односу на ригорозне моделе, далеко прихватљивији за имплементацију у процесу производње.

Најједноставнији, и на први поглед најпогоднији за примену у индустријским условима су *статистички модели*. Овакви модели базирају се на експерименталним подацима који су обрађени различитим статистичким методима и немају теоријску основу. Параметре који егзистирају у овако добијеним једначинама тешко је, или готово немогуће, довести у везу са параметрима реалног процеса. Произвођачи опреме за замрзавање или одмрзавање, која је намењена прехранбеној индустрији, своје препоруке најчешће базирају на управо оваквим моделима.



Литература сведочи да се велика пажња посвећује нумеричком моделовању замрзавања и одмрзавања у различитим областима прехранбене технологије, али је минималан број радова који се баве пекарским производима. Чак и када је предмет теоријских разматрања пекарски производ, најчешће су у питању готови пекарски производи који се замрзавају са циљем очувања квалитета у дугом времену складиштења. Замрзавање, односно одмрзавање теста врло ретко се у литератури описује математичким моделима. Метаболичка активности квасца од које у највећој мери зависе особине теста, отежава предвиђање понашања квасног теста током замрзавања и одмрзавања, али и одређивање његових особина које су од суштинског значаја за развој прецизног модела. Читав низ апроксимација и непрецизних претпоставки које би се морале усвојити при моделовању оваквих процеса вероватно су разлог због кога су публиковани радови у овој области малобројни.

Један од предложених аналитичких модела описује замрзавање и одмрзавање прехранбених производа са великим садржајем воде, стандардних геометријских облика. Овај метод базиран је на једначинама у којима егзистирају променљиве који симултано утичу на температуру замрзавања и одмрзавања, термичке и физичке особине прехранбеног производа и његове димензије, као и процесне параметре. На основу овог модела извршена је процена времена замрзавања и одмрзавања меса, кобасица, рибе, агар гела, тилоза гела и кромпир пиреа, при чему је максимална грешка за посматране прехранбене производе 5%. Аутори предлажу примену овог модела и за друге прехранбене производе (Salvadori i Mascheroni, 1991).

## **4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИ**

### **4.1. МАТЕРИЈАЛ**

#### **4.1.1. БРАШНО**

За замес је коришћено комерцијално пшенично брашно Т-500, просечног квалитета, какво се уобичајено налази на тржишту. Због временског тока огледа, који обухвата три сезоне, коришћено брашно је различитих карактеристика. Од момента узорковања са тржишта, до момента употребе брашно је складиштено на  $-20^{\circ}\text{C}$ , а анализе квалитета вршене су непосредно пре употребе. Показатељи квалитета брашна приказани су у оквиру Поглавља 4 ове дисертације.

#### **4.1.2. КВАСАЦ**

У експерименталном раду коришћен је комерцијални суви или свежи пекарски квасац домаћег произвођача. Карактеристике и количина квасца додата тесту рачуната је у односу на брашно и наведена је код сваког појединачног огледа.

#### **4.1.3. ВОДА**

У свим огледима коришћена је водоводска вода квалитета воде за пиће. Количина воде којом је извршен замес варира у зависности од циља експеримента и наведена је у плану сваког појединачног огледа.

#### **4.1.4. СО**

У свим огледима за замес је коришћена комерцијална кухињска со у количини од 2% у односу на брашно како се уобичајено примењује у традиционалном поступку припреме хлеба.

#### **4.1.5. ДОДАЦИ**

У зависности од циља конкретног огледа у тесто приликом замеса нису/су додавани различити адитиви. Избор је вршен на основу литератутних препорука и усвојене процедуре припреме теста. Коришћени су комерцијална аскорбинска киселина и биљна маст прехранбене чистоће, и хидроколоиди ксантан (Kelzan, Kelco Company USA), карбоксиматилцелулоза (Hercules, Willmington, DE), и к-карагенан (Fluka, AG, Buchs, Switzerland). Количина додатака, у односу на брашно, наведена је код плана експеримента.

## 4.2. МЕТОДЕ РАДА

### 4.2.1. АНАЛИЗЕ КВАЛИТЕТА БРАШНА

Извршене су следеће анализе брашна према Правилнику о методама физичких и хемијских анализа за контролу квалитета жита, млинских и пекарских производа, тестенина и брзо смрзнутих теста (СЛ СФРЈ бр. 74/88):

- садржај воде (методе 1.8; 3.5),
- садржај пепела (методе 1.10; 2.7),
- садржај протеина (методе 1.12; 2.3; 4.3),
- киселински степен (метода 1.16),
- садржај влажног глутена (Kaluderski i Filipović, 1998),
- фаринографске карактеристике (метода 1.25),
- екстензографске карактеристике (метода 1.26),
- амилографске карактеристике (метода 1.27).

### 4.2.2. АНАЛИЗЕ КВАСЦА

Узорци квасца су анализирани следећим методама:

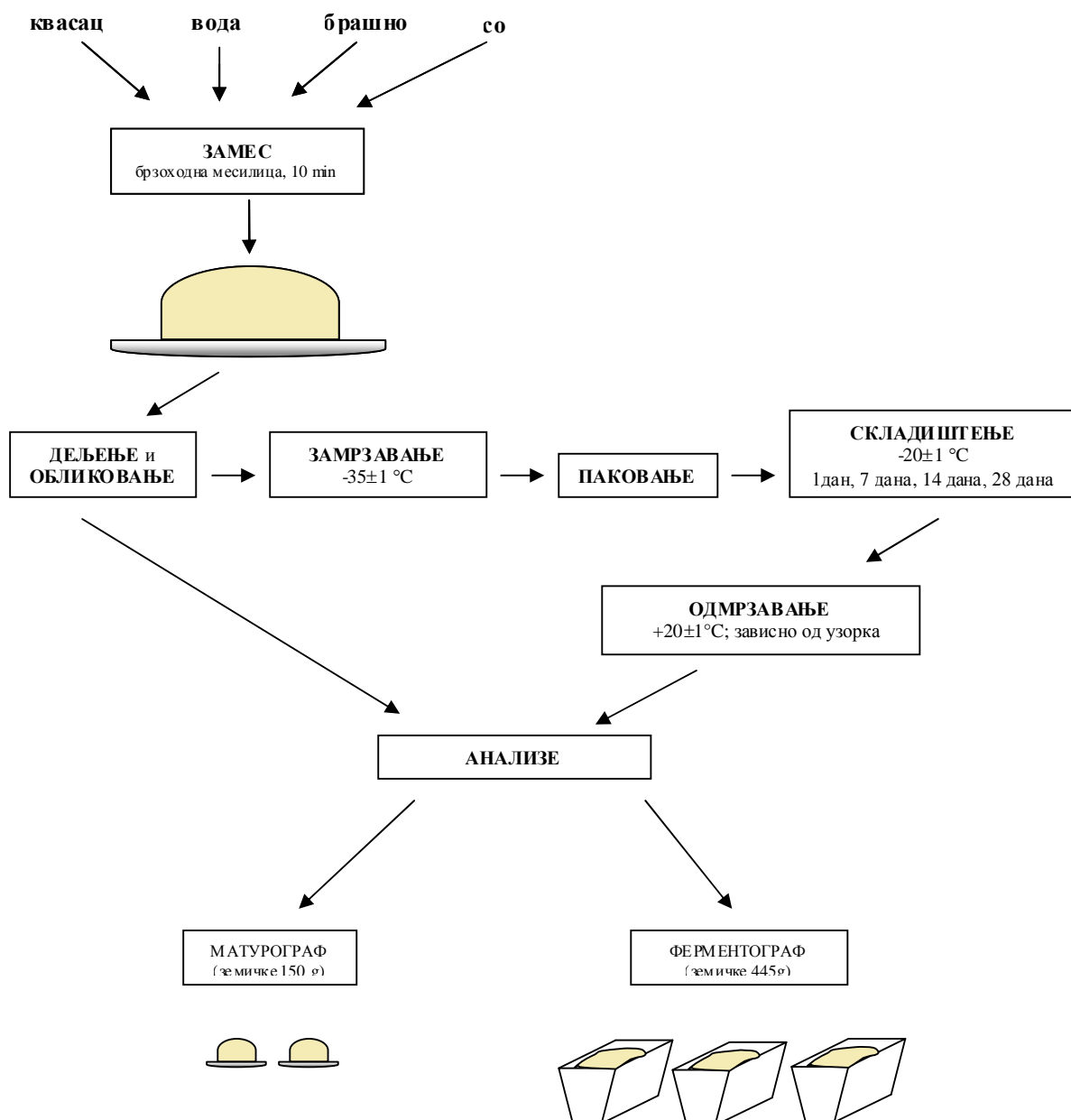
- сува материја је одређена методом за Одређивање садржаја воде у пекарском квасцу која је прописана ЈУС-ом Е.М8.022 од 28.10.1987. године (СЛ СФРЈ бр.56/87); садржај протеина одређен је методом за Одређивање садржаја сирових протеина (Правилник о методама физичких и хемијских анализа за контролу квалитета жита, млинских и пекарских производа, тестенина и брзо смрзнутих теста, СЛ СФРЈ бр. 74/88);
- садржај укупних угљених хидрата је одређен модификованом методом по Trevelyanian-у и Harrison-у (1956);
- садржај трехалозе је одређен модификованом методом по Trevelyanian-у и Harrison-у (1956).

### 4.2.3. ПОСТУПАК ПРИПРЕМЕ ЗАМРЗНУТОГ ТЕСТА И ОД ЊЕГА ДОБИЈЕНОГ ГОТОВОГ ПРОИЗВОДА

Поступак припреме теста не разликује се значајно код појединачних огледа у погледу примењених технолошких операција. Избор и количина сировина, као и њихова припрема нису исти код свих огледа. Поред тога значајне су разлике и у примењеним процесним параметрима. Наведени разлози захтевају детаљан опис сваког појединачног експеримента.

#### 4.2.3.1. ИЗБОР КОМЕРЦИЈАЛНОГ КВАСЦА ОПТИМАЛНИХ КАРАКТЕРИСТИКА

У погледу количине, форме или соја квасца који је пожељно применити за припрему теста које ће се замрзавати у литератури се срећу веома различити наводи, што је документовано у Поглављу 2 ове дисертације. Домаће тржиште нуди неколико комерцијалних свежих квасца и њихових сувих форми као и неколико увозних артикала. Идеја је била да се на основу резултата експеримената издвоји комерцијални квасац широко доступан на нашем тржишту који ће омогућити производњу готових производа добијених од замрзаног теста прихватљивог квалитета. У том смислу, у овом делу истраживања у највећој могућој мери је имитиран традиционални поступак производње хлеба.



Слика 5: Поступак припреме узорака за испитивање употребљивости комерцијалног пекарског квасца у замрзаном квасном тесту

Потребна количина састојака теста, изузев квасца који је до замеса складиштен у фрижидеру на 4°C, темперирана је у току 12h на 35°C. У замес је додато 1,8% соли рачунато на брашно. Тесто је замешено са 2% свежег или сувог пекарског квасца, рачунато као квасац са 30% суве материје, у односу на брашно. Суви квасац је активиран у складу са прописаном рецептуром. Количина воде употребљене за замес прилагођена је тако да укупна количина воде у замешеном тесту буде константна.

Потребна количина теста умешена је у спиралној месилици применом брзоходног замеса у трајању од 10 min при 85 o/min (Diosna, Duisburg, Germany). Температура теста неосредно по завршетку мешања износила је 33±1°C. Укупна количина теста издељена је на комаде потребне масе у складу са планираним методама анализе (Слика 5). Комади теста су округло обликовани и подељени у три једнаке групе.

Једна група узорака анализирана је непосредно по замесу у складу са планом експеримента (Слика 5). Друге две групе узорака замрзнуте су у комори за дубоко замрзавање на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands) у току 55 min, односно 110 min (у зависности од масе узорка). Наведено време је потребно да се у центру комада теста постигне температура  $-18\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Замрзнути узорци чувани су 7, односно 15 дана у комори за складиштење на  $-18\pm 1^{\circ}\text{C}$  (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands).

По истеку времена предвиђеног за складиштење узорака у замрзнутом стању, комади теста за анализу ферментативне активности квасца одмрзавани су на  $25^{\circ}\text{C}$  у току 120 min. Након тога узорци теста смештени су у мерну комору ферментографа која је темперирана на  $35^{\circ}\text{C}$ . За матурографску анализу узорци су одмрзавани у комори апарата на  $30^{\circ}\text{C}$ , након чега су премешени и постављени на одлеживање у истом простору, на истој температури. Матурографска анализа уследила је након 15 min одлеживања.

#### 4.2.3.2. ПРОЦЕНА ВРЕМЕНА ЗАМРЗАВАЊА И ОДМРЗАВАЊА У ДЕФИНИСАНИМ УСЛОВИМА

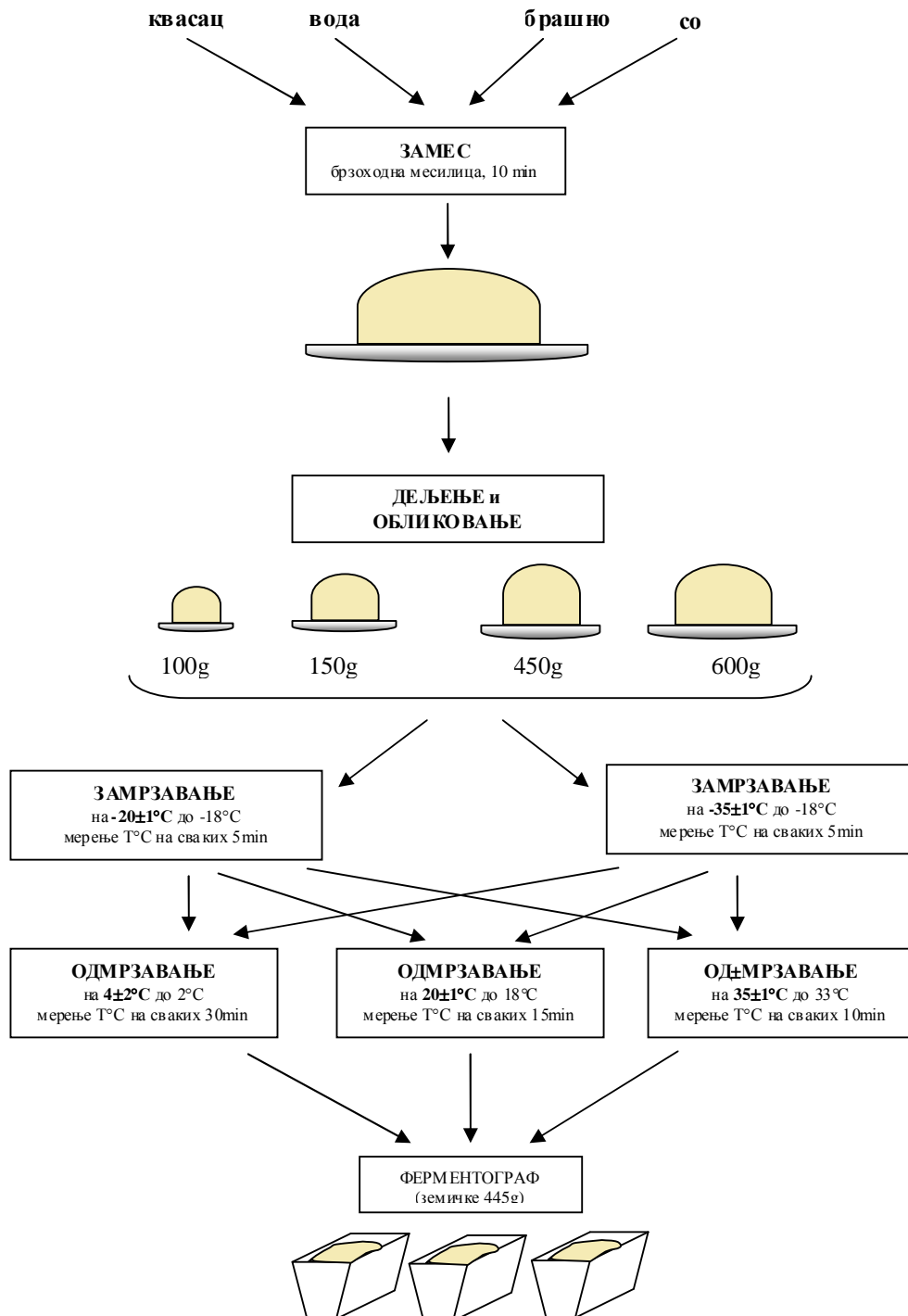
Оптималан квалитет замрзаног теста и од њега добијеног готовог производа зависи у великој мери од брзине замрзавања и одмрзавања. Препоруке које се срећу у литератури веома су различите и готово увек ограничене примењеним експерименталним условима. У том смислу, циљ овог дела истраживања је да се утврди динамика замрзавања и одмрзавања у примењеним условима, као и да се на основу добијених резултата математичким једначинама процени време потребно за извођење поменутих операција.

Састав теста, начин његове припреме и обраде, као и примењени процесни параметри изабрани су тако да у највећој могућој мери имитирају традиционални процес припреме хлеба у условима савремене пекарске производње у нашој земљи.

Припрема сировина, састав теста и мешање изведени су у складу са процедуром описаном у Поглављу 3.2.3.1. ове дисертације. Непосредно након мешања измерена је температура  $35^{\circ}\text{C}$  у маси теста које је замрзавано на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ , односно  $34^{\circ}\text{C}$  у тесту које је замрзавано на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Умешено тесто је издељено на комаде потребне масе (у складу са планом огледа приказаним на Слици 6) који су ручно округло обликовани.

Комади теста су замрзавани у комори за дубоко замрзавање на предвиђеној температури (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands) приликом чега је праћена промена температуре у центру комада теста. Температура је мерена дигиталним термометрима, Testo 925 (опсег мерења  $-50\div 1000^{\circ}\text{C}$ ). Сва мерења изведена су у три понављања.

Комади теста предвиђени за одређивање ферментативне активности квасца (маса 450g), добијени у истом замесу, замрзнути су под истим условима на обе температуре замрзавања. Замрзавање је прекинуто када је мерењем у центру комада теста исте масе утврђена температура износила  $-18^{\circ}\text{C}$ . Замрзнуто тесто упаковано је полиетиленске врећице и складиштено у комори за складиштење на  $-18\pm 1^{\circ}\text{C}$  (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands).



Слика 6: Поступак припреме узорака теста за оптимизацију режима замрзавања и одмрзавања у дефинисаним условима

Тесто је одмрзавано на  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  у фрижидеру, у термостату на  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  (одабрана температура је приближна амбијенталној) и на  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$  (одабрана температура је приближна температури завршне ферментације). Динамика одмрзавања праћена је мерењем температуре у центру комада теста.

Узорци су одмрзавани у фрижидеру, на 4°C у току 1, 2, 3, 4, 5 и 6 часова након чега је сваки узорак смештен у мерну комору ферментографа, на 35°C, и писач апарата одмах је пуштен у рад. За сваки узорак евидентирано је време током кога још није дошло до издвајања CO<sub>2</sub>, као и време у коме се CO<sub>2</sub> издвајао. Оваква процедура поновљена је за узорке који су одмрзавани на амбијенталној температури, 20°C, док је код узорака који су одмрзавани на температури завршне ферментације, 35°C, операција одмрзавања трајала 1, 2 и 3 часа. Сва мерења изведена су у три понављања.

#### 4.2.3.3. ИСПИТИВАЊЕ КВАЛИТЕТА ЗАМРЗАВАНОГ ТЕСТА СА ДОДАТКОМ ХИДРОКОЛОИДА И ОД ЊЕГА ДОБИЈЕНОГ ГОТОВОГ ПРОИЗВОДА

Прва група огледа ове фазе истраживања изведена је ускладу са планом који је шематски приказан на Слици 7.

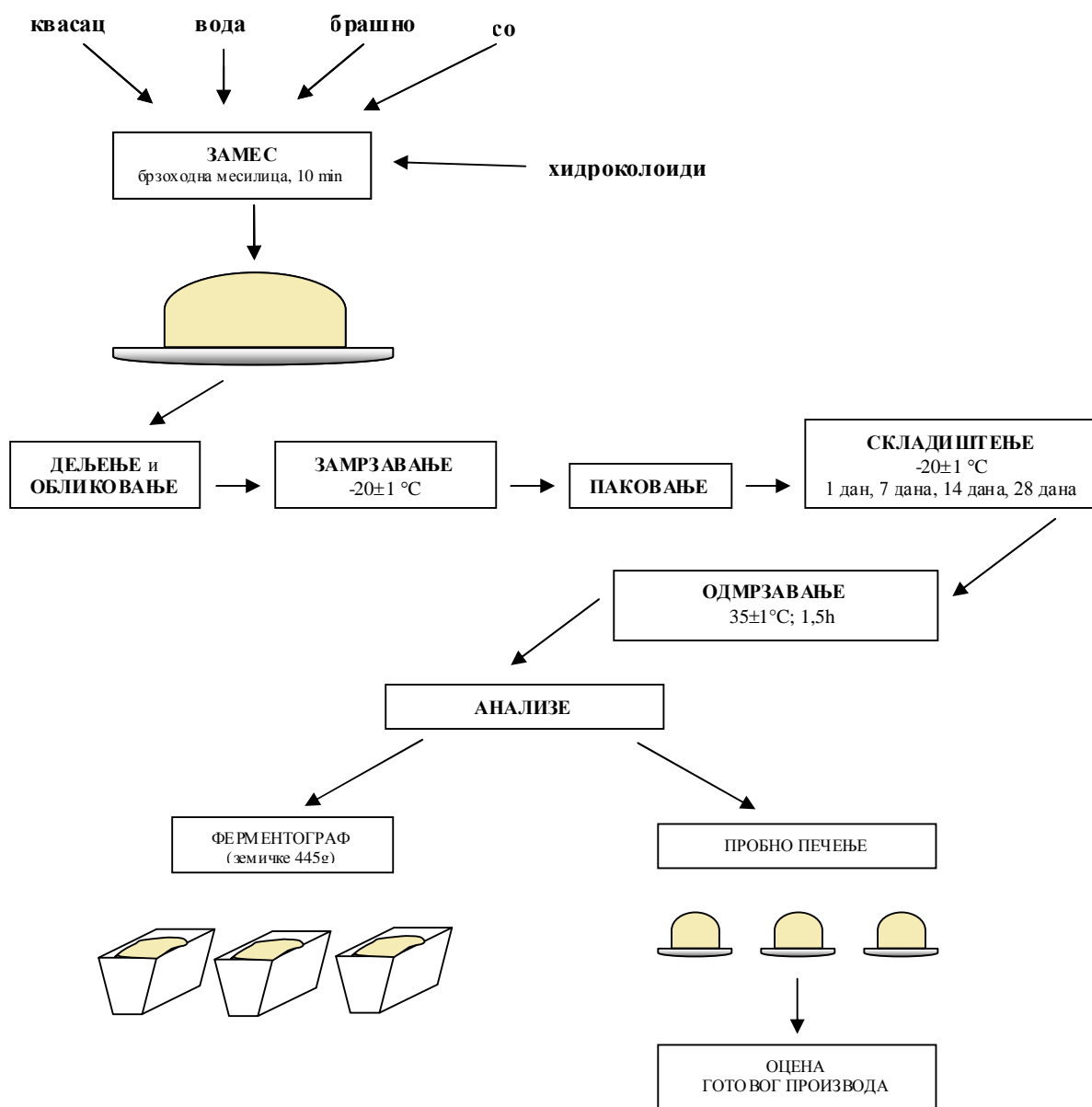
Потребна количина састојака теста, изузев квасца који је до замеса складиштен у фрижидеру на 4°C, темперирана је у току 12h на 35°C. У спиралној месилици су, пре додатка квасца и воде, измешани брашно, со (1,8% у односу на брашно) и потребна количина хидроколоида. Контролни узорак замешен је без додатака хидроколоида, док је у замес за појединачне експерименте додаван ксантан у концентрацијама 0,1%, 0,06% и 0,02% или  $\kappa$ -карагенан, односно карбоксимерилцелулоза у концентрацијама 1%, 0,6% и 0,2%. Добро измешаној смеси сувих састојака теста додати су квасац (2% свежег пекарског квасца, рачунато као квасац са 30% суве материје у односу на брашно) и вода тако да њен укупан садржај у тесту буде константан (Ribotta *et al.*, 2003b).

Потребна количина теста добијена је у месилици применом брзоходног замеса у трајању од 10 минута при 85 o/min (Diosna, Duisburg, Germany). Непосредно по завршетку мешања измерена температура добијеног теста износила је 35±0,5°C. Укупна количина теста издељена је на комаде потребне масе, у складу са методима којима су вршена планирана испитивања (Слика 7).

Комади теста предвиђене масе замрзавани су у комори за замрзавање (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands). Време замрзавања изабрано је на основу резултата испитивања режима замрзавања. Замрзавање комада теста масе 445 је трајало 180 минута на -20±1°C, док су комади теста масе 115g замрзавани под истим условима 90 минута. По завршеном замрзавању комади теста запаковани у полиетиленске врећице и чувани у комори за складиштење (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands) на -18±1°C до момента мерења.

Услови одмрзавања одабрани су на основу испитивања режима одмрзавања. Узорци масе 445g су одмрзавани на температури завршне ферментације 35°C у току 1,5 часова, а затим су смештени у мерну комору ферментографа у коме је ослобађање CO<sub>2</sub> започело након неког времена. Време за које комад теста масе 445g ослободи 900ml CO<sub>2</sub> мерено је од момента када је писач апарата почео да бележи почетак ослобађања гаса. Комади теста масе 115g одмрзавани у току 1 часа на 25°C. Незамрзавано, као и одмрзнуто тесто ферментисало је 45 минута на 35°C након чега су земичке печене 10 минута на 225±5°C.

Оцена готових производа вршена је 2h након печења, при чему су се земичке хладиле на амбијенталној температури.

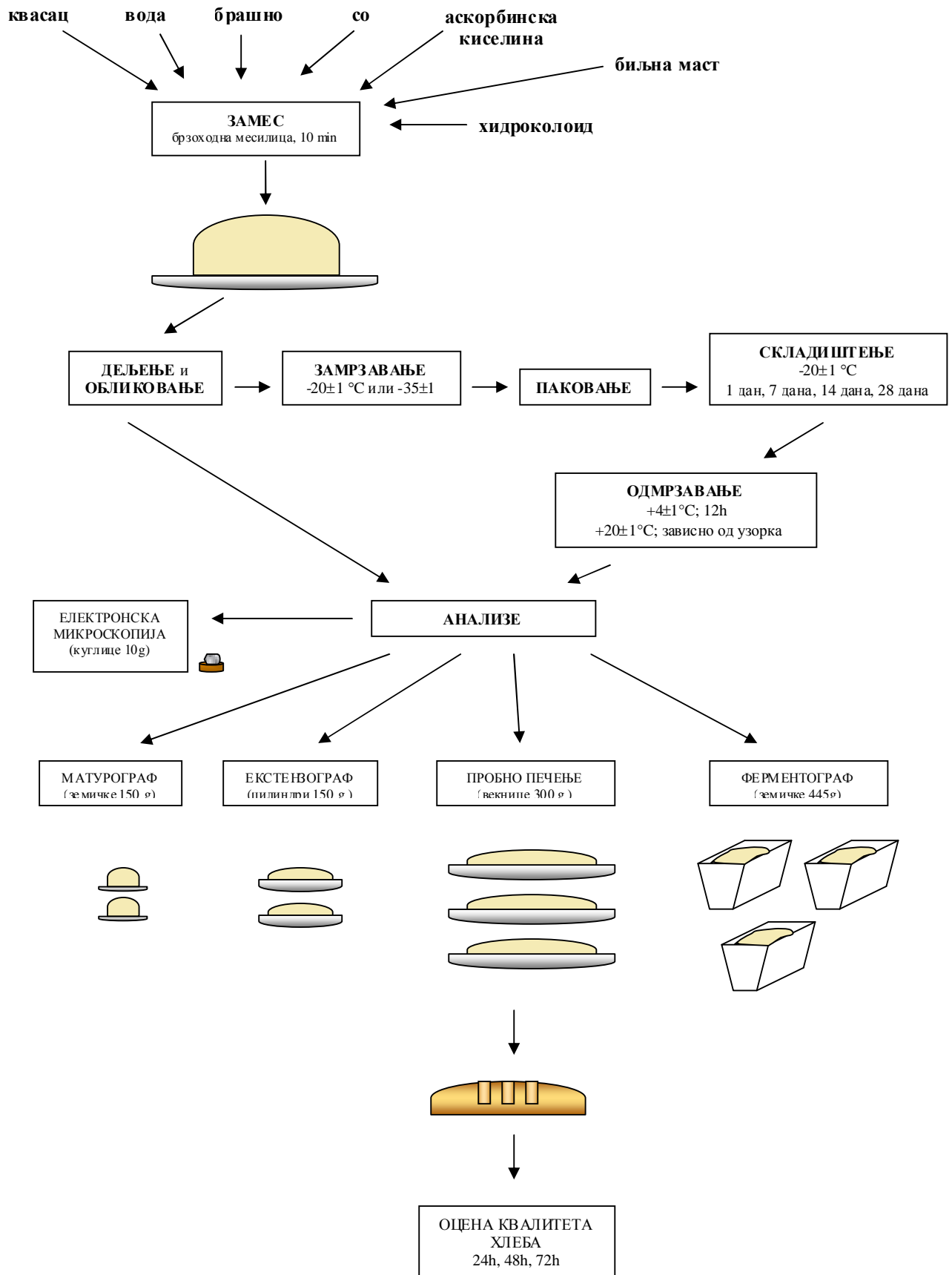


Слика 7: Поступак добијања хлеба од замрзаног теста са константном количином воде

У складу са планом који је шематски приказан на Сlici 8 изведена је друга група огледа ове фазе истраживања.

Потребна количина брашна, соли, аскорбинске киселине и хидроколоида (ксантан, к-карагенан и карбоксиметилцелулоза) темперирана је у току 12h на 20°C. У спиралној месилици су, пре додатка квасца, биљне масти и воде, измешани брашно, со (2% у односу на брашно), аскорбинска киселина (5g/100kg брашна) и потребна количина хидроколоида. Контролни узорак замешен је без додатка хидроколоида, док је у замес за појединачне експерименте додаван одговарајући хидроклоид у концентрацијама 0,1%, 0,3% и 0,5% у односу на брашно. Добро измешаној смеси сувих састојака теста додати су квасац (2,5% свежег пекарског квасца, рачунато као квасац са 30% суве материје, у односу на брашно), биљна маст (0,7% у односу на брашно) и вода до константне конзистенције теста, односно до 500 FJ (фаринолошких јединица) (Rosell i dr., 2001). Квасац и биљна маст су до почетка мешања складиштени на 4°C, а температура воде употребљене за замес била је око 0°C.





Слика 8: Поступак добијања хлеба од замрзаног теста константне конистенције

У свим огледима коришћен је следећи поступак израде теста (шематски приказан на слици 8): брзоходни замес спиралном месилицом, 10 минута, 85 о/мин (Diosna, Duisburg, Germany). Температура замешеног теста била је  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  (Kenny i dr., 2001). Тесто је дељено и обликовано без ферментације у маси (Inoue i Bushuk, 1991; Giannou i dr., 2003; Barcenas i dr., 2003).

Примењен је поступак замрзавања на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$ , до постизања температуре од  $-12\pm 1^{\circ}\text{C}$  у центру узорка (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands) у складу са препоруком произвођача опреме. Време потребно за замрзавање је варирало зависно од масе узорака. Након замрзавања комади теста су упаковани у полиетиленске врећице и чувани у замрзнутом стању на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$  (КОМА, Koeltechnische Industrie, B.V., The Netherlands) током 1, 7, 14 и 28 дана. По истеку времена предвиђеног за чување у замрзнутом стању узорци су одмрзавани током 12h на  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ , а затим на  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ , (Lu i Grant, 1999; Sharadanant i Khan, 2003b), према следећој шеми: земичке за ферментограф (445g) током 2,5h, цилиндри за екстензограф (150g) током 1h, земичке за матурограф (150g) током 2h и векнице за пробно печење (300g) током 1.5h. Куглице замрзнутог теста масе 10g одмрзаване су неколико минута на амбијенталној температури.

Одмрзнути узорци који су предвиђени за пробно печење подвргнути су завршној ферментацији у тefлонским калупима на  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$  и релативној влажности 75% при чему је оптимално време трајања завршне ферментације одређивано искуствено. Узорци су печени током 15 минута на температури  $220^{\circ}\text{C}$ . Печени хлеб је хлађен на амбијенталној температури и након тога пакован у полиетиленске врећице и чуван у истим условима до термина предвиђеног за анализу (24h, 48h и 72h након печења).

#### 4.2.4. ИСПИТИВАЊЕ АКТИВНОСТИ ПЕКАРСКОГ КВАСЦА

Утицај различитог садржаја хидроколоида, замрзавања, дужине складиштења замрзнутог теста и одмрзавања на активност пекарског квасца у хлебном тесту, је праћен испитивањем ферментативне активности квасца.

Активност квасца у незамрзаном и замрзаном тесту са различитим садржајем хидроколоида одређивана је *SJA* ферментографом (Nässjo, Metalwerkstad AB, Sweden). у складу са методом Одређивање активности пекарског квасца коју прописује ЈУС Е.М8.024 (СЛ СФРЈ 56/87). Измерене су и израчунате вредности за следеће показатеље:

- *ферментативна активност квасца*: измерена запремина  $\text{CO}_2$  која се ослободи за 1h, односно за 2h;
- *специфична ферментативна активност квасца*: израчуната на основу ферментативне активности и суве материје квасца употребљеног за замес;
- *време потребно за настајање 1000 ml  $\text{CO}_2$* , односно 600 ml  $\text{CO}_2$  (из комада теста масе 445g).

#### 4.2.5. ИСПИТИВАЊЕ КВАЛИТЕТА ТЕСТА

Испитивање утицаја додатка хидроколоида, замрзавања и складиштења замрзнутог теста на особине теста након одмрзавања извршено је матурографом и екстензографом. Промене у структури теста изазване описаним поступцима и примењеним операцијама испитане су скенирајућом електронском микроскопијом.

### Матурографско испитивање

Након предвиђеног времена одмрзавања, припремљени узорци су смештени у мерне посуднице матурографа и анализирани методом (Kaluderski i Filipović, 1998) који је прилагођен за ова испитивања.

Модификације уобичајеног поступка матурографске анализе у овом раду су:

- промена температуре теста (20°C уместо 30°C);
- измене у поступку мерења: припремљени узорак (свеж или одмрзнут) постављен је у мерну комору апарата без преходне ферментације у маси, премеса и интермедијарне ферментације, па је време које је забележио писач апарата у приказу резултата дато као време ферментације, а не време завршне ферментације, како је уобичајено.

Наведене измене, као и специфичан састав анализираног теста несумњиво су утицале на изглед криве и очитане вредности. Добијени резултати могу се дискутовати само у оквиру резултата овог огледа и огледа изведених под идентичним условима. Доступни литературни наводи приказују резултате добијене под другачијим условима испитивања, па се стога могу поредити само запажени трендови, а не и апсолутне вредности.

### Екстензографско испитивање

Коришћена је модификована метода коју описују Inoue i Bushuk (1991). Модификација се састоји у томе да су цилиндри теста за анализу припремљени пре, а не након замрзавања. Након одмрзавања, формирани цилиндри су смештени у коморе екстензографа и даља испитивања су вршена по стандардној методи (након 45, 90 и 135 min) (Kaluderski i Filipović, 1998). Идентичан поступак спроведен је и са незамрзаваним цилиндрима. Детаљи поступка дати су код приказа резултата.

### Скенирајућа електронска микроскопија

Из централног дела округло обликованог комада незамрзаваног или одмрзнутог теста узет је узорак облика коцке ( $a \approx 5\text{mm}$ ). Узорак је припремљен и осушен у складу са процедуром коју су користили Ribotta i dr. (2004). Осушени узорак теста постављен је на носач, а затим је на њега нанесен слој злата у трајању од 15 min. Овако фиксиран узорак испитиван је употребом JSM-6460 скенирајућег електронског микроскопа при 25kV. Забележени су снимци при увећањима 1500x, 3000x и 10000x.

#### 4.2.6. ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ГОТОВИХ ПЕКАРСКИХ ПРОИЗВОДА

Сензорна оцена готових пекарских производа урађена је након хлађења готових производа у складу са планом експеримента (што је у ранијем тексту детаљно описано).

Одређивани су следећи показатељи квалитета хлеба:

- **за цео хлеб:**  
маса хлеба,  
запремина хлеб,  
специфична запремина и  
облик земички;
- **за средину:**  
текстура средине,  
чврстина средине,  
боја средине;
- **за кору:**  
боја коре.

#### 4.2.6.1. ПОКАЗАТЕЉИ КВАЛИТЕТА ЦЕЛОГ ХЛЕБА

**Маса** хлеба је мерена на техничкој ваги, а **запремина** волумомером (Kaluderski i Filipović, 1998). **Специфична запремина** је израчуната на основу података за масу и запремину (Kaluderski i Filipović, 1998). **Облик земички** дефинисан је односом висине и пречника који су измерени нонијусом.

#### 4.2.6.2. ПОКАЗАТЕЉИ КВАЛИТЕТА СРЕДИНЕ ХЛЕБА

**Текстура средине** је описана на основу финоће пора и њихове дистрибуције. Овај показатељ квалитета квантитативно се исказује Далмановим бројем који је бездимензиона величина. За потребе овог рада Далманов број је одређиван употребом *Digital Image Analysis* (Global Lab Image 2, version 3.7, Data Translation Inc., Marlboro, USA) који упоређује изглед средине кришке хлеба са меморисаним стандардом. Финоћа текстуре је изражена целобројним вредностима у опсегу од 1 (средина хлеба садржи крупне, неуниформно дистрибуиране поре грубих и дебелих зидова) до 8 (средина садржи ситне, униформно дистрибуиране поре финих и танких зидова).

**Чврстина средине** је одређивана директно и индиректно, на основу измерене *силе сечења* и *силе пробијања*.

Директно је чврстина средине хлеба одређивана употребом пенетрометра PNR 6 (SUR Berlin, Germany). Кришка хлеба, дебљине 20 mm исечена је из средине готовог производа. Дубина продирања тега масе 50g, облика поулолопте под дејством силе гравитације, у средину кришке изражена је пенетрометарским бројем у mm.

*Сила сечења* је одређивана на Warner-Bratzler shear инструменту. Површина попречног пресека узорка била је 20x20 mm.

*Сила пробијања* је одређивана помоћу Hörppler-овог конзистометра на основу дубине продирања одговарајућег тела у току 10 секунди. Продирућа тела су била четири конусна наставка фиксирана на плочици површине 40x40 mm. Изглед наставака је подешен у циљу имитирања операције "грижења". Маса целог наставка је била 250g. Чврстина је одређивана према сили потребној за продирање тела у средину хлеба. Дебљина узорка је износила 15 mm.

**Боја средине** је мерена на тристимулусном фотоелектричном колориметру MOM color 100, по поступку описаном у упутству произвођача инструмента.

Узорак је узет на следећи начин: са сваке векнице одсечене су по три кришке дебљине 25 mm. Кришке су узете из централног дела векница и коришћене за мерење боје. Добијене тристимулусне вредности су обрађене на припадајућем процесору у Cielab систему боја (Sharadanant i Khan, 2003b).

#### 4.2.6.3. ПОКАЗАТЕЉИ КВАЛИТЕТА КОРЕ ХЛЕБА

**Боја коре** је мерена на тристимулусном фотоелектричном колориметру MOM color 100, по поступку описаном у упутству произвођача инструмента.

Узорак је узет на следећи начин: из централног дела сваке векнице одсечене су по три кришке дебљине 25 mm. Са врха сваке кришке одсечена је кора и коришћена за мерење боје. Добијене тростимулусне вредности су обрађене припадајућим процесором у Cielab систему боја (Sharadanant i Khan, 2003b).

#### **4.2.7. СТАТИСТИЧКИ МЕТОДИ И ПРОГРАМСКИ ПАКЕТИ**

Експериментални подаци статистички су тестирани анализом варијансе и средњих вредности поређених на основу *Scheffe test*-а, при нивоу статистичке значајности 0,05 употребом STATSOFT софтвера (StatSoft, Inc., 1995) или применом статистичких програма Statistica for Windows 5.0 и Origin 6.1.

Илустративни приказ експерименталних резултата припремљен је применом програма Corel Draw 12.

## 5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### 5.1. ИЗБОР КОМЕРЦИЈАЛНОГ КВАСЦА ОПТИМАЛНИХ КАРАКТЕРИСТИКА

На тржишту у нашој земљи не постоји континуитет снабдевености сировинама и опремом за производњу замрзнутог квасног теста. Када су у питању сировине наведена констатација се првенствено односи на квасац намењен овом виду пекарске производње. Поред тога, дубоко укоренење навике пекара и потрошача готово да обавезују на употребу квасца који за ригоризне услове производње замрзнутог теста није прилагођен неком од техника молекуларне биологије или генетског инжењеринга. Са друге стране, бројни су литетатурни наводи који указују да су готови производи, добијени од замрзаваног квасног теста које је замешено са комерцијалним пекарским квасцем, прихватљивог квалитета (Kulp i dr., 1995, Ab El Hady i dr., 1999, Giannou, 2003).

Полазећи од горенаведених поставки, циљ ове фазе истраживања био је да се испита могућност примене различитих форми комерцијалног пекарског квасца домаћих произвођача у производњи замрзнутог квасног теста. Експерименти су изведени у складу са планом који је шематски приказан на Слици 5.

#### 5.1.1. АНАЛИЗА КВАЛИТЕТА СИРОВИНА

Резултати анализе брашна, која је извршена непосредно пре замеса, приказани су у Табели 2.

Вредности показатеља квалитета указују да је брашно у тој жетвеној сезони имало уобичајен садржај протеина и релативно висок садржај влажног глутена у односу на просечан узорак брашна на нашем поднебљу. Релативно велика енергија теста указује на глутен доброг квалитета, а однос отпора растезању и растегљивости теста оптималан је за производњу хлебног теста од оваквог брашна. Вредности показатеља квалитета овог узорка брашна који се односе на глутен мање су од препоручених, чак и када се усвоји мање захтевна препорука која се односи на средње јака до јака брашна (Ab El-Hady i dr., 1996; Abd El-Hady i dr., 1999; Lu i Grant, 1999; Rouillie i dr., 2000; Barcenas i dr., 2003).

Велика вредност максималног вискозитета указује на веома малу амилолитичку активност ензима брашна, па се може очекивати да количина шећера настала хидролизом скроба неће бити довољна да исхрани ћелије квасца током ферментације.

Комерцијални пекарски квасац који је коришћен за замес анализиран је пре употребе. За припрему теста употребљен је формовани комерцијални квасац два домаћа произвођача и суви активни квасац једног од њих. Резултати анализе квасца приказани су у Табели 3.

Садржај суве материје за квасац I и квасац III налази се у границама дозвољеним за свежи пекарски квасац. Међутим, квасац II (суви активни инстант квасац) има веома висок садржај влаге (14,66%), а према Правилнику о квалитету пекарског квасца (члан 19) садржај влаге у сувом активном квасцу мора бити највише 6%. Виши садржај влаге од дозвољеног указује на неправилно складиштење сувог активног квасца пре паковања.

Табела 2: Показатељи квалитета брашна 03

показатељ квалитета	вредност	јединица мере
садржај влаге	12,20	%
садржај пепела	0,40	% /s.m.*
садржај протеина	10,40	% /s.m.*
киселински степен	1,50	-
садржај влажног глутена	26,00	%
<b>фаринограм</b>		
моћ упијања воде	59,40	%
развој теста	1,5	min
стабилност	0,50	min
степен омекшања	55,00	FJ**
квалитетни број	65,9	-
квалитетна група	Б-1	-
<b>екстензограм</b>		
енергија	82,1	cm <sup>2</sup>
отпор теста (O)	345	EJ***
растегљивост (R)	139	mm
однос O/R	2,48	-
<b>амилограм</b>		
максимални вискозитет	750	AJ****

\* сува материја

\*\* Фаринографске јединице

\*\*\* Екстензографске јединице

\*\*\*\* Амилографске јединице

Укупни протеини у ћелијам квасца I су високи (61,03%с.м.). За свежи пекарски квасац, по класичним технолошким нормативима, садржај протеина у сувој материји не би требало да прелази 55% рачунато на s.m. Садржај протеина у квасцу II и у квасцу III је у границама које се прописују за пекарски квасац.

Табела 3: Резултати анализе квасца

ознака узорка квасца	сува материја [%]	садржај влаге [%]	укупни протеини [%s.m.]	укупни угљени хидрати [%s.m.]	трехалоза [%s.m.]
квасац I	29,69	70,31	61,03	35,95	17,68
квасац II	85,34	14,66	56,32	48,17	17,58
квасац III	29,40	70,60	53,99	45,18	22,17

Укупни угљени хидрати у ћелијама квасца обрнуто су пропорционални садржају протеина. Квасац I садржи мање угљених хидрата, а више протеина, што је у складу са технолошком праксом. Квасац II и квасац III садрже уобичајене количине угљених хидрата. Садржај трехалозе у сва три испитивана квасца је висок. Висок садржај трехалозе обезбеђује добру трајност пекарског квасца, а предпоставка је и повећане отпорности квасца на стрес изазван применом операција замрзавања и одмрзавања квасног теста. Иако

је општеприхваћено да је трехалоза антистресни фактор у ћелији квасца, па као таква и криопротектант, њен утицај је подложен минимизацији (Gelinas i dr., 1989) па је везу између садржаја трехалозе и криотолерантности квасца увек потребно испитати у конкретним производним условима.

### 5.1.2. РЕЗУЛТАТИ ФЕРМЕНТОГРАФСKE И МАТУРОГРАФСKE АНАЛИЗЕ

Узорци квасног теста анализирани у овој фази истраживања припремљени су у складу са планом који је сематски приказан на Слици 5.

Резултати ферментографске и матурографске анализе теста замешених са сва три квасца приказани су у Табели 4.

Табела 4: Ферментографски и матурографски показатељи за теста са квасцем I, квасцем II и квасцем III

показатељи	квасац	време чувања на $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ [dan]				
		0	1	7	14	28
ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> /2h]	I	2160±50	990±40	830±20	710±10	620±20
	II	620±20	490±20	460±10	450±20	410±10
	III	1440±40	950±10	800±10	690±30	590±20
специфична ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> /2h·1g s.m. *]	I	1285,71	589,28	494,05	422,62	369,05
	II	181,81	143,69	138,90	131,97	120,23
	III	859,14	565,48	476,19	410,71	351,19
време потребно за настајање 1000ml CO <sub>2</sub> [min]	I	56±0	122±2	144±4	170±3	191±4
	II	194±0	239±6	261±6	269±4	271±2
	III	84±0	133±4	151±4	196±2	199±3
време ферментације [min]	I	49±3	58±2	60±0	71±3	91±1
	II	78±0	171±0	185±1	202±0	210±4
	III	53±4	59±4	66±3	96±4	92±2

Велика вредност специфичне ферментативне активности квасца I у незамрзаваном тесту у поређењу са квасцем III (Табела 4), при чему су оба квасца свежа, вероватно је последица његове веће ензимске активности. У прилог овој претпоставци иде неуобичајено велики садржај протеина у квасцу I (Табела 3) који указује на вероватни додаток ензима у комерцијални производ. Ферментативна активност оваквог квасца у незамрзаваном тесту привидно је повећана услед активности адитивних ензима. Смањење вредности свих ферментографских показатеља у замрзаваном тесту са квасцем I на ниво који имају у замрзаваном тесту са квасцем III вероватно указује на денатурацију екстрацелуларних (адитивних) ензима која је последица замрзавања. Мање је вероватно да је овако велико смањење вредности испитиваних ферментографских показатеља последица различитог степена оштећења ћелија које су, код два примењена комерцијална свежа квасца, у различитом физиолошком стадијуму.



Анализом теста са сувим квасцем, у оквиру ових истраживања, добијене су сувише мале вредности за све испитиване показатеље које се могу приписати лошијем квалитету употребљеног квасца. Сувише велики садржај воде у сувом квасцу (Табела 3) вероватно је, у извесној мери, узрок његовог неочекиваног понашања током процеса производње замрзнутог теста. Поред тога, мала амилолитичка активност ензима употребљеног брашна вероватно је условила мањак ферментабилних шећера у тесту што се одразило на вредност испитиваног показатеља.

Вредности свих испитиваних ферментографских показатеља се смањују услед замрзавања. Специфична ферментативна активност квасца I у замрзаном тесту смањена је за 54% у односу на незамежавани узорак, за квасац III ово смањење износи 34%, док је код сувог квасца II уочено смањење најмање и износи 21%. Скалдиштењем замрзнутог теста долази до даље деградације вредности овог показатеља па су оне, након 28 дана, умањене за 37,35%, 16% и 37,98% за квасац I, квасац II и квасац III, респективно, у односу на одговарајуће узорке који су одмрзнути непосредно по замрзавању. Овако велика смањења вредности специфичне ферментативне активности квасца не могу се приписати само смањењу броја вијабилних ћелија које је последица замрзавања, складиштења замрзнутог теста и одмрзавања, а износи 52,4% након 90 дана складиштења замрзнутог теста (Ribota i dr., 2003a). Поред смањења броја вијабилних ћелија квасца врло је вероватно да примењене операције доводе и до умањења способности квасца да продукује CO<sub>2</sub>, што заједно за последицу има смањење укупне ферментативне активности квасца у замрзаном тесту у односу на незамежавано.

Мале вредности свих ферментографских показатеља за тесто са сувим квасцем II, на први поглед, нису у сагласности са литературним наводима који указују на већу трајност замрзнутог теста са оваквим квасцем. Ћелије квасца у којима је садржај воде мали отпроније су, у односу на ћелије свежег квасца, на механичко разарање кристалима леда који се формирају интрацелуларно. Поред тога квасац у тесту се налази у неповољној средини (осмотски и онкодски притисак), а ако је активан и у неповољној физиолошкој фази. Ћелије свежег квасца, чак и када се производни услови подесе тако да минимизују њихову ферментативну активност, започињу ферментацију већ у току припреме теста. Ћелије које ферментишу, услед напетости мембрана у овој физиолошкој фази, подложније су оштећењу које изазива концентровање раствора током операције замрзавања (Kulr i dr., 1995; Ab El Nady i dr., 1999). Вредности ферментографских показатеља за тесто са сувим квасцем мање се деградирају услед замрзавања и скалдиштења замрзнутог теста, у односу на тесто са свежим квасцем (Табела 4). Овакви резултати могу се објаснити тврдњама које су публиковали горенаведени аутори.

Апсолутно посматрано, специфична ферментативна активност квасца у свим испитиваним узорцима замрзаног теста, без обзира на дужину складиштења, неприхватљива је у пекарској пракси. У складу са Правилником о квалитету и другим захтевима за пекарски квасац (Сл. СРЈ 9/2002), вредност овог показатеља треба да је најмање 800 [ml CO<sub>2</sub> /2h·1g s.m.] за свеж, односно 600 [ml CO<sub>2</sub> /2h·1g s.m.] за суви квасац. Ниске вредности ферментографских показатеља за замрзана теста последица су смањења вијабилности ћелија квасца и њихове способности да продукују CO<sub>2</sub>, али се при анализи резултата не сме занемарити мала амилолитичка активност брашна употребљеног за замес. Овакви резултати не могу оправдати одбацивање могућности употребе комерцијалног свежег квасца за производњу замрзнутог теста, већ указују на потребу модификације процеса производње и оптимизације састава теста уколико се за његов замес употреби овакав квасац.

Време ферментације је за замрзавана теста са сва три квасца прихватљиво, нарочито ако се узме у обзир да је мерење вршено без ферментације у маси и премесивања. Замрзавање и продуже времена складиштења замрзнутог теста доводе до повећања времена ферментације што је у складу са наводима Berglund-a (1988). Уочена промена је највише изражена код теста које је замешено са сувим квасцем. Вредност овог показатеља мање се повећава код замрзаваних теста са свежим квасцем. Ако се узме у обзир чињеница да испитивана теста нису ферментисала у маси, већ да су мерења вршена непосредно по одмрзавању, измерене вредности времена ферментације замрзаваних теста са свежим квасцем (око 90 min) у пекарској пракси су сасвим прихватљиве.

Вредности ферментографских и матурографских показатеља (Табела 4) статистички су обрађене анализом варијансе и средњих вредности које су поређене *Scheffe* тестом са нивоом значајности  $p < 0,05$ . Добијене вредности приказане су у Табели 5 и Табели 6.

Табела 5: Утицај замрзавања и дужине складиштења на ферментографске и матурографске карактеристике замрзаваног теста са све три врсте квасца

показатељи	време чувања на $-20 \pm 1^\circ\text{C}$ [dan]				
	0	1	7	14	28
ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> /2h]	1406,67 ±668,150 <b>a</b>	810,00 ±241,71 <b>b</b>	696,67 ±178,40 <b>b</b>	661,67 ±126,69 <b>b</b>	540,00 ±99,50 <b>b</b>
специфична ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> /2h·1g s.m.*]	774,89 ±458,351 <b>a</b>	423,82 ±217,45 <b>ab</b>	368,38 ±175,414 <b>b</b>	321,77 ±142,785 <b>b</b>	280,16 ±120,495 <b>b</b>
време потребно за настајање 1000ml CO <sub>2</sub> [min]	111,33 ±63,26 <b>a</b>	164,67 ±55,98 <b>ab</b>	185,33 ±57,01 <b>ab</b>	212,00 ±44,27 <b>b</b>	220,33 ±38,27 <b>b</b>
време ферментације [min]	60,00 ±13,81 <b>a</b>	96,00 ±56,27 <b>a</b>	103,67 ±61,21 <b>a</b>	123,56 ±61,09 <b>a</b>	130,44 ±60,24 <b>a</b>

Статистички значајне разлике вредности ферментографских показатеља јављају се као последица замрзавања квасног теста. Промене вредности истих показатеља које се јављају у свим терминима узорковања, током 28 дана складиштења, нису статистички значајне.

Статистичком анализом измерених вредности времена ферментације утврђено је да међу њима не постоји значајна разлика која је последица замрзавања и/или складиштења замрзнутог теста током 28 дана. Овакав закључак у складу су са наводима Brackelsberg-a (1996), али је супротан закључку Sharadanant-a (2003). Наведени аутори су испитивали утицај дужине складиштења замрзнутог теста током 16 седмица на његов квалитет. Различитост добијених резултата вероватно је последица разлика сировинског састава испитиваних теста, како у квантитативном, тако и у квалитативном смислу. Тесто које су они испитивали умешено је са брашном чији је садржај протеина далеко већи него што је то случај код брашна са нашег тржишта (16,84%, односно 14,1% у њиховим тестима

респективно, и 10,40% у нашем тесту). Поред тога, хлебно тесто које је уобичајено у употреби на северноамеричком континенту и у Западној Европи садржи око 5% фементабилних шећера, а у њега су најчешће додати и различити адитиви у складу са нормативима и законским прописима које аутори поштују.

Табела 6: Утицај квасца у тесту на на ферментографске и матурографске карактеристике замрзаваног теста за сва времена складиштења

показатељи	квасац		
	I	II	III
ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> /2h]	1062,00 ±583,196 <b>a</b>	486,00 ±75,574 <b>b</b>	894,00 ±309,21 <b>a</b>
специфична ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> /2h·1g s.m. *]	634,143 ±347,14 <b>a</b>	142,52 ±22,16 <b>b</b>	532,143 ±184,05 <b>a</b>
време потребно за настајање 1000ml CO <sub>2</sub> [min]	136,80 ±48,45 <b>a</b>	246,80 ±29,88 <b>b</b>	152,53 ±44,35 <b>a</b>
време ферментације [min]	65,80 ±15,00 <b>b</b>	169,20 ±49,45 <b>a</b>	73,20 ±18,26 <b>b</b>

Статистичка анализа резултата добијених ферментографским и матурографским методом показује да не постоји значајна разлика у вредностима испитиваних показатеља када се за замес теста користи комерцијални свежи квасац различитог произвођача (Табела 6). Значајна разлика вредности испитиваних показатеља уочава се између оба узорка теста са свежим пекарским квасцем и узорка теста са сувим пекарским квасцем.

На основу резултата овог огледа за сва даља истраживања предвиђена овом дисертацијом биће коришћен свеж пекарски квасац. Анализом сировина које ће се користити за замес теста биће утврђена сува материја коришћеног квасца, а вредности ће бити приказане уз резултате конкретног огледа.

## 5.2. ПРОЦЕНА ВРЕМЕНА ЗАМРЗАВАЊА И ОДМРЗАВАЊА У ДЕФИНИСаним УСЛОВИМА

Литература нуди читав низ различитих препорука када су у питању услови производње замрзаваних теста. Разнолоност препорука објашњава се различитим квалитетом сировина које су доступне на тржишту, али и специфичностима састава теста и традиционалног начина производње на различитим поднебљима.

Да би се применом емпиријских корелација које су најчешће коришћене у литератури извршила процена времена замрзавања и одмрзавања потребно је, у дефинисаним условима, извршити читав низ мерења. Температуре замрзавања и одмрзавања биране су

тако да одговарају уобичајеним условима у пекарској производњи. Маса комада теста, чије је замрзавање и одмрзавање праћено, такође је бирана по истом критеријуму. Оглед који је планиран у овој фази истраживања изведен је према плану шематки приказаном на Слици 6.

### 5.2.1. АНАЛИЗА КВАЛИТЕТА СИРОВИНА

У складу са планом експеримента (Слика 6) припремљене су потребне сировине. За замес је употребљен свеж пекарски квасац чији је садржај суве материје 29,31%. Резултати анализе квалитета брашна приказани су у Табели 7.

Табела 7: Показатељи квалитета брашна 02

показатељ квалитета	вредност	јединица мере
садржај влаге	15,00	%
садржај пепела	0,50	% /s.m. *
садржај протеина	10,40	% /s.m. *
киселински степен	1,70	-
садржај влажног глутена	26,00	%
<b>фаринограм</b>		
моћ упијања воде	55,9	%
развој теста	2,0	min
стабилност	0,50	min
степен омекшања	65,00	FJ **
квалитетни број	67,2	-
квалитетна група	Б-1	-
<b>екстензограм</b>		
енергија	40,1	cm <sup>2</sup>
отпор теста (O)	150	EJ ***
растегљивост (R)	165	mm
однос O/R	0,91	-
<b>амилограм</b>		
максимални вискозитет	590	AJ ****

\* сува материја

\*\* Фаринографске јединице

\*\*\* Екстензографске јединице

\*\*\*\* Амилографске јединице

Вредности показатеља квалитета указују да је брашно коришћено за овај оглед имало уобичајен садржај протеина и релативно висок садржај влажног глутена у односу на просечан узорак брашна на нашем поднебљу. Мала енергија теста указује на глутен лошијег квалитета него што је уобичајено за наше тржиште. Однос отпора растезању и растегљивости теста далеко је испод оптималног је за производњу хлебног теста. Вредности показатеља квалитета овог узорка брашна који се односе на глутен значајно мање су од препоручених (Ab El-Hady i dr., 1996; Abd El-Hady i dr., 1999; Lu i Grant, 1999; Rouillie i dr., 2000; Varcenas, 2003).

Вредност максималног вискозитета је уобичајена за брашно са нашег поднебља и указује на просечну амилолитичку активност ензима брашна, па се може очекивати да ће количина шећера настала хидролизом скроба бити довољна да исхрани ћелије квасца током ферментације.

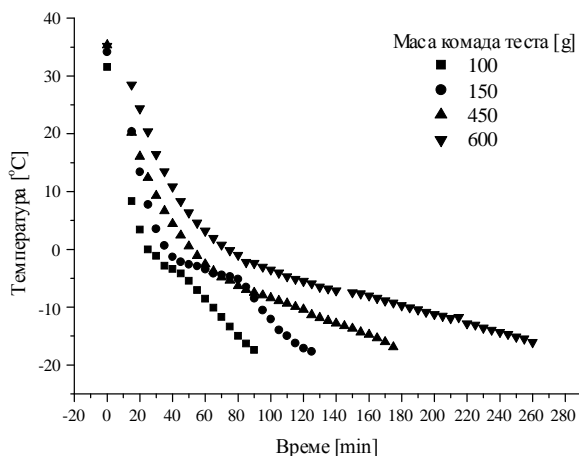
Обзиром да ова фаза истраживања има за циљ да оптимизује брзину замрзавања и одмрзавања недостаци које показује брашно употребљено за замес не утичу у знатној мери на резултате истраживања. Ферментативна активност квасца зависи у највећој мери од расположивости ферментбилних шећера за шта употребљено брашно има капацитет. Показатељи квалитета теста који првенствено зависе од квалитета глутена нису предмет ове фазе истраживања.

### 5.2.2. ИСПИТИВАЊЕ РЕЖИМА ЗАМРЗАВАЊА

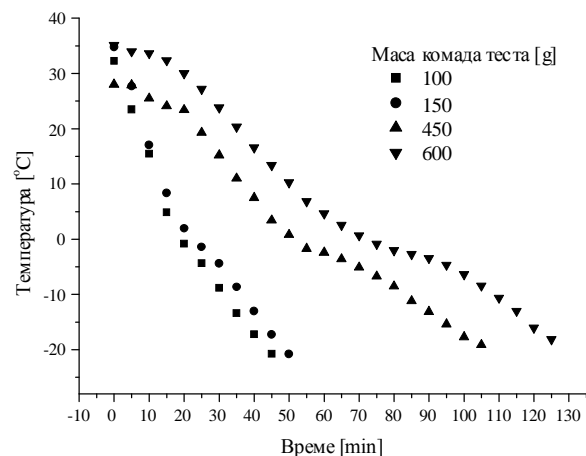
За ову фазу истраживања планирани су огледи са циљем да се процени оптимална температура простора за замрзавање и режим замрзавања округло обликованих комада теста, тако да њихов утицај на ферментативну активност квасца буде минималан. Литература наводи да је при замрзавању неопходно дефинисати брзину замрзавања која зависи од масе комада теста, облика комада, састава теста, конструкције ферментационе коморе, паковања и карактеристика коморе за замрзавање. На промену брзине замрзавања може се утицати променом температуре простора за замрзавање, брзине одвођења топлоте и почетне температуре теста (Brack i Henneforth, 1991).

У складу са планом експеримента који је шематски приказан на Слици 6 умешено је тесто које се састоји од брашна, соли, воде и квасца. Округло обликовани комади теста одговарајуће масе постављени су на перфориране тацне (распоред комада теста различите масе био је при свако понављању мерења исти) и смештени у комору за замрзавање. Комора је при сваком појединачном огледу била "оптерећена" истом укупном масом теста, која је подељена на комаде једнаког облика и масе, чија је почетна температура била веома слична ( $32 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

У центру округло обликованих комада теста мерена је, на сваких 5 минута, температура током замрзавања на две температуре околине. Одабране температуре простора за замрзавање су  $-20 \pm 1^\circ\text{C}$ , односно температура на којој ће се замрзнуто тесто складиштити и  $-35 \pm 1^\circ\text{C}$ , односно температура која је препоручена у литератури и од стране произвођача опреме.



Слика 9: Промена температуре у центру комада теста различите масе при замрзавању на  $-20 \pm 1^\circ\text{C}$



Слика 10: Промена температуре у центру комада теста различите масе при замрзавању на  $-35 \pm 1^\circ\text{C}$

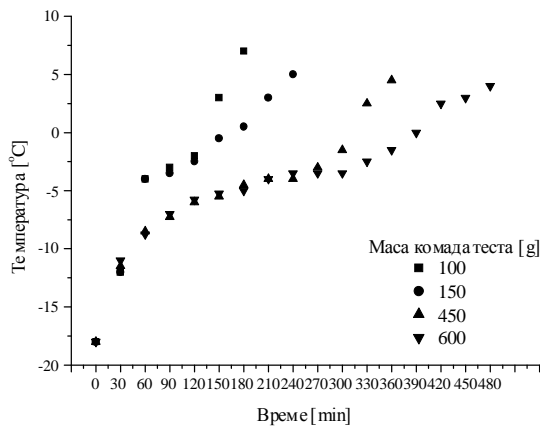
Тесто је замрзавано до постизања  $-18\pm 1^{\circ}\text{C}$  у центру комада теста. Ова температура одабрана је као "равнотежна" у случају да је температура простора за замрзавање  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Поред тога, литература препоручује да се замрзавање врши до  $-15\pm 1^{\circ}\text{C}$  у центру комада теста да би се смањила могућност оштећења хелија квасца у површинским слојевима теста који "трпе" оштрије температурне услове у односу на хелије у центру (Brak i Hanneforh, 1991; Kulr i dr., 1995). Произвођач опреме која је коришћена препоручује замрзавање до  $-13\pm 1^{\circ}\text{C}$  у центру комада теста, након чега би требало да уследи пребацавање замрзнутих комада теста у комору за складиштење на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ , у којој ће се успоставити равнотежна температура. Оваквим поступком "чувају" се од оштећења изазваних замрзавањем хелије у површинским слојевима теста, а читав поступак се изводи уз мањи утросак енергије.

Вредности температуре измерене у центру комада теста током замрзавања на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$  и  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  приказане су графички на Слици 9 и Слици 10, респективно. Забележене промене температуре теста током замрзавања описују типичну криву замрзавања.

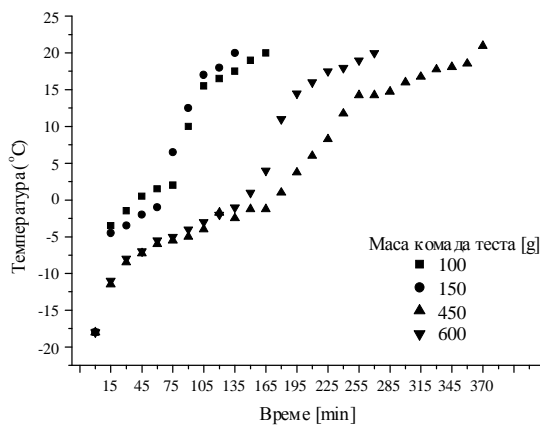
Код комада теста масе 100g и 150g, при температури замрзавања  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ , на графику између  $0^{\circ}\text{C}$  и  $-5^{\circ}\text{C}$  јасно се уочава "зараван" током које долази до формирања кристала леда. Промене температуре у центру ових комада теста, пре и након "заравни" су нагле као и описује крива замрзавања. Код комада теста масе 450g и 600g, температура у центру комада теста нагло се смањује до вредности око  $0^{\circ}\text{C}$  након чега су промене мерене температуре знатно спорије. Криве замрзавања за ове узорке не показују нагли пад температуре испод  $-5^{\circ}\text{C}$ , односно "зараван" се продужава. Ова појава вероватно је последица лоше топлотне проводљивости теста (Kulr i dr., 1995) услед које, при задатој температури замрзавања, у центру већих комада долази до спорије кристализације и значајнијег концентровања раствора што додатно успорава процес.

При температури замрзавања од  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  промене температуре у центру комада теста масе 100g и 150g су готово линеарно зависне од времена, а "зараван" на графику је неуочљива. Овако мали, округло обликовани комади теста при ниским температурама замрзавања очигледно бивају брзо замрзнути, при чему фаза кристализације леда није јасно изражена. Промена температуре у центру већих комада теста, масе 450g и 600g, при температури замрзавања  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$ , описује типичну криву замрзавања. Мерена температура, у фази кристализације леда између  $0^{\circ}\text{C}$  и  $-5^{\circ}\text{C}$  минимално се мења, па се на графику јасно уочава "зараван". Температуре у центру комада изван овог интервала мењају се знатно брже. Иако је топлотна проводљивост теста мала очигледно је да је температура замрзавања довољно ниска да доведе до брзог замрзавања воде у тесту, што је посебно изражено код мањих комада.

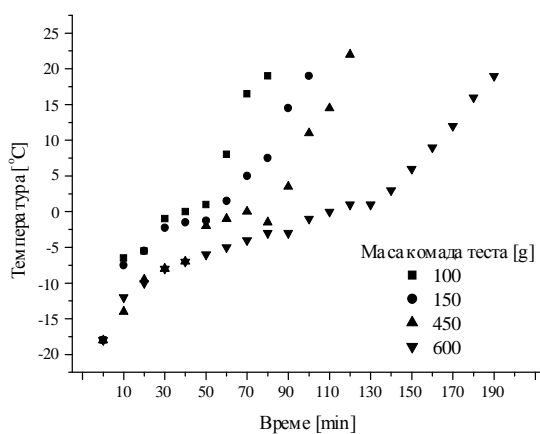
Обзиром на чињеницу да се са повећањем разлике у температури замрзавања и температури у центру комада теста скраћују "заравни" на графику (Kulr i dr., 1995), добијени експериментални резултати подржавају теоријска разматрања.



Слика 11: Промена температуре у центру комада теста различите масе при одмрзавању на  $4 \pm 2^\circ\text{C}$



Слика 12: Промена температуре у центру комада теста различите масе при одмрзавању на  $20 \pm 1^\circ\text{C}$



Слика 13: Промена температуре у центру комада теста различите масе при одмрзавању на  $35 \pm 1^\circ\text{C}$

Замрзнути комади теста одмрзавани су на  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  и  $35 \pm 1^\circ\text{C}$  у фрижидеру, термостату и комори за ферментацију теста, респективно. Температуре одмрзавања одабране су у складу са литературним препорукама поштујући производне услове и опрему која се свакодневно употребљава у пекарским погонима у нашој земљи.

Температура у центру комада теста мерена је при одмрзавању у фрижидеру сваких 30 минута, у термостату сваких 15 минута и у комори за ферментацију теста сваких 10 минута.

Вредности температуре измерене у центру комада теста током одмрзавања на  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  и  $35 \pm 1^\circ\text{C}$  приказане су графички на Слици 11, Слици 12 и Слици 13, респективно.

Криве одмрзавања добијене на основу експерименталних резултата не представљају идеално повратне криве замрзавања. Уочена одступања могу се објаснити непотпуном реверзибилношћу физичких и хемијских, а посебно биохемијских процеса који се у тесту дешавају током замрзавања, складиштења замрзнутог теста и одмрзавања (Kulpr i dr., 1995).

Експерименталне криве, на свим температурама одмрзавања, за комаде теста масе 100g, 150g, 450g и 600g, поседују "зараван" у температурном интервалу  $-5 \div 0^\circ\text{C}$ . При овим температурама долази до интензивног отапања леда, па је интензивна и рехидратација система. Загревање теста изван овог интервала је далеко брже.

Као и код замрзавања, велика разлика температуре околног простора и температуре у центру комада теста скраћује "зараван", али пребрзо одмрзавање има читав низ пропратних негативних ефеката (Kulpr i dr., 1995)

### 5.2.3. ФИТОВАЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ПОДАТАКА

Један од циљева ове фазе истраживања је описивање експерименталних података  $t = f(T_c)$ , ( $t$  је време,  $T_c$  је температура у центру комада теста) одговарајућим моделом. Модели који су присутни у литератури развијени су за замрзавање, односно одмрзавање читавог низа прехранбених производа, али се врло мали број њих односи на готове пекарске производе. Замрзавање и одмрзавање теста, а нарочито квасног теста, готово да није разматрано у овом контексту.

У Поглављу 3.4. ове дисертације поменут је велики број ригорозних, аналитичких и статистичких модела. За фитовање експерименталних података у овој дисертацији изабран је релативно једноставан начин моделовања приликом чега су коришћене функције и закључци из неких раније публикованих радова.

Процеси замрзавања и одмрзавања подељени су у два дела: део без фазне трансформације и део у коме се дешава фазна трансформација. Додирна тачка ова два дела процеса је температура у којој започиње фазна трансформација.

Вредност температуре при којој започиње фазна трансформација, за потребе овог рада, процењена на основу емпиријске релације преузете из рада који су публиковали Salvadori i Mascheroni (1991):

$$T_{cr} = \frac{1 - \phi}{0,069 - 0,44 \cdot \phi}$$

у којој је:  $T_{cr}$  - температура при којој започиње фазна трансформација,  
 $\phi$  - почетни садржај воде у тесту.

За фитовање експерименталних резултата  $t = f(T_c)$  у делу процеса замрзавања и одмрзавања у коме не долази до фазне трансформације изабран је класичан модел нестационарног преноса топлоте (Fourier-ова једначина). Решење ове парцијалне диференцијалне једначине је бесконачни ред који је у оквиру овог рада разматран уз извесне апроксимације. Како циљ овог рада није био опис експерименталних података теоријским моделом, непознати параметри који се одређују из експерименталних података посматрају се само у контексту фитовања, иако имају торијску основу.

Уколико се усвоји апроксимација униформног температурног профила у комаду теста решење је (Çengel, 1998):

$$\ln\left(\frac{T_c - T_{cr}}{T_i - T_{cr}}\right) = -b_0 \cdot t \quad \text{за замрзавање, и}$$

$$\ln\left(\frac{T_{cr} - T_c}{T_i - T_{cr}}\right) = -b_0(t_0 + t_k) \quad \text{за одмрзавање,}$$

где је:

- $t$  [min] - време,
- $t_k$  [min] - време у коме је последњи пут измерена температура,
- $T_i$  [°C] - иницијална температура теста,
- $T_{cr}$  [°C] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене
- $T_c$  [°C] - температура у центру комада теста,
- $b_0$  - непознати параметар.



Уз апроксимацију неуниформног температурног профила унутар комада теста решење је (Çengel, 1998):

$$\ln\left(\frac{T_c - T_{cr}}{T_i - T_{cr}}\right) = b_0 - b_1 \cdot t \quad \text{за замрзавање, и}$$

$$\ln\left(\frac{T_{cr} - T_c}{T_i - T_{cr}}\right) = b_0 - b_1 \cdot t \quad \text{за одмрзавање,}$$

где је:

- t [min] - време,
- $T_i$  [°C] - иницијална температура теста,
- $T_{cr}$  [°C] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене,
- $T_c$  [°C] - температура у центру комада теста,
- $b_0, b_1$  - непознати параметри.

Због облика експерименталне криве у делу процеса у коме не долази до фазне промене како код замрзавања тако и код одмрзавања, у циљу бољег фитовања, у израз који разматра само први члан у решењу Fourier-ове једначине додат је и квадратни члан:

$$\ln\left(\frac{T_c - T_{cr}}{T_i - T_{cr}}\right) = b_0 - b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 \quad \text{за замрзавање, и}$$

$$\ln\left(\frac{T_{cr} - T_c}{T_i - T_{cr}}\right) = b_0 - b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 \quad \text{за одмрзавање,}$$

у којима је:

- t [min] - време,
- $T_i$  [°C] - иницијална температура теста,
- $T_{cr}$  [°C] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене,
- $T_c$  [°C] - температура у центру комада теста,
- $b_0, b_1, b_2$  - непознати параметри.

За фитовање експерименталних резултата у делу процеса у коме долази до фазне промене искоришћена су запажања која су публиковали Salvadori i Macheroni (1991). Ови аутори предложили су модел за замрзавање и одмрзавање кромпир пиреа, меса, тилоза гела и агар гела који важи у извесном интервалу температура у коме не долази до фазне трансформације. Овај модел предвиђа линеарну зависност трансформисаних променљивих у којима фигуришу различите температуре процеса и време. Та чињеница је искоришћена при дефинисању функционалне зависности између трансформисаних променљивих која важи и код замрзавања и код одмрзавања квасног теста:

$$t \cdot \left(\frac{T_o - T_{cr}}{T_{cr} - T_i}\right) = b_0 + b_1 \cdot T_c$$

у којој су:

- t [min] - време,
- $T_o$  [°C] - температура околине,
- $T_i$  [°C] - иницијална температура теста,
- $T_{cr}$  [°C] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене,
- $T_c$  [°C] - температура у центру комада теста,
- $b_0, b_1$  - непознати параметри.

Параболичан изглед експерименталне криве у делу процеса одмрзавања у коме долази до фазне промене, указује на могућност бољег фитовања експерименталних резултата уколико се у дефинисани израз уведе и квадратни члан:

$$t \cdot \left( \frac{T_o - T_{cr}}{T_{cr} - T_i} \right) = b_0 + b_1 \cdot T_c + b_2 \cdot T_c^2$$

у којем је:

- $t$  [min] - време,
- $T_o$  [°C] - температура околине,
- $T_i$  [°C] - иницијална температура теста ,
- $T_{cr}$  [°C] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене,
- $T_c$  [°C] - температура у центру комада теста,
- $b_0, b_1, b_2$  - непознати параметри.

У Табели 8 и Табели 9 приказани су резултати фитовања експерименталних кривих замрзавања округло обликованих комада квасног теста масе 100g, 150g, 450g и 600g на  $-20 \pm 1^\circ\text{C}$  и  $-35 \pm 1^\circ\text{C}$ , респективно.

У Табели 10, Табели 11 и Табели 9 приказани су резултати фитовања експерименталних кривих одмрзавања округло обликованих комада квасног теста масе 100g, 150g, 450g и 600g на  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  и  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ , респективно.

Табела 8: Регресиони параметри фитовања предложеним једначинама експерименталних података измерених за замрзавање на  $-20 \pm 1^\circ\text{C}$

Фитовани опсег температуре [°C]	Трансформисане променљиве	Регресиона функција	Маса комада теста [g]			
			100	150	450	600
$T_i \div T_{cr}$	$Y = \ln\left(\frac{T_c - T_{cr}}{T_i - T_{cr}}\right)$ $X = -t$	$Y = b_0X$	$b_0 = -0,99$ $S_Y^2 = 0,318$	$b_0 = -0,06$ $S_Y^2 = 0,063$	$b_0 = -0,038$ $S_Y^2 = 0,019$	$b_0 = -0,034$ $S_Y^2 = 0,234$
		$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = 0,546$ $b_1 = -0,116$ $S_Y^2 = 0,340$	$b_0 = 0,381$ $b_1 = -0,069$ $S_Y^2 = 0,040$	$b_0 = 0,188$ $b_1 = -0,042$ $S_Y^2 = 0,014$	$b_0 = 0,656$ $b_1 = -0,034$ $S_Y^2 = 0,158$
		$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = -0,131$ $b_1 = 0,021$ $b_2 = -0,0021$ $S_Y^2 = 0,141$	$b_0 = 0,181$ $b_1 = 0,051$ $b_2 = -0,00029$ $S_Y^2 = 0,032$	$b_0 = -0,025$ $b_1 = 0,022$ $b_2 = -0,00032$ $S_Y^2 = 0,0019$	$b_0 = -0,143$ $b_1 = 0,0025$ $b_2 = -0,00036$ $S_Y^2 = 0,052$
$T_{cr}$	$T_{cr} = \frac{1 - \phi}{0,069 - 0,044 \cdot \phi}$ за $\phi = 0,45$ $\Rightarrow$ $T_{cr} = -4,3^\circ\text{C}$					
$T_{cr} \div T_k$	$Y = t \cdot \left( \frac{T_o - T_{cr}}{T_{cr} - T_i} \right)$ $X = T_c$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = 12,100$ $b_1 = -1,230$ $S_Y^2 = 0,058$	$b_0 = 20,187$ $b_1 = -1,329$ $S_Y^2 = 1,503$	$b_0 = 7,803$ $b_1 = -2,728$ $S_Y^2 = 0,422$	$b_0 = 16,722$ $b_1 = -4,725$ $S_Y^2 = 1,046$

$\phi$  - почетни садржај воде у тесту  
 $t$  [min] - време  
 $T_o$  [°C] - температура околине (температура замрзавања  $T_o = -18^\circ\text{C}$ )  
 $T_i$  [°C] - иницијална температура теста (температура теста непосредно по замесу  $T_i = 32 \pm 1^\circ\text{C}$ )  
 $T_{cr}$  [°C] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене  
 $T_c$  [°C] - температура у центру комада теста  
 $T_k$  [°C] - последња измерена температура у центру комада теста  
 $S_Y^2$  - стандардна грешка регресије

Табела 9: Регресиони параметри фитовања предложеним једначинама експерименталних података измерених за замрзавање на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$

Фитовани опсег температуре	Трансформисане променљиве	Регресиона функција	Маса комада теста [g]			
			100	150	450	600
$T_i \div T_{cr}$	$Y = \ln\left(\frac{T_c - T_{cr}}{T_i - T_{cr}}\right)$ $X = -t$	$Y = b_0X$	$b_0 = -0,104$ $S_Y^2 = 0,06$	$b_0 = -0,092$ $S_Y^2 = 0,053$	$b_0 = -0,03$ $S_Y^2 = 0,117$	$b_0 = -0,026$ $S_Y^2 = 0,116$
		$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = 0,192$ $b_1 = -0,116$ $S_Y^2 = 0,08$	$b_0 = 0,25$ $b_1 = -0,106$ $S_Y^2 = 0,05$	$b_0 = 0,421$ $b_1 = -0,04$ $S_Y^2 = 0,079$	$b_0 = 0,473$ $b_1 = -0,034$ $S_Y^2 = 0,062$
		$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = -0,067$ $b_1 = 0,013$ $b_2 = -0,0051$ $S_Y^2 = 0,00340$	$b_0 = 0,008$ $b_1 = 0,033$ $b_2 = -0,00029$ $S_Y^2 = 0,00064$	$b_0 = -0,028$ $b_1 = 0,0087$ $b_2 = -0,00082$ $S_Y^2 = 0,00370$	$b_0 = 0,028$ $b_1 = 0,0021$ $b_2 = -0,0003$ $S_Y^2 = 0,00131$
$T_{cr}$	$T_{cr} = \frac{1 - \phi}{0,069 - 0,044 \cdot \phi}$ за $\phi = 0,45 \Rightarrow T_{cr} = -4,3^\circ\text{C}$					
$T_{cr} \div T_k$	$Y = t \cdot \left(\frac{T_o - T_{cr}}{T_{cr} - T_i}\right)$ $X = T_c$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = 15,573$ $b_1 = -0,97$ $S_Y^2 = 0,173$	$b_0 = 19,168$ $b_1 = -0,945$ $S_Y^2 = 0,083$	$b_0 = 50,354$ $b_1 = -2,142$ $S_Y^2 = 0,756$	$b_0 = 62,300$ $b_1 = -1,564$ $S_Y^2 = 0,435$

- $\phi$  - почетни садржај воде у тесту
- $t$  [min] - време
- $T_o$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура околине (температура замрзавања  $T_o = -35^\circ\text{C}$ )
- $T_i$  [ $^\circ\text{C}$ ] - иницијална температура теста (температура теста непосредно по замесу  $T_i = 32\pm 1^\circ\text{C}$ )
- $T_{cr}$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене
- $T_c$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура у центру комада теста
- $T_k$  [ $^\circ\text{C}$ ] - последња измерена температура у центру комада теста
- $S_Y^2$  - стандардна грешка регресије

Табела 10: Регресиони параметри фитовања предложеним једначинама експерименталних података измерених за одмрзавање на  $4 \pm 1^\circ\text{C}$

Фитовани опсег температуре	Трансформисане променљиве	Регресиона функција	Маса комада теста [g]				
			100	150	450	600	
$T_{cr} \div T_k$	$Y = \ln\left(\frac{T_{cr} - T_c}{T_i - T_{cr}}\right)$	$X = -t + t_k$	$Y = b_0X$	$b_0 = 0,027$ $S_Y^2 = 0,011$	$b_0 = 0,018$ $S_Y^2 = 0,04$	$b_0 = 0,028$ $S_Y^2 = 0,043$	$b_0 = 0,013$ $S_Y^2 = 0,371$
		$X = -t$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = -4,88$ $b_1 = 0,027$ $S_Y^2 = 0,011$	$b_0 = -4,177$ $b_1 = 0,017$ $S_Y^2 = 0,04$	$b_0 = -10,068$ $b_1 = 0,028$ $S_Y^2 = 0,044$	$b_0 = -5,7$ $b_1 = 0,0089$ $S_Y^2 = 0,204$
			$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = -5,525$ $b_1 = -0,038$ $b_2 = -0,00004$ $S_Y^2 = 0,0096$	$b_0 = -6,09$ $b_1 = -0,044$ $b_2 = -0,00008$ $S_Y^2 = 0,0035$	$b_0 = -13,714$ $b_1 = -0,055$ $b_2 = -0,00005$ $S_Y^2 = 0,036$	$b_0 = 1,401$ $b_1 = 0,03$ $b_2 = -0,00005$ $S_Y^2 = 0,075$
$T_{cr}$	$T_{cr} = \frac{1 - \phi}{0,069 - 0,044 \cdot \phi}$		за $\phi = 0,45 \Rightarrow T_{cr} = -4,3^\circ\text{C}$				
	$Y = t \cdot \left(\frac{T_o - T_{cr}}{T_{cr} - T_i}\right)$ $X = T_c$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = 48,64$ $b_1 = 2,644$ $S_Y^2 = 1,058$	$b_0 = 48,77$ $b_1 = 2,65$ $S_Y^2 = 1,187$	$b_0 = 133,6$ $b_1 = 9,2$ $S_Y^2 = 199,06$	$b_0 = 147,72$ $b_1 = 10,57$ $S_Y^2 = 304,34$	
		$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = 47,44$ $b_1 = 2,354$ $b_2 = -0,014$ $S_Y^2 = 0,997$	$b_0 = 47,65$ $b_1 = 2,38$ $b_2 = -0,013$ $S_Y^2 = 1,136$	$b_0 = 220,0$ $b_1 = 29,0$ $b_2 = 1,02$ $S_Y^2 = 19,99$	$b_0 = 238,61$ $b_1 = 33,73$ $b_2 = 1,20$ $S_Y^2 = 46,7$	

- $\phi$  - почетни садржај воде у тесту
- $t$  [min] - време
- $t_k$  [min] - време у коме је последњи пут измерена температура
- $T_o$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура околине (температура одмрзавања  $T_o = 4^\circ\text{C}$ )
- $T_i$  [ $^\circ\text{C}$ ] - иницијална температура теста (температура теста на почетку одмрзавања  $T_i = -18^\circ\text{C}$ )
- $T_{cr}$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене
- $T_c$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура у центру комада теста
- $T_k$  [ $^\circ\text{C}$ ] - последња измерена температура у центру комада теста
- $S_Y^2$  - стандардна грешка регресије

Табела 11: Регресиони параметри фитовања предложеним једначинама експерименталних података измерених за одмрзавање на 20±1°C

Фитовани опсег температуре	Трансформисане променљиве		Регресиона функција	Маса комада теста [g]			
				100	150	450	600
$T_{cr} \div T_k$	$Y = \ln\left(\frac{T_{cr} - T_c}{T_i - T_{cr}}\right)$	$X = -t + t_k$	$Y = b_0X$	$b_0 = 0,0078$ $S_Y^2 = 0,348$	$b_0 = 0,0190$ $S_Y^2 = 0,684$	$b_0 = 0,0044$ $S_Y^2 = 0,399$	$b_0 = 0,0081$ $S_Y^2 = 0,494$
		$X = -t$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = -1,979$ $b_1 = -0,018$ $S_Y^2 = 0,068$	$b_0 = -3,573$ $b_1 = 0,037$ $S_Y^2 = 0,204$	$b_0 = -2,805$ $b_1 = 0,01$ $S_Y^2 = 0,125$	$b_0 = -7,704$ $b_1 = 0,0018$ $S_Y^2 = 0,164$
			$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = -2,752$ $b_1 = -0,041$ $b_2 = -0,00012$ $S_Y^2 = 0,025$	$b_0 = -5,713$ $b_1 = -0,104$ $b_2 = -0,00043$ $S_Y^2 = 0,022$	$b_0 = -5,8$ $b_1 = -0,037$ $b_2 = -0,00005$ $S_Y^2 = 0,034$	$b_0 = -8,57$ $b_1 = -0,074$ $b_2 = -0,00015$ $S_Y^2 = 0,013$
$T_{cr}$	$T_{cr} = \frac{1-\phi}{0,069-0,044\cdot\phi}$		за $\phi = 0,45 \Rightarrow T_{cr} = -4,3^\circ\text{C}$				
	$Y = t \cdot \left(\frac{T_o - T_{cr}}{T_{cr} - T_i}\right)$	$X = T_c$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = 35,75$ $b_1 = 2,16$ $S_Y^2 = 4,107$	$b_0 = 47,38$ $b_1 = 2,715$ $S_Y^2 = 6,227$	$b_0 = 237,12$ $b_1 = 15,2$ $S_Y^2 = 1454$	$b_0 = 203,65$ $b_1 = 12,88$ $S_Y^2 = 1076$
			$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = 44,415$ $b_1 = 4,263$ $b_2 = 0,102$ $S_Y^2 = 0,389$	$b_0 = 53,60$ $b_1 = 4,23$ $b_2 = 0,073$ $S_Y^2 = 4,55$	$b_0 = 410,05$ $b_1 = 55,28$ $b_2 = 1,816$ $S_Y^2 = 150,18$	$b_0 = 346,65$ $b_1 = 12,88$ $b_2 = 1,49$ $S_Y^2 = 81,84$

- $\phi$  - почетни садржај воде у тесту
- $t$  [min] - време
- $t_k$  [min] - време у коме је последњи пут измерена температура
- $T_o$  [°C] - температура околине (температура одмрзавања  $T_o = 20^\circ\text{C}$ )
- $T_i$  [°C] - иницијална температура теста (температура теста на почетку одмрзавања  $T_i = -18^\circ\text{C}$ )
- $T_{cr}$  [°C] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене
- $T_c$  [°C] - температура у центру комада теста
- $T_k$  [°C] - последња измерена температура у центру комада теста
- $S_Y^2$  - стандардна грешка регресије

Табела 12: Регресиони параметри фитовања предложеним једначинама експерименталних података измерених за одмрзавање на  $35 \pm 1^\circ\text{C}$

Фитовани опсег температуре	Трансформисане променљиве		Регресиона функција	Маса комада теста [g]			
				100	150	450	600
$T_{cr} \div T_k$	$Y = \ln\left(\frac{T_{cr} - T_c}{T_i - T_{cr}}\right)$	$X = -t + t_k$	$Y = b_0X$	$b_0 = 0,03$ $S_Y^2 = 0,222$	$b_0 = 0,027$ $S_Y^2 = 0,165$	$b_0 = 0,0025$ $S_Y^2 = 0,172$	$b_0 = 0,017$ $S_Y^2 = 0,174$
		$X = -t$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = -3,302$ $b_1 = 0,052$ $S_Y^2 = 0,052$	$b_0 = -3,368$ $b_1 = 0,041$ $S_Y^2 = 0,037$	$b_0 = -3,958$ $b_1 = 0,038$ $S_Y^2 = 0,064$	$b_0 = -4,349$ $b_1 = 0,027$ $S_Y^2 = 0,042$
			$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = -4,08$ $b_1 = -0,085$ $b_2 = -0,00032$ $S_Y^2 = 0,047$	$b_0 = -3,93$ $b_1 = -0,061$ $b_2 = -0,00016$ $S_Y^2 = 0,032$	$b_0 = -2,702$ $b_1 = -0,0063$ $b_2 = 0,00019$ $S_Y^2 = 0,058$	$b_0 = -6,063$ $b_1 = -0,054$ $b_2 = -0,0001$ $S_Y^2 = 0,032$
$T_{cr}$	$T_{cr} = \frac{1 - \phi}{0,069 - 0,044 \cdot \phi}$		за $\phi = 0,45 \Rightarrow T_{cr} = -4,3^\circ\text{C}$				
	$Y = t \cdot \left(\frac{T_o - T_{cr}}{T_{cr} - T_i}\right)$	$X = T_c$	$Y = b_0 + b_1X$	$b_0 = 43,778$ $b_1 = 2,703$ $S_Y^2 = 26,94$	$b_0 = 27,220$ $b_1 = 2,99$ $S_Y^2 = 21,227$	$b_0 = 104,138$ $b_1 = 6,162$ $S_Y^2 = 32,425$	$b_0 = 139$ $b_1 = 8,88$ $S_Y^2 = 280,32$
			$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$	$b_0 = 68,75$ $b_1 = 8,45$ $b_2 = 0,27$ $S_Y^2 = 13,21$	$b_0 = 72,88$ $b_1 = 8,718$ $b_2 = 0,271$ $S_Y^2 = 6,162$	$b_0 = 136,67$ $b_1 = 12,73$ $b_2 = 0,29$ $S_Y^2 = 16,24$	$b_0 = 214,9$ $b_1 = 25,9$ $b_2 = 0,777$ $S_Y^2 = 4,797$

- $\phi$  - почетни садржај воде у тесту
- $t$  [min] - време
- $t_k$  [min] - време у коме је последњи пут измерена температура
- $T_o$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура околине (температура одмрзавања  $T_o = 35^\circ\text{C}$ )
- $T_i$  [ $^\circ\text{C}$ ] - иницијална температура теста (температура теста на почетку одмрзавања  $T_i = -18^\circ\text{C}$ )
- $T_{cr}$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура у центру комада теста која је најближа, али мања од процењене
- $T_c$  [ $^\circ\text{C}$ ] - температура у центру комада теста
- $T_k$  [ $^\circ\text{C}$ ] - последња измерена температура у центру комада теста
- $S_Y^2$  - стандардна грешка регресије

За процену квалитета фитовања коришћена је стандардна грешка регресије:

$$S_Y^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

где је:  $Y_i$  - теоријска вредност,  
 $\hat{Y}_i$  - експериментална вредност,  
 $k$  - број параметара у регресионој једначини,  
 $n$  - број експерименталних тачака.

Практична примена предложених модела унеколико је отежана ограничењима под којима они важе, а која се првенствено односе на примењене експерименталне услове. Теоријски посматрано, довољно је изабрати једначину са најмањом стандардном грешком регресије. У пракси је, ипак, неопходно урадити неколико експеримената у конкретним условима (састав теста, маса округло обликованих комада теста, оптерећење коморе за замрзавање и коморе за одмрзавање, као и начин хлађења, односно загревања...). Добијене експерименталне резултате потребно је фитовати предложеним једначинама и усвојити оне које најбоље описују експерименталне податке (најмања стандардна грешка регресије). Предложена методологија обраде експерименталних података је прилично једноставна и прихватљиве је тачности за примену у индустријским условима.

Параметри који фигуришу у предложеним моделима имају теоријску основу, али их је практично немогуће експлицитно повезати са параметрима процеса. За развијање модела који описује замрзавање и одмрзавање у конкретном систему и повезивање параметра модела са параметрима процеса потребан је екстензиван експериментални рад. Поред тога, морао би се усвојити читав низ апроксимација које, услед тешко предвидљивог понашања квасног теста у конкретним условима, неминовно доводе до значајне разлике између моделом предвиђених и реалних дешавања у процесу. Оваква методологија би била релативно компликована, непоуздана и готово непримењива за практичне, индустријске услове.

#### 5.2.4. ИСПИТИВАЊЕ ФЕРМЕНТАТИВНЕ АКТИВНОСТИ КВАСЦА

Сви подаци који су прикупљени током одређивања ферментативне активности квасца у тесту које је замрзнуто на  $-20 \pm 1^\circ\text{C}$  и  $-35 \pm 1^\circ\text{C}$ , а одмрзавано у различитим режимима приказани су Табели 13 и Табели 14, респективно.

Време које комади теста одмрзнути на различитим температурама проведу у мерној комори ферментографа и у коме не долази до ослобађања  $\text{CO}_2$  (Табела 13 и Табела 14), значајно се разликује код различитих режима одмрзавања, за обе примењене температуре замрзавања. Код теста које је брже замрзнуто (на  $-35 \pm 1^\circ\text{C}$ ) уочава се значајно продужење времена које протекне пре него што започне издвајање  $\text{CO}_2$  него што је то случај код теста које је спорије замрзнуто (на  $-20 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

Код узорака теста који су замрзнути на  $-20 \pm 1^\circ\text{C}$  уједначено је време за које се из одмрзнутог комада теста масе 450g ослободи 600 ml  $\text{CO}_2$ , за све температуре одмрзавања у истим временским интервалима. Код узорака који су замрзнути на  $-35 \pm 1^\circ\text{C}$  јасно се уочава значајан утицај режима одмрзавања на ферментативну активност квасца. Већа брзина замрзавања теста доводи до смањења вредности испитиваног показатеља, односно, ферментативна активност квасца у тесту које је брже замрзнуто је интензивнија, што није у складу са наводима Autio i Sinda (1992) и El-Hady i dr. (1996) који сугеришу да велике брзине замрзавања негативно утичу на ферментативну активност квасца у замрзаном тесту.

Табела 13: Ферментативна активност квасца у одмрзнутом тесту које је замрзнуто на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$

време одмрзавања [min]	време за које се издвоји 600 ml CO <sub>2</sub> [min] на 35°C		
	време до почетка издвајања	време издвајања	укупно време
одмрзавање на $4\pm 2^{\circ}\text{C}$			
60	54	185	239
120	47	166	213
180	38	154	192
240	29	134	163
300	22	138	160
360	15	128	143
одмрзавање на $20\pm 1^{\circ}\text{C}$			
60	34	161	195
120	26	164	190
180	17	164	181
240	12	138	150
300	11	133	144
360	8	135	143
одмрзавање на $35\pm 1^{\circ}\text{C}$			
60	27	157	184
120	9	138	147
180	0	127	127

Табела 14: Ферментативна активност квасца у одмрзнутом тесту које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$

време одмрзавања [min]	време за које се издвоји 600 ml CO <sub>2</sub> [min] на 35°C		
	време до почетка издвајања	време издвајања	укупно време
тесто одмрзавано на $4\pm 2^{\circ}\text{C}$			
60	84	111	195
120	80	100	180
180	68	105	173
240	67	93	160
300	59	99	158
360	45	85	130
тесто одмрзавано на $20\pm 1^{\circ}\text{C}$			
60	60	104	164
120	27	92	119
180	8	86	94
240	7	78	85
300	3	69	72
360	0	59	59
тесто одмрзавано на $35\pm 1^{\circ}\text{C}$			
60	44	111	155
120	6	83	89
180	0	55	55

Обзиром да мале брзине замрзавања погодују формирању великих кристала леда, који у периоду складиштења додатно расту услед рекристализације изазване миграцијом воде, и да велики кристали леда механички оштећују глутенски матрикс и ћелије квасца, могуће је да су ово разлози услед којих је потребно дуже време да се из комада теста масе 450g издвоји 600ml CO<sub>2</sub> уколико је тесто замрзнуто на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$  у односу оно замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Такође је могуће да услед споријег одмрзавања комада теста долази до потпуније рехидратације система, што је уз мања механичка оштећења које су састојци теста претрпели при бржем замрзавању, узрок интензивније ферментативне активности квасца у тесту које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  у односу на оно које је замрзнуто на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Резултати приказани у Табели 13 и Табели 14 показују да је избор оптималног режима одмрзавања значајнији код квасних теста која су замрзнута на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  у односу на она која су замрзнута на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Без обзира на примењену брзину замрзавања одмрзавање теста на  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  не завршава се у току 6h. Да би се постигао одговарајући ниво одмрзавања, теста која су брже замрзнута треба да се одмрзавају на  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  током 3h, а теста која су спорије замрзнута 6h. Без обзира на примењену брзину замрзавања, за 2h је завршено одмрзавање на  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Пре имплементације одабраног режима одмрзавања у индустријске услове потребно је испитати његов утицај на остале састојке теста јер од рехидратације система у великој мери зависи способност теста да задржава CO<sub>2</sub> настао метаболичком активношћу квасца која је, пак, лимитирана способношћу вијабилних ћелија да продукују гас и количином ферментабилних шећера у тесту.



### 5.3. ИСПИТИВАЊЕ КВАЛИТЕТА ЗАМРЗАВАНОГ ТЕСТА СА ДОДАТКОМ ХИДРОКОЛОИДА И ОД ЊЕГА ДОБИЈЕНОГ ГОТОВОГ ПРОИЗВОДА - ЗАМЕС СА КОНСТАНТНОМ КОЛИЧИНОМ ВОДЕ -

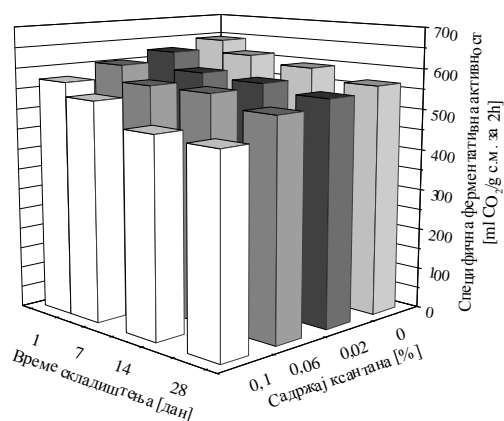
Ова група експеримената планирана је са циљем да се испитају ефекти додатка хидроколоида и дужине складиштења замрзнутог теста на његов квалитет и квалитет од њега добијеног готовог производа.

У складу са планом експеримента, који је шематски приказан на Слици 7 припремљене су потребне сировине. За замес је употребљен свеж пекарски квасац чији је садржај суве материје 30,42%. Резултати анализе квалитета употребљеног брашна приказани су у Табели 7. Замес је формиран са константном количином воде (Ribotta *et al.*, 2003b).

Зависност специфичне ферментативне активности квасца од садржаја ксантана, к-карагенана и карбоксиметилцелулозе (СМС) у тесту и од дужине складиштења замрзнутог теста приказана је на Слици 14, Слици 15 и Слици 16, респективно.

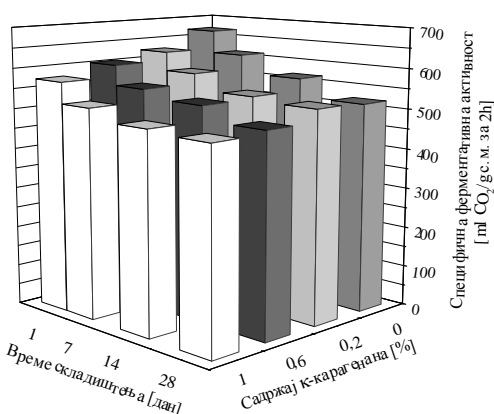
Вредност специфичне ферментативне активности квасца у тесту са ксантаном, које је одмрзнуто одмах по замрзавању (узорци који су складиштени 1 дан), значајно је мања у односу на тесто без ксантана које је третирано на исти начин (643,5 у односу на 610,25 [ml CO<sub>2</sub>/g s.m. за 2h] за 0% и 0,02% ксантана у тесту, респективно;  $p=0,031$ ). Повећање количине ксантана у тесту (0,06% и 0,1%) нема значајан утицај на вредност испитиваног показатеља.

Продужењем времена складиштења замрзнутог теста значајно се смањује специфична ферментативна активност квасца за све примењене концентрације ксантана у тесту. При поређењу узорка теста који је одмрзнут непосредно по замрзавању и узорка који је складиштен 28 дана уочава се смањење вредности испитиваног показатеља код теста без ксантана за 10,9% ( $p=0,018$ ), односно за 11,8% ( $p=0,015$ ), 18,4% ( $p=0,011$ ) и 15,7% ( $p=0,013$ ) код теста са 0,02%, 0,06% и 0,1% ксантана, респективно.



Слика 14: Зависност специфичне ферментативне активности квасца од садржаја ксантана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$  висина стубића је средња вредност из три мерења

Генерелно гледано, додаток к-карагенана смањује специфичну ферментативну активност квасца у тесту.

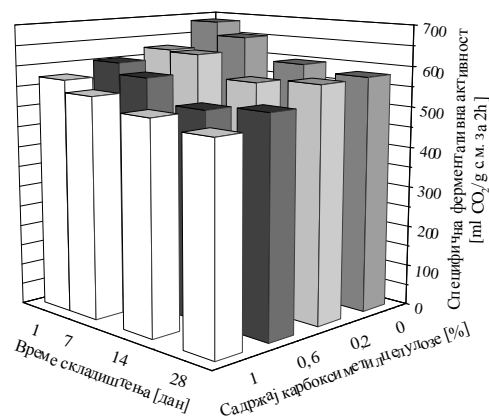


Слика 15: Зависност специфичне ферментативне активности квасца од садржаја κ-карагенана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$  висина стубића је средња вредност из три мерења

Смањење вредности испитиваног показатеља које се јавља као последица складиштења замрзнутог теста мање је изражено код теста са највећим примењеним садржајем κ-карагенана у односу на тесто без хидроколоида. Код теста без κ-карагенана учено је смањење специфичне ферментативне активности квасца са 668,5 [ml CO<sub>2</sub>/g s.m. za 2h] у узорку који је одмрзнут непосредно по замрзавању, на 573 [ml CO<sub>2</sub>/g s.m. za 2h] у узорку који је складиштен 28 дана. Ово смањење је статистички значајно и износи 14,3% (p=0,019). У тесту које садржи 1% κ-карагенана, вредност испитиваног показатеља се смањује са 520,45 [ml CO<sub>2</sub>/g s.m. za 2h] за узорак који је одмрзнут непосредно по замрзавању, на 486,66 [ml CO<sub>2</sub>/g s.m. za 2h] за узорак који је складиштен 28 дана. Уочено смањење износи 6,5% и статистички је значајно (p=0,031). Иако се негативан утицај продужења времена складиштења замрзнутог теста на специфичну ферментативну активност квасца умањује додатком κ-карагенана у тесто, вредност овог показатеља је након 28 дана складиштења замрзнутог теста значајно мања (p=0,022) у узорку са 1% κ-карагенана него у узорку без овог хидроколоида.

Најмањи примењени садржај СМС у тесту (0,2%) не показује статистички значајан утицај на специфичну ферментативну активност квасца. Повећање садржаја овог хидроколоида (0,6% и 1%) значајно смањује специфичну ферментативну активност квасца у незамрзаваном тесту (p=0,018 и p= 0,024, респективно).

Продужење времена складиштења замрзаваног теста, генерално гледано, смањује специфичну ферментативну активност квасца за све примењене концентрације карбоксиметилцелулозе. Присуство овог хидроколоида у тесту које је одмрзнуто непосредно након замрзавања очигледно има већи утицај на специфичну ферментативну активност квасца него што је то случај са ксантаном и κ-карагенаном. Разлике у интензитету утицаја овог хидроколоида и ксантана, односно κ-карагенана, на специфичну ферментативну активност квасца у замрзаваном тесту смањују се са продужењем времена складиштења замрзнутог теста.



Слика 16: Зависност специфичне ферментативне активности квасца од садржаја карбоксиметилцелулозе и времена складиштења теста замрзнутог на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$  висина стубића је средња вредност из три мерења

Уочено смањење специфичне ферментативне активности квасца, које се јавља током складиштења замрзнутог теста до 28 дана (Слика 14, 15 и 16), вероватно је узроковано смањењем вијабилности квасних ћелија. Овакви резултати су у складу са раније публикованим истраживањима (Mayers and Attfield, 1999).

Табела 15: Процена квалитета готовог пекарског производа у зависности од садржаја ксантана и времена складиштења замрзнутог теста

Време складиштења [дан]	Показатељи квалитета готовог пекарског производа					
	Маса [g]	Запремина [cm <sup>3</sup> ]	Облик <sup>а</sup> [l]	Специфична запремина <sup>б</sup> [cm <sup>3</sup> /g]	ПБ <sup>в</sup> [mm]	ДБ <sup>г</sup>
<b>0,00% ксантана</b>						
0	100,5±0,4 a <sup>д</sup>	255,2±2,7 bcd	0,50±0,11 bcde	2,54±0,51 ef	6,7±0,4 de	8±0 b
7	101,5±0,3 a	248,1±3,8 abc	0,51±0,31 cde	2,44±0,52 cd	5,9±0,3 c	8±0 b
14	102,0±0,4 a	248,2±4,6 abc	0,53±0,32 e	2,42±0,52 bcd	5,1±0,2 b	8±0 b
30	104,6±0,6 a	240,2±3,5 a	0,58±0,12 f	2,29±0,61 a	3,9±0,3 a	8±0 b
<b>0,02 % ксантана</b>						
0	100,8±0,5 a	253,3±3,7 abc	0,51±0,21 cde	2,51±0,62 def	8,7±0,4 f	8±0 b
7	101,5±0,7 a	248,2±4,8 abc	0,48±0,32 bcd	2,44±0,71 cd	7,4±0,3 e	7±0 a
14	102,0±0,9 a	248,1±3,9 abc	0,52±0,51 de	2,43±0,81 cd	6,1±0,5 cd	8±0 b
30	104,6±0,7 a	240,1±4,8 a	0,62±0,11 f	2,29±0,72 a	4,6±0,3 ab	8±0 b
<b>0,06 % ксантана</b>						
0	102,7±0,6 a	268,2±3,7 de	0,46±0,32 ab	2,61±0,61 gh	6,9±0,4 e	8±0 b
7	102,2±0,4 a	260,2±4,8 cde	0,47±0,22 bc	2,54±0,62 ef	6,1±0,6 cd	7±0 a
14	102,5±0,5 a	252,1±2,9 abc	0,42±0,11 a	2,45±0,73 cde	5,8±0,4 c	8±0 b
30	103,2±0,3 a	248,2±3,7 abc	0,58±0,22 f	2,40±0,51 bc	3,9±0,4 a	8±0 b
<b>0,1 % ксантана</b>						
0	101,9±0,7 a	273,2±5,5 e	0,50±0,21 bcde	2,68±0,61 h	6,8±0,3 de	8±0 b
7	103,2±0,8 a	268,1±4,9 de	0,51±0,12 cde	2,59±0,82 fgh	5,9±0,6 c	7±0 a
14	100,5±0,9 a	242,2±3,8 ab	0,53±0,23 e	2,55±0,82 fg	5,1±0,5 b	8±0 b
30	103,8±0,4 a	242,2±3,7 ab	0,58±0,13 f	2,33±0,62 ab	3,9±0,4 a	8±0 b

Свака вредност у табели представља средњу вредност из три понављања.

<sup>а</sup> Облик = висина/пречник

<sup>б</sup> Специфична запремина = запремина/маса

<sup>в</sup> Пенетрометарски број

<sup>г</sup> Dallmann-ов број (1=средина са крупним, неуједначеним гасним порама, 8=средина са ситним уједначеним гасним порама)

<sup>д</sup> колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика (p=0,05)

Квалитет готовог пекарског производа процењен на основу његове специфичне запремине која је изражена [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ] и облика земички. Карактеристике средине, као што су чврстина (мекоћа), гранулација и структура (расподела величина и изглед пора), одређене су на основу пенетрометарског броја који је изражен у [ $\text{mm}$ ] и Dallmann-овог броја.

Обзиром на специфичне захтеве сваког, па и нашег тржишта у погледу квалитета готовог пекарског производа, процену његовог квалитета потребно је извршити веома пажљиво. У том контексту, поређење квалитета нашег са уобичајеним квалитетом производа на другим географским подручјима, тржишно није сасвим оправдано. На нашем поднебљу, када је у питању бели хлеб, потрошачи преферирају меку средину влажног укуса. Средина таквог хлеба одликује се порам танких зидова које су уједначене и издуженог су облика.

Карактеристике земички добијених од замрзаваног теста са различитим садржајем ксантана приказане су у Табели 15, а њихов изглед на Слици 17.

Резултати у Табели 15 показују да се запремина, као и специфична запремина готових пекарских производа смањује са продужењем складиштења замрзнутог теста за све испитиване садржаје ксантана у тесту ( $0,02 \div 0,1\%$ ). Са продужењем складиштења замрзнутог теста мења се и облик земички о чему сведочи промена односа висине и пречника. Интересантно је приметити да овог показатеља квалитета није статистички значајан у првих 14 дана складиштења замрзнутог теста, али да је пораст уочен након 30 дана складиштења значајан. Пенетрометарски број се значајно смањује са повећањем садржаја ксантана у тесту, али и са подужењем времена складиштења замрзнутог теста. Смањење вредности пенетрометарског броја указује на повећање чврстине средине хлеба које вероватно настаје услед позитивне интеракције ксантана и глутена, а чији је резултат јачање глутенског матрикса. Са друге стране, структура средине, изражена преко Dallmann-овог броја, не мења се значајно ни са повећањем садржаја ксантана у тесту нити са продужењем времена складиштења замрзнутог теста.

У Табели 16 приказане су карактеристике земички добијених од замрзаваног теста са различитим садржајем к-карагенана, а њихов изглед илуструје Слика 17.

Измерене запремине и израчунате специфичне запремине, приказане у Табели 16, показују да се вредности оба показатеља смањују са продужењем времена складиштења замрзнутог теста и то за земичке без хидроколоида, као и за земичке са к-карагенаном ( $0,2 \div 1\%$ ). За разлику од узорака са ксантаном, промене односа висине и пречника не показују јасно изражен тренд, а разлике међу израчунатим вредностима, генерално гледано, нису статистички значајне. Вредност пенетрометарског броја значајно се смањује са продужењем времена складиштења замрзнутог теста као и са порастом садржаја к-карагенана у тесту. Структура средине земички, слично као и код узорака са ксантаном, не мења се значајно, односно, вредност Dallmann-овог броја је максимална за све примењене садржаје к-карагенана.

Показатељи квалитета земички добијених од замрзаваног теста са различитим садржајем карбоксиметилцелулозе (СМС) приказани су у Табели 17, а њихов изглед приказан је на Слици 17.

Табела 16: Процена квалитета готовог пекарског производа у зависности од садржаја к-карагенана и времена складиштења замрзнутог теста

Време складиштења [дан]	Показатељи квалитета готовог пекарског производа					
	Маса [g]	Запремина [cm <sup>3</sup> ]	Облик <sup>а</sup> [l]	Специфична запремина <sup>б</sup> [cm <sup>3</sup> /g]	ПБ <sup>в</sup> [mm]	ДБ <sup>г</sup>
<b>0,0% к - карагенана</b>						
0	100,5±0,4 a <sup>д</sup>	255,2±2,7 bcd	0,50±0,11 bcde	2,54±0,51 ef	6,7±0,4 de	8±0 b
7	101,5±0,3 a	248,1±3,8 abc	0,51±0,31 cde	2,44±0,52 cd	5,9±0,3 c	8±0 b
14	102,0±0,4 a	248,2±4,6 abc	0,53±0,32 e	2,42±0,52 bcd	5,1±0,2 b	8±0 b
30	104,6±0,6 a	240,2±3,5 a	0,58±0,12 f	2,29±0,61 a	3,9±0,3 a	8±0 b
<b>0,2 % к - карагенана</b>						
0	106,0±0,5 a	246,2±4,5 defg	0,59±0,52 fgh	2,32±0,52 d	6,9±0,4 d	8±0 b
7	104,2±0,6 a	236,1±3,6 cde	0,57±0,42 efg	2,26±0,42 cd	6,5±0,5 cd	7±0 a
14	102,3±0,4 a	225,2±2,6 abc	0,48±0,62 ab	2,20±0,51 bc	6,3±0,1 cd	8±0 b
30	103,1±0,6 a	212,2±3,4 a	0,55±0,43 def	2,05±0,61 a	6,1±0,3 c	8±0 b
<b>0,6% к - карагенана</b>						
0	102,6±0,6 a	276,2±5,4 ij	0,49±0,53 abc	2,69±0,61 hi	6,8±0,8 d	8±0 b
7	102,7±0,8 a	264,2±3,5 hi	0,46±0,43 a	2,57±0,41 g	6,3±0,7 cd	7±0 a
14	103,1±0,7 a	254,3±5,6 fgh	0,55±0,11 def	2,46±0,52 ef	5,9±0,9 c	8±0 b
30	103,3±0,8 a	220,3±3,5 ab	0,52±0,31 bcd	2,13±0,42 ab	4,1±0,7 a	8±0 b
<b>1,0% к - карагенана</b>						
0	103,6±0,6 a	284,3±3,4 j	0,59±0,51 fgh	2,74±0,62 i	6,0±0,4 c	7±0 a
7	104,7±0,5 a	274,2±5,3 ij	0,53±0,42 cde	2,62±0,52 gh	5,1±0,6 b	8±0 b
14	102,5±0,3 a	252,1±4,2 fgh	0,61±0,52 gh	2,46±0,43 ef	4,9±0,8 b	8±0 b
30	102,9±0,5 a	228,1±3,6 bcd	0,62±0,62 h	2,21±0,53 bc	3,9±0,5 a	8±0 b

Свака вредност у табели представља средњу вредност из три понављања.

<sup>а</sup> Облик = висина/пречник

<sup>б</sup> Специфична запремина = запремина/маса

<sup>в</sup> Пенетрометарски број

<sup>г</sup> Dallmann-ов број (1=средина са крупним, неједначеним гасним порама, 8=средина са ситним уједначеним гасним порама)

<sup>д</sup> колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика (p=0,05)

Дужина складиштења замрзнутог теста значајно утиче на запремину и специфичну запремину готовог пекарског производа, како код узорка теста без додатка хидроколоида, тако и код узорка са свим примењеним концентрацијама СМС (0,2÷1%). Чињеница да се израчунате вредности односа висине и пречника не разликују значајно, за све испитиване садржаје карбоксиметилцелулозе у свим терминима узорковања, указује да примењени

третмани не узрокују деформацију облика готовог пекарског производа. Пенетрометарски број се смањује са продужењем времена складиштења замрзнутог теста, али је то смањење, односно повећање чврстине средине, мање изражено код узорака са СМС-ом, него код узорака без хидроколоида. Dallmann-ов број за структуру средине земички које су добијене од замрзаваног теста са 0,2% СМС је 7, док је за све остале узорке, без и са СМС-ом, у свим терминима узорковања, његова вредност 8.

Табела 17: Процена квалитета готовог пекарског производа у зависности од садржаја карбоксиметилцелулозе и времена складиштења замрзнутог теста

Време складиштења [дан]	Показатељи квалитета готовог пекарског производа					
	Маса [g]	Запремина [cm <sup>3</sup> ]	Облик <sup>а</sup> [l]	Специфична запремина <sup>б</sup> [cm <sup>3</sup> /g]	ПБ <sup>в</sup> [mm]	ДБ <sup>г</sup>
<b>0,0% карбоксиметилцелулозе</b>						
0	100,5±0,4 a <sup>д</sup>	255,2±2,7 bcd	0,50±0,11 bcde	2,54±0,51 ef	6,7±0,4 de	8±0 b
7	101,5±0,3 a	248,1±3,8 abc	0,51±0,31 cde	2,44±0,52 cd	5,9±0,3 c	8±0 b
14	102,0±0,4 a	248,2±4,6 abc	0,53±0,32 e	2,42±0,52 bcd	5,0±0,2 b	8±0 b
30	104,6±0,6 a	240,2±3,5 a	0,58±0,12 f	2,29±0,61 a	3,9±0,3 a	8±0 b
<b>0,2 % карбоксиметилцелулозе</b>						
0	103,3±0,5 a	253,1±3,5 cd	0,53±0,41 cde	2,45±0,82 cde	6,7±0,7 d	7±0 a
7	101,8±0,6 a	244,2±3,6 abcd	0,56±0,51 efg	2,39±0,71 bc	5,9±0,8 c	7±0 a
14	102,5±0,4 a	236,1±4,4 ab	0,54±0,62 def	2,30±0,91 ab	5,3±0,4 b	7±0 a
30	101,1±0,5 a	232,1±3,4 a	0,50±0,42 bcd	2,29±0,82 a	4,7±0,8 b	7±0 a
<b>0,6% карбоксиметилцелулозе</b>						
0	100,4±0,4 a	252,2±4,5 cd	0,50±0,62 bcd	2,51±0,72 def	6,9±0,6 d	8±0 b
7	101,5±0,3 a	248,2±4,6 bcd	0,59±0,32 g	2,44±0,52 cd	5,8±0,4 c	8±0 b
14	103,3±0,3 a	248,1±3,4 bcd	0,53±0,82 cde	2,40±0,61 c	4,4±0,4 ab	8±0 b
30	102,5±0,5 a	246,2±3,6 abcd	0,45±0,72 a	2,40±0,42 c	4,1±0,7 a	8±0 b
<b>1,0% карбоксиметилцелулозе</b>						
0	100,4±0,5 a	270,2±4,4 e	0,51±0,71 bcd	2,69±0,52 g	6,5±0,4 d	8±0 b
7	101,0±0,3 a	258,3±3,6 de	0,58±0,81 fg	2,55±0,42 f	4,9±0,5 b	8±0 b
14	102,4±0,4 a	250,2±5,1 bcd	0,49±0,81 abc	2,44±0,51 cd	4,4±0,6 ab	8±0 b
30	103,1±0,5 a	244,1±3,3 abcd	0,47±0,91 ab	2,36±0,61 abc	4,1±0,8 a	8±0 b

Свака вредност у табели представља средњу вредност из три понављања.

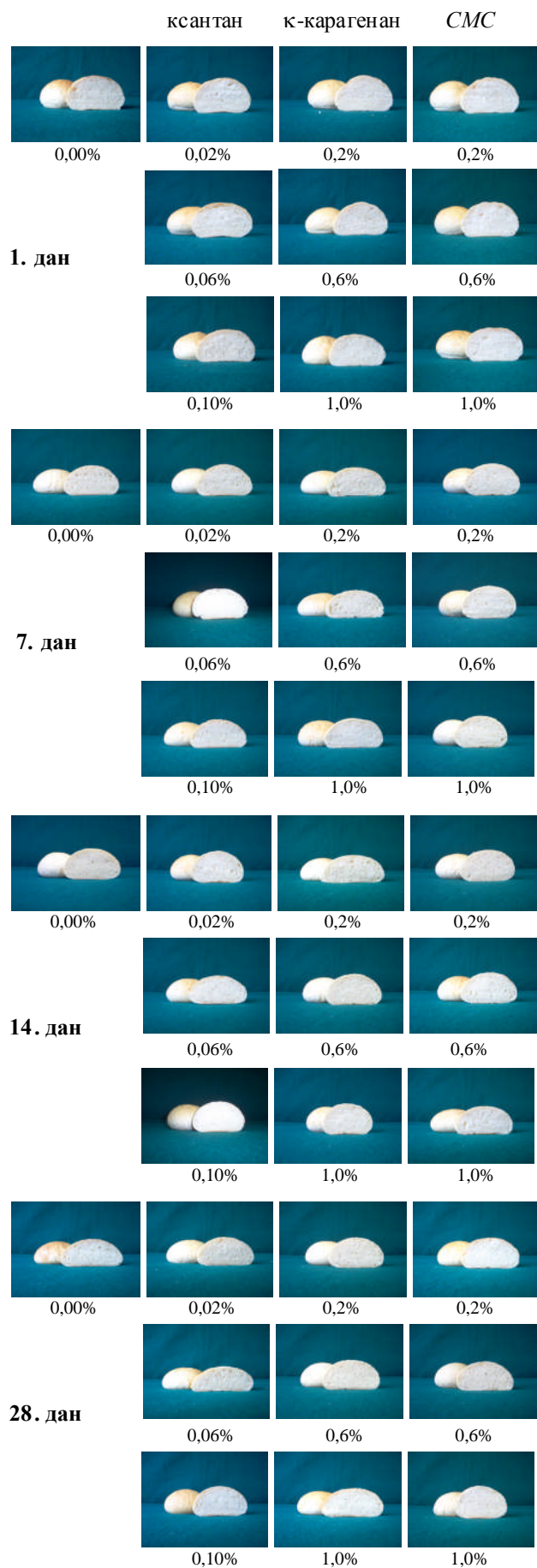
<sup>а</sup> Облик = висина/пречник

<sup>б</sup> Специфична запремина = запремина/маса

<sup>в</sup> Пенетрометарски број

<sup>г</sup> Dallmann-ов број (1=средина са крупним, неуједначеним гасним порама, 8=средина са ситним уједначеним гасним порама)

<sup>д</sup> колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика (p=0,05)



Слика 17: Изглед готових земички добијених од замрзаног теста са хидроколоидима

Изглед готових земички, непосредно пред оцену квалитета, илустрован је Сликаом 17. На слици су јасно уочљиве разлике у запремини и облику готовог пекарског производа које су последица примењених третмана.

Вредности у Табели 18 су просечне вредности испитиваних показатеља за свих десет третмана (тесто без хидроколоида и са различитим садржајем сва три хидроколоида). На основу њих извршена је, статистичком анализом, процена утицаја дужине складиштења замрзнутог теста на квалитет од њега добијеног готовог пекарског производа.

Резултати приказани у Табели 18 показују да се запремина и специфична запремина земички значајно смањују са продужењем времена складиштења замрзнутог теста за све примењене третмане. Специфична запремина зависи од великог броја фактора ако што су количина и квалитет сировина, нарочито брашна, и услова производње. Специфична запремине не сме бити ни превише мала, али ни превише велика јер има директан утицај на структуру средине. Пекарски производи чија је специфична запремина сувише мала имају веома "компактну" и "густу" структуру, док је у супротном структура средине пекарског производа сувише "растресита". Смањење специфичне запремине је уобичајена појава код пекарских производа добијених од замрзаног теста. Berglund i dr. (1991) су публиковали да са продужењем времена складиштења долази до продужења времена ферментације теста, смањења запремине векни и повећања чврстине средине хлеба. Њихова је сугестија да би узрок продужења времена ферменатције теста могле бити ултраструктурне промене скроба и глутена. У току складиштења теста у замрзнутом стању долази до оштећења скроба (Berglund, 1988), што вероватно за последицу има веће задржавање влаге које доводи до повећања масе и смањења запремине

векни. Оштећени скроб у брашну апсорбује већу количину воде, па хлеб добијен од теста које је замешено оваквим брашном има мању запремину векни (Farrand, 1972). Lorenz i Kulр (1995) објавили су резултате који показују да би смањење специфичне запремине векни које је последица складиштења замрзнутог теста могло бити изазвано смањењем вијабилности ћелија квасца, али и оштећења глутена и скроба.

Табела 18: Утицај дужине складиштења замрзнутог теста на квалитет од њега добијеног готовог производа

Време складиштења [дан]	Показатељи квалитета готовог пекарског производа					
	Маса [g]	Запремина [cm <sup>3</sup> ]	Облик <sup>а</sup> [l]	Специфична запремина <sup>б</sup> [cm <sup>3</sup> /g]	ПБ <sup>в</sup> [mm]	ДБ <sup>г</sup>
0	102,2 а <sup>д</sup>	263,00 с	0,52	2,57 с	7,6 с	8 b
7	102,5 а	254,80 bc	0,53 а	2,48 bc	6,5 b	7 а
14	102,3 а	246,90 ab	0,55 а	2,41 b	5,3 b	8 b
30	103,2 а	235,20 а	0,55 а	2,27 а	4,3 а	8 b

Свака вредност у табели је средња вредност за узорак без хидроколоида и девет узорака са хидроколоидима (3 хидроколоида x 3 концентрације).

<sup>а</sup> Облик = висина/пречник

<sup>б</sup> Специфична запремина = запремина/маса

<sup>в</sup> Пенетрометарски број

<sup>г</sup> Dallmann-ов број (1=средина са крупним, неуједначеним гасним порама, 8=средина са ситним уједначеним гасним порама)

<sup>д</sup> колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика (p=0,05)

Просечне вредности испитиваних показатеља за све термине узорковања замрзнутог теста приказане су у Табели 19. Статистичком анализом је извршена процена утицаја додатка хидроколоида у хлебно тесто које ће се замрзавати на основу квалитета од њега добијеног готовог пекарског производа.

Резултати приказани у Табели 19 показују да додаток примењених количина хидроколоида у тесто које ће се замрзавати нема статистички значајан утицај на специфичну запремину од њега добијеног готовог производа, што је у складу са раније публикованим резултатима (Sharadanat i Khan, 2003a). Истарживања ових аутора нису обухватила додаток ксантана у тесто, па је интересантно приметити да са порастом садржаја ксантана у тесту до 0,1%, значајно расте и специфична запремина готовог производа у односу на тесто са 0,02% ксантана (p=0,025). Повећање садржаја к-карагенана и СМС у тесту, од 0,2% до 1%, резултује значајним увећањем специфичне запремине готовог производа (p=0,015, p=0,02, респективно). Земичке које су добијене од теста са 0,1% ксантана имају приближно исту запремину и специфичну запремину као земичке које су добијене од теста са 1% к-карагенана или 1% СМС.

Продужење времена складиштења замрзнутог теста доводи до негативних промена у квалитету средине хлеба (Walt i D'Appolonia, 1984; Berglund i Shelton, 1993; Inoue i Bushuk, 1994) што потврђују резултати приказани у Табели 18 и Табели 19.



Табела 19: Утицај додатка хидроколоида у тесто које ће се замрзавати на квалитет од њега добијеног готовог пекарског производа

Садржај хидроколоида [%]	Показатељи квалитета готовог пекарског производа					
	Маса [g]	Запремина [cm <sup>3</sup> ]	Облик <sup>а</sup> [1]	Специфична запремина <sup>б</sup> [cm <sup>3</sup> /g]	ПБ <sup>в</sup> [mm]	ДБ <sup>г</sup>
0,00	102,2 а <sup>д</sup>	247,75 bc	0,53 b	2,42 bc	5,4 ab	8 b
<b>ксантан</b>						
0,02	102,2 a	247,25 bc	0,53 b	2,42 bc	6,7 d	8 b
0,06	102,7 a	257,00 c	0,48 a	2,50 cd	5,7 b	8 b
0,1	102,3 a	259,75 c	0,53 b	2,54 d	5,4 ab	8 b
<b>к-карагенан</b>						
0,2	103,9 a	229,75 a	0,55 bc	2,21 a	6,4 cd	8 b
0,6	102,9 a	253,50 bc	0,51 ab	2,46 cd	5,8 bc	8 b
1,0	103,4 a	259,50 c	0,59 c	2,51 cd	4,9 a	8 b
<b>карбоксиметилцелулоза</b>						
0,2	102,2 a	241,25 ab	0,53 b	2,36 b	5,7 b	7 a
0,6	101,9 a	248,50 bc	0,52 ab	2,44 bc	5,3 ab	8 b
1,0	101,7 a	255,50 c	0,51 ab	2,51 cd	4,9 a	8 b

Свака вредност у табели је средња вредност за четири времена складиштења замрзнутог теста.

<sup>а</sup> Облик = висина/пречник

<sup>б</sup> Специфична запремина = запремина/маса

<sup>в</sup> Пенетрометарски број

<sup>г</sup> Dallmann-ов број (1=средина са крупним, неуједначеним гасним порима, 8=средина са ситним уједначеним гасним порима)

<sup>д</sup> колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика (p=0,05)

Резултати приказани у Табели 18 показују да је повећање чврстине средине хлеба последица продужења времена складиштења замрзнутог теста што је у сагласности са резултатима које је публикувао Berglund (1988). Резултати које је објавио овај аутор веома су, апсолутно посматрано, слични резултатима ових истраживања.

На основу резултата приказаних у Табели 19, средина земички које су добијене од замрзаваног теста са максималним примењеним садржајем к-карагенана и карбоксиметилцелулозе, има најбољи квалитет. Додатак ксантана у тесто ојачава средину готовог производа, па она има већу чврстину у поређењу са узорком без хидроколоида. Исти трендови се уочавају за све примењене садржаје сва три хидроколоида што се добро слаже са раније публикованим резултатима (Sharadanant i Khan, 2003b).

Вредности Dallmann-овог броја, приказане у Табели 18 и Табели 19, показују да структура и дебљина зидова гасних пора средине земички не зависи у значајној мери од дужине складиштења замрзнутог теста као ни од додатка хидроколоида у тесто у примењеним концентрацијама.

#### 5.4. ИСПИТИВАЊЕ КВАЛИТЕТА ЗАМРЗАВАНОГ ТЕСТА СА ДОДАТКОМ ХИДРОКОЛОИДА И ОД ЊЕГА ДОБИЈЕНОГ ГОТОВОГ ПРОИЗВОДА - ЗАМЕС СА КОНСТАНТНОМ КОНЗИСТЕНЦИЈОМ ТЕСТА -

Погоршање квалитета готовог производа добијеног од замрзаног теста манифестује се првенствено смањењем његове специфичне запремине у односу на специфичну запремину традиционално припремљених производа, али и погоршањем карактеристика средине свежих производа, као и оних који су краткорочно складиштени. Ова појава последица је читавог низа физичких, хемијских и биохемијских промена које се дешавају у току замрзавања теста, његовог складиштења у замрзнутом стању и одмрзавања.

Два су разлога услед којих долази до смањења специфичне запремине готовог пекарског производа. Први је, свакако, *смањење јачине глутенске мреже*, до кога долази због механичког оштећења тродимензионалне структуре глутена (Varriano-Marston i dr., 1980) крупним кристалима леда. Кристали леда настају кристализацијом током замрзавања, а током складиштења теста у замрзнутом стању и поновљених циклуса замрзавања/одмрзавања, услед редистрибуције воде, повећавају своју масу и запремину. Иста појава је у основи смањења броја хидрофобних и водоничних веза које стабилизују мрежу глутена, што за последицу такође има њено слабљење (Räsänen i dr., 1998). Смањење јачине глутена доводи до смањења његове способности да задржава CO<sub>2</sub> настао ферментативном активношћу квасца, а то у крајњој инстанци даје производе мање специфичне запремине. Раст кристала леда изазива и механичко оштећење ћелијских мембрана услед чега долази до *смањења броја вијабилних ћелија квасца* у замрзаном тесту у односу на незамрзавано (Varriano-Marston i dr., 1980; Berglund i dr., 1991, Takano i dr., 2002a), што је други значајан фактор због кога долази до смањења специфичне запремине од њега добијеног готовог пекарског производа. Поред тога, промене концентрације раствора, које настају као последица редистрибуције воде, доводе до аутолизе ћелија квасца (Kamel i Stauffer, 1993). Редукујуће компоненте из лизираних ћелија квасца, као што је глутатион, доприносе смањењу јачине глутена услед раскидања међумолекулских цистеинских мостова који га стабилизују (Kline i Sugihara, 1968.; Hsu i dr., 1979), али интензитет њиховог утицаја, као и механизам деловања још увек нису разјашњени (Kulp i dr., 1995).

Деградација квалитета готовог пекарског производа добијеног од замрзаног теста огледа се и у погоршању структуре и чврстине његове средине које су последица *промена на скробу*. Операција замрзавања нема велики утицај на скроб, али се током складиштења замрзнутог теста и поновљених циклуса замрзавања/одмрзавања догађају иреверзибилне промене на скробу услед редистрибуције воде. Оне за последицу имају велики губитак воде током печења теста, што као крајњи резултат даје сувише брзу ретроградацију амилопектина током складиштења готовог производа. Малобројна су истраживања која се односе на утицај замрзавања и складиштења замрзнутог теста на ретроградацију скроба у тесту. Kulp i dr. (1995) сугерише да је утицај скроба на квалитет замрзнутог теста миноран, али указује да је кретање воде између компоненти теста од великог значаја.

Минимизација наведених негативних утицаја на квалитет замрзаног теста и од њега добијеног готовог производа могућа је избором одговарајућих сировина, оптимизацијом састава теста и услова производње. Мале количине хидроколоида (мање од 1% рачунато на брашно) додају се у тесто са циљем да повећају ретенцију воде и запремину готовог производа, као и да умање ретроградацију скроба и очвршћавање средине хлеба. Додатком хидроколоида у замрзане производе базирание на скробној сировини

побољшава се њихова стабилност током циклуса замрзавање/одмрзавање и минимизују се негативни ефекти замрзавања и складиштења теста у замрзнутом стању (Ferrero i dr., 1993; Liehr i Kulicke, 1996). Смањење активности воде у оваквим производима догађа се услед конкуренције у погледу везивања слободне воде између додатих хидроколоида и полимера хлеба као што су глутен и скроб (Schiraldi i dr., 1996).

У том смислу, циљ ове фазе истраживања био је да се испита утицај додатка хидроколоида у тесто које ће се замрзавати, првенствено на његове особине, а евентуално и на понашање осталих састојака током производње замрзаног теста. Експерименти ове фазе истраживања изведени су у складу са планом који је шематски приказан на Слици 8.

### 5.4.1. АНАЛИЗА КВАЛИТЕТА СИРОВИНА

Резултати анализе брашна, која је извршена непосредно пре замеса, приказани су у Табели 20.

Вредности показатеља квалитета указују да је брашно у тој жетвеној сезони имало висок садржај протеина и релативно висок садржај влажног глутена у односу на просечан узорак брашна на нашем поднебљу. Велика енергија теста указује на глутен доброг квалитета, а однос отпора растезању и растегљивости теста велики је за производњу хлебног теста, али одговара препорученом односу за производњу замрзаног теста. Вредности показатеља квалитета овог узорка брашна који се односе на глутен мање су од препоручених (Ab El-Nady i dr.,1996; Abd El-Nady i dr., 1999; Lu i Grant, 1999; Rouillie i dr., 2000; Barcenas, 2003).

Табела 20: Показатељи квалитета брашна 05

показатељ квалитета	вредност	јединица мере
садржај воде	12,70	%
садржај пепела	0,49	% /s.m.*
садржај протеина	11,60	% /s.m.*
киселински степен	1,70	-
садржај влажног глутена	26,00	%
<i>фаринограм</i>		
моћ упијања воде	55,80	%
развој теста	1,50	min
стабилност	1,00	min
степен омекшања	50,00	FJ**
квалитетни број	60,60	-
квалитетна група	Б-1	-
<i>екстензограм</i>		
енергија	97	cm <sup>2</sup>
отпор теста (O)	450	EJ***
растегљивост (R)	128	mm
однос O/R	3,51	-
<i>амилограм</i>		
максимални вискозитет	370	AJ****

\* сува материја

\*\* Фаринографске јединице

\*\*\* Екстензографске јединице

\*\*\*\* Амилографске јединице

Вредност максималног вискозитета указује на велику амилолитичку активност ензима брашна, па се може очекивати да ће количина шећера настала хидролизом скроба бити довољна да исхрани ћелије квасца током ферментације. Иако велика, измерена вредност максималног вискозитета не указује да је дошло до деградације квалитета зрна пшенице од кога је ово брашно добијено.

Измерена вредност степена омекшања је уобичајена до нешто нижа у односу на брашна са нашег тржишта и указује на мало оштећење скроба у току млевења.

За замес је употребљен комерцијални формовани пекарски квасац који је у лабораторији, у коју је достављен директно из фабрике, складиштен на  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  до 7 дана. За замес теста без додатка хидроколоида и за замес теста са карбоксиметилцелулозом, односно к-карагенаном употребљен је квасац чија је сува материја 31,26%. Тесто са ксантаном замешено је са квасцем суве материје 32,77%.

#### 5.4.2. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА АКТИВНОСТИ ПЕКАРСКОГ КВАСЦА

У Табели 21, као и на Слици 18, Слици 19 и Слици 20, приказани су резултати испитивања активности квасца у свежем и замрзаваном тесту, без и са додатком хидроколоида. Време потребно да се из комада теста масе 445g издвоји 1000 ml CO<sub>2</sub>, приказано је у табели као средња вредност из три мерења. Специфична ферментативна активност квасца израчуната је из мерених вредности за ферментативну активност на суву материју квасца, а средња вредност за три понављања одговара висини стубића у графицима на Слици 18, Слици 19 и Слици 20.

Табела 21: Утицај додатка хидроколоида и дужине складиштења теста које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  на време потребно да се из комада теста масе 445g издвоји 1000 ml CO<sub>2</sub>

<b>Време потребно да се из комада теста масе 445 g издвоји 1000 ml CO<sub>2</sub></b>					
<b>[min]</b>					
<b>Садржај хидроколоида [%]</b>	<b>Време складиштења [dan]</b>				
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
0,00	70±2,10	97±3,00	141±2,90	130±2,10	146±2,00
<b>ксантан</b>					
0,1	79±3,10	95±3,50	110±2,90	121±2,00	129±1,90
0,3	79±3,20	91±3,00	104±2,50	116±2,10	116±2,20
0,5	76±3,00	95±2,90	111±2,10	120±1,80	119±2,30
<b>к-карагенан</b>					
0,1	73±1,90	96±2,70	125±2,80	124±2,40	143±1,40
0,3	74±1,80	84±2,40	116±3,10	121±2,10	140±1,70
0,5	74±2,40	91±3,00	139±3,30	125±1,90	150±2,80
<b>карбоксиметилцелулоза</b>					
0,1	76±2,50	90±2,70	112±2,40	124±2,40	117±2,40
0,3	72±2,90	95±2,40	124±2,10	134±2,30	138±2,10
0,5	74±2,50	97±3,10	125±2,50	126±2,10	120±2,00

Време потребно да се из комада незамрзаног теста масе 445 g издвоји 1000 ml CO<sub>2</sub> (Табела 21) најкраће је код узорка без хидроколоида. Додатком хидроколоида у тесто повећава се вредност испитиваног показатеља (ксантан 8,57÷12,86%; к-карагенан 4,28÷5,71%; карбоксиметилцелулоза 2,86÷8,57%) при чему је неповољно повећање најмање изражено у узорку са 0,3% СМС, а највише у узорку са 0,1% односно 0,3% ксантана.

Циклус замрзавање/одмрзавање изазива продужење времена потребног да се из комада замрзаног теста масе 445 g издвоји 1000 ml CO<sub>2</sub> (Табела 21), при чему је уочена промена више изражена код узорка теста без хидроколоида (38,57%), у односу на узорак са хидроколлоидима (ксантан 15,18÷25,00%; к-карагенан 13,51÷31,51%; карбоксиметилцелулоза 18,42÷31,94%). Интересантно је да је повећање вредности испитиваног показатеља најмање изражено у узорку са 0,3% к-карагенана, а највише у узорку теста које није третирано хидроколлоидима.

Резултати приказани у Табели 21 показују да се са продужењем времена складиштења замрзнутог теста до 28 дана повећава вредност испитиваног показатеља. Уочено повећање највеће је код узорка теста без додатка хидроколоида и износи 108,57% у односу на незамрзавани узорак, односно 50,57% у односу на узорак теста који је одмрзнут непосредно по замрзавању. Код узорка теста која су третирана ксантаном уочена повећања износе 46,83÷63,29% у односу на незамрзавани узорак, односно 25,26÷35,79% у односу на узорак који је одмрзнут непосредно по замрзавању и најмања су код теста са 0,5% ксантана. Повећање вредности испитиваног показатеља, код узорка теста које садржи к-карагенан износи 89,19÷102,70% у односу на незамрзавани узорак, односно 48,96÷66,67% у односу на узорак који је одмрзнут непосредно по замрзавању, а најмање је код узорка са 0,3% овог хидроколоида. Додатак СМС-а у хлебно тесто које ће се замрзавати повећава вредност испитиваног показатеља за 53,95÷91,96% у односу на незамрзавани узорак, односно 23,71÷45,26% у односу на зорак одмрзнут непосредно по замрзавању, а најмање је у тесту које садржи 0,5% карбоксиметилцелулозе.

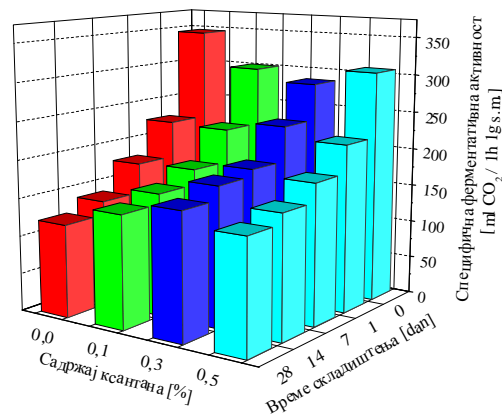
Специфична ферментативна активност квасца у незамрзаном тесту највећа је у узорку без додатка хидроколоида и смањује се са додатком хидрофилних гума у тесто које ће се замрзавати (ксантан 11,30÷17,61%; к-карагенан 12,17÷20,78%; СМС 4,64÷10,72%). Уочено смањење најмање је изражено у узорку са 0,5% СМС-а, а највише у узорку са 0,3% ксантана.

Циклус замрзавање/одмрзавање смањује специфичну ферментативну активност квасца у свим узорцима замрзаног теста у односу на незамрзавано (без хидроколоида 34,49%; ксантан 16,90÷27,78%; к-карагенан 9,26÷29,39%; СМС 23,38÷38,60%). Од примењених хидроколоида ксантан у највећој мери минимизује негативне ефекте циклуса замрзавање/одмрзавање на специфичну ферментативну активност квасца.

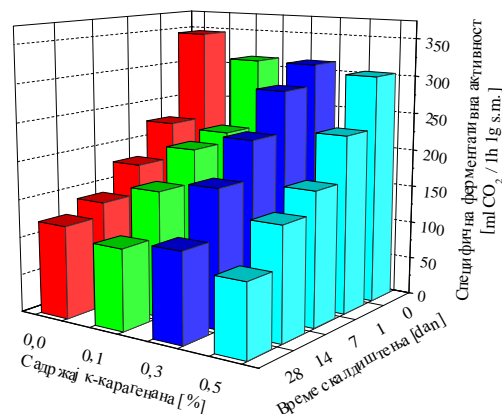
Складиштење теста у замрзнутом стању до 28 дана доводи до даљег смањења вредности специфичне ферментативне активности у свим узорцима теста. Код теста без хидроколоида ово смањење износи 64,93%, односно 46,46% у односу на незамрзавани узорак и узорак који је одмрзнут непосредно по замрзавању, респективно. Додатком ксантана у тесто које ће се замрзавати постиже се умереније смањење вредности испитиваног показатеља које 41,90÷51,96% у односу на незамрзавано тесто, односно 30,09÷34,44% у односу на тесто које је одмрзнуто непосредно по замрзавању. Уколико се у тесто дода к-карагенан, одговарајућа смањења су 66,13÷68,65%, односно 52,04÷59,40%.

Додатаком СМС-а у тесто које ће се замрзавати постиже се за учено смањење специфичне ферментативне активности квасца у тесту које је замрзнуто скалдиштено износи 52,59÷67,18% у односу на незамрзавано тесто, односно 22,77÷47,52% у односу на тесто које је одмрзнуто непосредно по замрзавању.

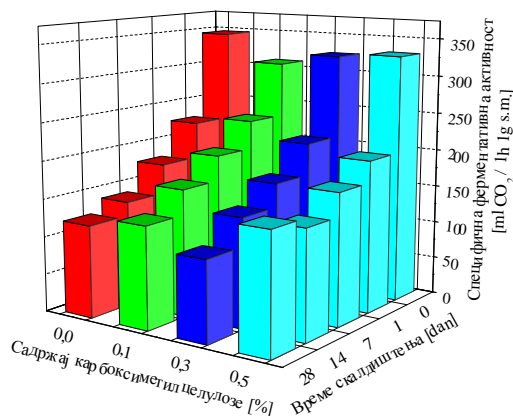
Ферментативна активност ћелија квасца зависи од соја, броја вијабилних ћелија, активности ћелија и садржаја ферментабилних шећера у тесту (Ribotta i dr., 2003a). Обзиром на поставку огледа, евидентно смањење ферментативне активности квасца (смањење вредности оба параметра којима су идентификоване промене активности квасца тесту) у незамрзаном тесту са хидроколоидима у односу на тесто без њих, вероватно је последица мање количине расположивих ферментабилних шећера у тесту са хидроколоидима. Хидроколоиди, у тесту које ће се замрзавати, у извесној мери везују воду додату у замес већ у фази припреме теста. Мања количина слободне воде у тесту условљава смањење активности амилолитичког ензимског комплекса брашна, што за последицу има мању количину ферментабилних шећера који су на располагању ћелијама квасца. Услед недостатка хране, квасци су у незамрзаном тесту које садржи хидроколоиде мање активни него у тесту без хидроколоида. Мања ферментативна активност квасца у тесту које још није замрзнуто, а садржи хидроколоиде, омогућава да се ћелије у моменту замрзавања налазе у погодном физиолошком стању у којем су мање осетљиве на замрзавање. У прилог оваквом разматрању иду раније публиковани резултати који показују да се осетљивост према замрзавању квасца у тесту додатно повећава услед неповољних осмотских услова и уколико су ћелијске мембране истањене услед интензивне ферментативне активности (Kulp i dr., 1995).



Слика 18: Зависност специфичне ферментативне активности квасца од садржаја ксантана и времена складиштења теста замрзнутог на -35±1°C



Слика 19: Зависност специфичне ферментативне активности квасца од садржаја κ-карагенана и времена складиштења теста замрзнутог на -35±1°C



Слика 20: Зависност специфичне ферментативне активности квасца од садржаја карбоксиметилцелулозе и времена складиштења теста замрзнутог на -35±1°C

Замрзавањем у ригорозним условима, који су предвиђени планом овог експеримента, смањује се ферментативна активност квасца у замрзаном тесту у односу на незамрзавано. Ове разлике вероватно су последица великих брзина замрзавања теста које су примењене у оквиру ових експеримената, а оваква констатација подржана је публикованим резултатима који наводе да велике брзине замрзавања негативно утичу на ферментативну активност квасца у замрзаном тесту (Autio i Sinda, 1992; El-Hady i dr., 1996), као и на вијабилност ћелија квасца (Lorenz, 1974).

Складиштење замрзнутог теста до 28 дана доводи до даљег смањења ферментативне активности квасца у тесту без и са хидроколоидима. Ова смањења мања су него смањења вредности испитиваних показатеља која су последица деловања циклуса замрзавање/одмрзавање, што није је у складу са литературним наводима који показују да је летални утицај раста кристала леда услед рекристализације током скалдиштења замрзнутог теста, више изражен од утицаја иницијалног формирања кристала леда током замрзавања (Varriano-Marston i dr., 1980; Berglund i dr., 1991; Takano i dr., 2002a). Чињеница да присуство ксантана и карбоксиметилцелулозе, у примењеним концентарцијама, у замрзаном тесту умањују поцент смањења ферментативне активности квасца током складиштења замрзнутог теста до 28 дана, вероватно указује да ови хидроколоиди утичу на миграцију воде у замрзнутом тесту која доводи до раста кристала леда. Уочена смањења вредности испитиваног показатеља, у узорцима замрзаног теста са различитим хидроколоидима, током њиховог скалдиштења значајно су већа од оних које су публиковали Dodić i dr. (2007). Ова констатација се може објаснити разликом у квалитету сировина, количини хидроколоида у тесту, као и различитим условима замрзавања и одмрзавања, односно различитом почетном температуром теста. Раније публикована истраживања ове групе аутора описала су ферментативну активност квасца у тесту са хидроколоидима које је замрзнуто на  $-20\pm 1^\circ\text{C}$ , док је температура замрзавања примењена у овим огледима износила  $-35\pm 1^\circ\text{C}$ . Уколико се изузме утицај осталих експерименталних услова, овакви резултати потврђују да примена великих брзина замрзавања повећава осетљивост ћелија на негативан утицај дужине складиштења (Le Bail i dr., 1996).

Табела 22: Утицај дужине складиштења на специфичну ферментативну активност квасца у тесту које је замрзнуто на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$

Време складиштења [dan]	Специфична ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> / g s.m. za 1h]
0	312,82±16,95 <b>a</b>
1	230,43±21,86 <b>b</b>
7	189,78±18,42 <b>c</b>
14	159,13±15,39 <b>d</b>
28	130,00±23,83 <b>e</b>

Свака вредност у табели је средња вредност за узорак без хидроколоида и девет узорака са хидроколоидима (3 хидроколоида x 3 концентрације).

Колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика ( $p=0,05$ ).

Статистичка анализа утицаја дужине скалдиштења на специфичну ферментативну активност квасца у тесту које је замрзнуто на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$  приказана је у Табели 22.

Резултати приказани у Табели 22 показују да време складиштења статистички значајно утиче на активност квасца у замрзаном тесту. Разлика између средњих вредности испитиваног показатеља узорака незамрзаног теста и оног које је одмрзнуто непосредно по замрзавању, слична је одговарајућој разлици између замрзаног теста које је одмрзнуто непосредно по замрзавању и оног које је складиштено до 28 дана. Обзиром да ферментативна активност квасца зависи од броја вијабилних ћелија, али и од њихове активности, и ако су тачни закључци (Varriano-Marston i dr.,

1980; Berglund i dr., 1991; Takano i dr., 2002a) који указују да је леталан утицај крупних кристала леда који настају рекристализацијом током складиштења замрзнутог теста више изражен од леталног утицаја ситних кристала леда иницијално формираних током замрзавања, вероватно је да вијабилне ћелије квасца поседују очувану способност за продукцију CO<sub>2</sub> и/или су хидроколоиди у тесту, контролом миграције воде, умањили раст кристала леда током складиштења замрзнутог теста до 28 дана, па самим тим и њихов летални утицај на ћелије квасца.

У Табели 23 приказани су резултати статистичке анализе утицаја третмана хидроколоидима на специфичну ферментативну активност квасца у тесту које је замрзнуто на -35±1°C.

Резултати показују да између средњих вредности специфичне ферментативне активности квасца у узорцима теста са различитим хидроколоидима, које је складиштено у замрзнутом стању 28 дана, не постоји статистички значајна разлика.

#### 5.4.2.1. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА КВАЛИТЕТА ТЕСТА

У оквиру ове фазе истраживања квалитет незамрзаваног и замрзаваног теста које је складиштено до 28 дана испитиван је на основу матурограмских и екстензограмских показатеља, као и на основу снимака SEM-ом (скенирајући електронски микроскоп).

Резултати анализе теста без хидроколоида и теста третираних ксантаном, к-карагенаном и карбоксиметилцелулозом, модификованим матурографским методом приказани су на Слици 21, Слици 22 и Слици 23, респективно. Висина стубића на графику одговара средњој вредности за два мерења. Од свих показатеља квалитета теста које нуди матурограм за потребе ових истраживања издвојено је време ферментације.

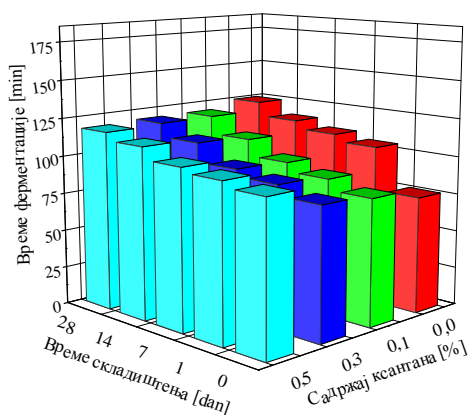
Најкраће време ферментације, апсолутно посматрано, забележено је за незамрзавано тесто без додатка хидроколоида. Додатком хидроколоида продужава се време ферментације незамрзаваног теста, при чему је уочено готово незнатно повећање вредности испитиваног показатеља код теста са к-карагенаном (минимално повећање код 0,1% к-карагенана), а повећање у значајној мери код теста са ксантаном (максимално повећање код 0,5% ксантана тесту) и карбоксиметилцелулозом. Овакви резултати вероватно указују да ксантан и карбоксиметилцелулоза, већ у току мешања теста, везују за себе одређену количину воде додате у замес, а да је активност к-карагенана у том погледу далеко мање изражена.

Табела 23: Утицај третмана хидроколоидима на специфичну ферментативну активност квасца у тесту које је замрзнуто на -35±1°C

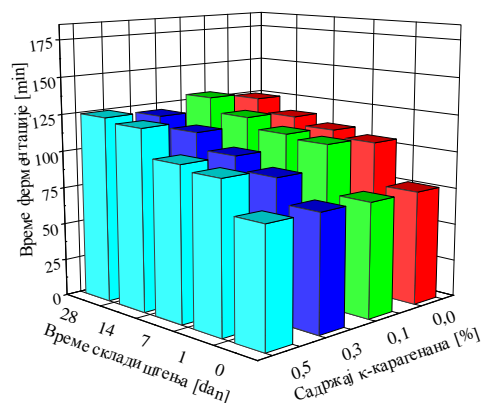
Садржај хидроколоида [%]	Специфична ферментативна активност квасца [ml CO <sub>2</sub> /g s.m. za 1h]
0,0	202,17±89,69 a
<b>ксантан</b>	
0,1	202,61±61,59 a
0,3	212,17±48,48 a
0,5	204,35±63,66 a
<b>к-карагенан</b>	
0,1	203,04±76,20 a
0,3	225,21±78,93 a
0,5	191,48±80,07 a
<b>карбоксиметилцелулоза</b>	
0,1	209,57±67,16 a
0,3	192,61±83,55 a
0,5	201,13±75,09 a

Свака вредност у табели је средња вредност за пет времена складиштења замрзнутог теста.  
 Колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика (p=0,05)

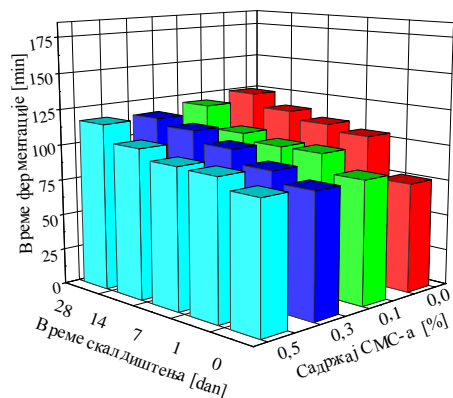




Слика 21: Зависност времена ферментације од садржаја ксантана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$



Слика 22: Зависност времена ферментације од садржаја к-карагенана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$



Слика 23: Зависност времена ферментације од садржаја карбоксиметилцелулозе (СМС) и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$

Циклус замрзавање/одмрзавање доводи до продужења времена ферментације теста. Уочено продужење изражено је код теста без додатка хидроколоида и код теста са к-карагенаном, док додаток ксантана и карбоксиметилцелулозе у тесто минимизују овај негативни ефекат.

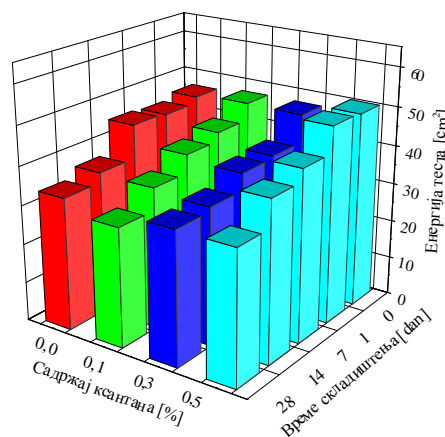
Са продужењем времена складиштења замрзнутог теста до 28 дана долази до даљег продужења времена ферментације. По истеку 28 дана измерене вредности су уједначене за тесто без хидроколоида и тесто са к-карагенаном, док тесто са ксантаном и карбоксиметилцелулозом одликује нешто краће време ферментације у односу на предходно поменуте узорке. Интересантно је приметити да повећање садржаја ксантана у тесту доводи до повећања вредности испитиваног показатеља у свим терминима узорковања ( највеће вредности показује тесто са 0,1% ксантана), док је са карбоксиметилцелулозом то није случај (највеће вредности показује тесто са 0,5% карбоксиметилцелулозе). Додатак 0,3% к-карагенана у тесто у извесној мери скраћује време ферментације. Овај ефекат долази до изражаја током складиштења теста у замрзнутом стању.

Обзиром да је за оптималан развој теста потребно да активност квасца и квалитет глутена буду задовољавајући и обзиром да је смањење активности квасца у истим узорцима драстичније, може се предпоставити да додаток хидроколоида у тесто, контролом миграције воде током његовог складиштења, у извесној мери штити глутенску мрежу од механичког оштећења великим кристалима леда и/или од оштећења на молекуларном нивоу које је последица његове дехидратације.

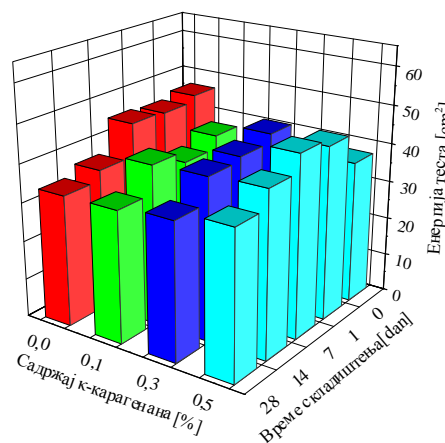
Резултати екстензиограмске анализе дају информације о вискоеластичном понашању теста (Walker i Hazelton, 1996). Екстензиограмски показатељи квалитета незамрзаног и замрзаног теста, без и са хидроколоидима, требало би да помогну разјашњење узрока и механизма слабења глутенске структуре током складиштења замрзнутог теста до 28 дана. Растегљивост теста указује на способност теста да се растеже током ферментације. Веома велика растегљивост индикатор је слабог и лабавог теста које колабира током ферментације или током печења. Отпор растегљивости мера је способности теста да задржи CO<sub>2</sub> настао метаболичком активношћу квасца. Мала вредност овог показатеља квалитета указује на веома лошу способност теста да задржи CO<sub>2</sub> што као крајњи резултат даје готове производе мале специфичне запремине. Уколико тесто карактерише веома велики отпор растегљивости, од њега добијене векне хлеба су мале специфичне запремине, јер такво тесто пружа сувише велики отпор током нарастања у фази ферментације, па не долази до оптималног развоја теста. Енергија теста је показатељ који се не може тумачити без увида у вредности отпора растезању и растегљивости теста, јер површина испод екстензографске криве може бити слична, а да је облик криве значајно различит.

Енергија теста у функцији дужине складиштења замрзнутог теста и садржаја ксантана, к-карагенана и карбоксиметилцелулозе у њему, приказан је на Слици 24, Слици 25 и Слици 26, респективно. Висина стубића одговара средњој вредности из три мерења.

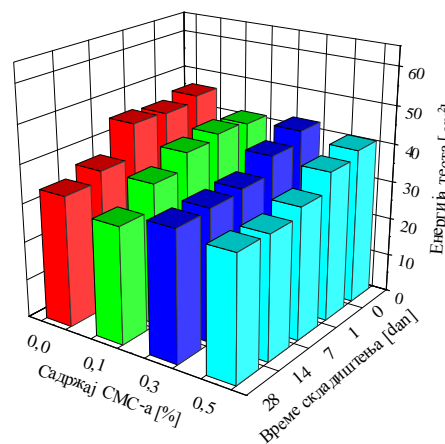
Додатком ксантана незнатно се повећава енергија незамрзаног теста. Додатак к-карагенана смањује енергију теста које није замрзавано, док додаток карбоксиметилцелулозе не утиче на овај показатељ квалитета теста. Учени утицај ксантана и к-карагенана у тесту на



Слика 24: Зависност енергије теста од садржаја ксантана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$



Слика 25: Зависност енергије теста од садржаја к-карагенана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$



Слика 26: Зависност времена ферментације од садржаја карбоксиметилцелулозе (СМС) и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$

енергију теста у складу је са резултатима истраживања Ribotta-e i dr. (2005) и Rosella i dr. (2001) који су сличне трендове запазили код теста готово идентичног састава које је добијено од сировина сличног квалитета (садржај протеина у брашну је у оба случаја око 12,5%). Апсолутно посматрано, измерене вредности се значајно разликују, што је очекивано обзиром на модификацију уобичајене екстензограмске методе која је примењена у овом раду (испитивани су узорци квасног теста). У оквиру анализе брашна које је као сировина коришћено за ове огледе исказана је енергија безквасног теста измерена екстензорамском методом која износи  $97 \text{ cm}^2$ . Ова вредност је више него двоструко већа у односу на енергију незамрзаваног квасног теста добијеног од истих сировина под истим условима, која је приказана на Слици 24, Слици 25 и Слици 26 и износи  $46,1 \text{ cm}^2$ .

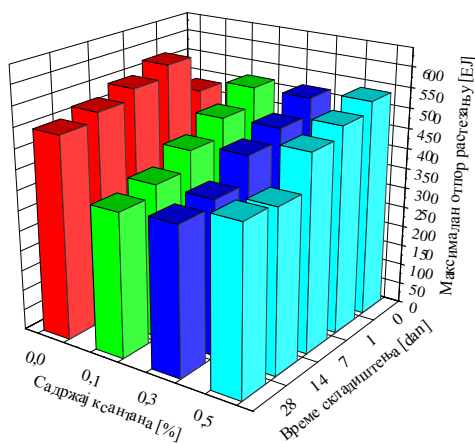
Циклус замрзавање/одмрзавање нема јасно изражен утицај на енергију теста, а дужина складиштења замрзнутог теста доводи до континуираног, али не значајног смањења вредности овог показатеља. Садржај ксантана и к-карагенана од 0,5% у тесту, као и садржај карбоксиметилцелулозе од 0,3%, могао би се, уз извесне резерве, издвојити као оптималан за примену у оваквим условима са циљем да повећа енергију теста.

Утицај дужине складиштења замрзнутог теста и садржаја ксантана, к-карагенана и карбоксиметилцелулозе у њему, на максималан отпор растезању приказан је на Слици 27, Слици 28 и Слици 29, респективно. Максималан отпор растезању мерен је у складу са методом, након 45 минута, 90 минута и 135 минута одлежавања теста, али су за потребе ових истраживања приказане само измерене вредности након 135 минута. Висина стубића одговара средњој вредности из три мерења.

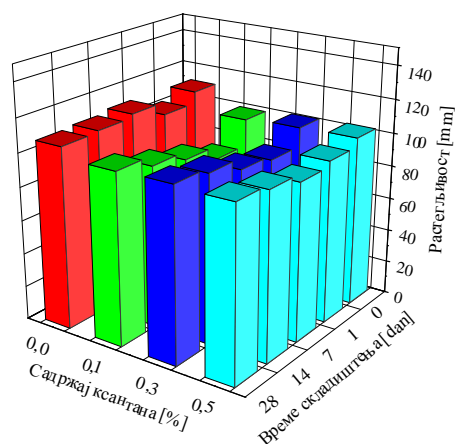
Максималан отпор растезању незамрзаваног теста без хидроколоида је 480 ЕЈ. Вредност овог показатеља повећава се са додатком ксантана у тесто ( $515 \div 535$  ЕЈ). Додатак карбоксиметилцелулозе незнатно повећава вредност ( $470 \div 495$ ), а додатак к-карагенана смањује вредност максималног отпора растегљивости незамрзаваног теста ( $385 \div 450$  ЕЈ). Овакви резултати у складу су са запажањима Rosell-a i dr. (2001) који указују да додатак ксантана повећава отпор растезању незамрзаваног теста мерен након 135 минута, док је са к-карагенаном обрнут случај. Њихови закључци потенцирају да додатак хидроколоида у тесто незначајно смањује иницијални отпор растезању (мерен након 45 минута), али да оваква теста показују велику стабилност отпора растезању током одлежавања до 135 минута (мерења на сваких 45 минута). Овакви закључци иду у прилог тези да је код теста са хидроколоридима, услед конкуренције додатих хидрофилних гума и полимера теста у погледу везивања воде, потребно дуже време да дође до оптималог развоја мреже глутена.

Код узорка теста без хидроколоида (за 19,79%), као и код теста са к-карагенаном циклус замрзавање/одмрзавање значајно повећава отпор растезању ( $8,89 \div 19,48\%$ ), при чему је оно највише изражено код теста са 0,1% к-карагенана. Код теста са ксантаном и карбоксиметилцелулозом измерене вредности овог показатеља квалитета у тесту које је одмрзнуто непосредно по замрзавању су мање у односу на незамрзавано тесто за  $4,67 \div 8,73\%$ , односно  $3,03 \div 10,02\%$ , респективно. Код узорка теста са ксантаном највеће смањење је уочено за најмањи примењени садржај ксантана, док је код карбоксиметилцелулозе обрнут случај.

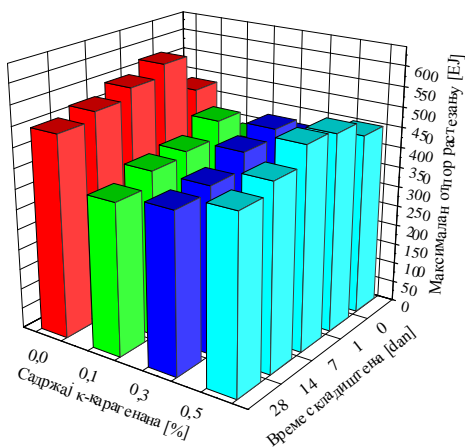
Продужење времена складиштења замрзнутог теста, код свих узорка, доводи до даљег смањења вредности отпора растезању. Овакав тренд у складу је са резултатима које су објавили Sharadanant i Khan (2003a),



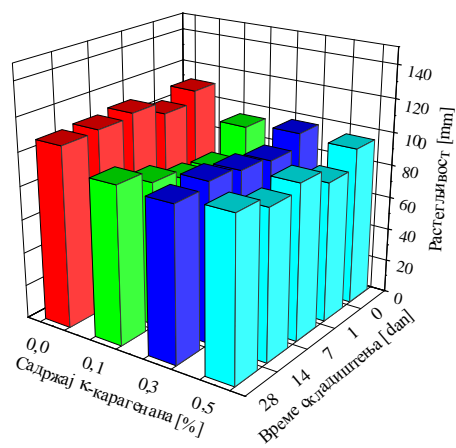
Слика 27: Зависност максималног отпора растегању (135 min) од садржаја ксантана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$



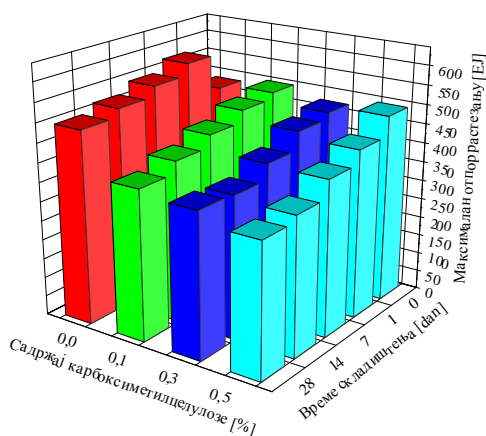
Слика 30: Зависност растегаљивости од садржаја ксантана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$



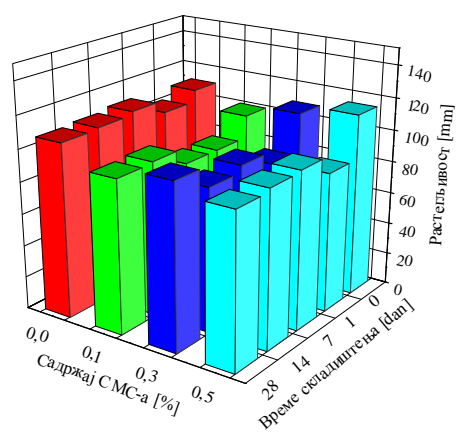
Слика 28: Зависност максималног отпора растегању (135 min) од садржаја к-карагенана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$



Слика 31: Зависност растегаљивости од садржаја к-карагенана и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$



Слика 29: Зависност максималног отпора растегању (135 min) од садржаја карбоксиметилцелулозе и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$



Слика 32: Зависност растегаљивости од садржаја карбоксиметилцелулозе и времена складиштења теста замрзнутог на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$

Зависност растежљивости од дужине складиштења замрзнутог теста и садржаја ксантана, к-карагенана и карбоксиметилцелулозе у њему приказана је на Слици 27, Слици 28 и Слици 29, респективно. Растежљивост је, у складу са методом, мерена након 45 минута, 90 минута и 135 минута одлежавања теста, али су за потребе ових истраживања приказане само измерене вредности након 135 минута. Висина стубића одговара средњој вредности из три мерења.

Додатком хидрофилних гума долази до промена у растежљивости теста. Растежљивост незаамрзаног теста без хидроколоида је 110 mm. Додатком к-карагенана растежљивост незаамрзаног теста се значајно смањује ( $94 \div 97,5$  mm), што није у складу са наводима Rosell-a i dr. (2001) и најмања је код теста са 0,1% к-карагенана. Додатком ксантана растежљивост незаамрзаног теста се незначајно смањује ( $101 \div 102$  mm) што одговара наводима Rosell-a i dr. (2001) и Ribotta-e i dr. (2005), а утицај количине ксантана на вредност мереног показатеља није јасно изражен. Повећање садржаја карбоксиметилцелулозе у тесту повећава његову растежљивост ( $100 \div 114$  mm), а највећа вредност забележена је за узорак са 0,5% СМС-а. Апсолутно посматрано, вредности растежљивости замрзаног теста приказане на Слици 30 и Слици 31 двоструко су мање у односу на вредности које су публиковали Rosell-a i dr. (2001). Обзиром на готово идентичан квалитет сировина и састав теста (изузев садржаја квасца), као и начин његове припреме, очигледно је да присуство квасца у тесту, односно његова ферментативна активност током методом предвиђеног одлежавања, за последицу има овако значајно смањење вредности овог показатеља.

Циклус замрзавање/одмрзавање доводи до смањења растежљивости теста, при чему је смањење најмање изражено код теста без хидроколоида (6,36%). Уочено смањење, код теста са ксантаном, к-карагенаном и карбоксиметилцелулозом износи  $4,90 \div 17,02\%$ ,  $8,25 \div 18,05\%$  и  $0,00 \div 23,68\%$  респективно.

Са продужењем складиштења повећава се растежљивост замрзаног теста у односу на узорак који је одмрзнут непосредно по замрзавању. Измерене вредности овог показатеља након 28 дана складиштења код свих узорака теста са хидроколоидима су мање у односу на узорак замрзаног, али и незаамрзаног теста без хидроколоида. Замрзавана теста са к-карагенаном имају најмању растежљивост, следе теста са ксантаном, док карбоксиметилцелулоза у тесту у најмањој мери мења растежљивост у односу на тесто без додатка хидроколоида.

Статистички обрађени резултати модификоване матурограмске и екстензограмске анализе приказани су у Табели 24 и Табели 25.

Време ферментације се продужава са продужењем складиштења теста у замрзнутом стању од 83,65 минута за незаамрзано тесто до 120,88 минута за тесто које је складиштено у замрзнутом стању 28 дана (Табела 24). Измерене вредности су, апсолутно посматрано, неупоредиве са публикованим резултатима других истарживача због различитог квалитета сировина, састава теста, али и различите методике мерења. Резултати овог истраживања показују да постоје статистички значајне разлике између средњих вредности времена ферментације у појединим, али не свим, терминима узорковања.

Табела 24: Утицај дужине складиштења на показатеље квалитета теста које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$

Показатељ квалитета теста	Време складиштења [dan]				
	0	1	7	14	28
време ферментације [min]	83,65±6,37 <b>a</b>	98,30±5,97 <b>b</b>	103,20±5,75 <b>b</b>	113,55±6,14 <b>c</b>	120,88±4,30 <b>c</b>
максималан отпор [EJ*]	475,00±46,90 <b>bc</b>	482,50±37,73 <b>c</b>	453,50±44,47 <b>bc</b>	410,50±47,40 <b>ab</b>	388,50±48,82 <b>a</b>
растегљивост [mm]	101,85±9,15 <b>b</b>	88,25±7,45 <b>a</b>	94,05±8,68 <b>ab</b>	95,10±6,79 <b>ab</b>	99,15±5,43 <b>ab</b>
енергија теста [cm <sup>2</sup> ]	41,820±6,08 <b>ab</b>	43,02±3,05 <b>b</b>	40,73±4,13 <b>ab</b>	40,80±11,28 <b>ab</b>	33,70±2,24 <b>a</b>

\* екстензографска јединица

Свака вредност у табели је средња вредност за узорак без хидроколоида и девет узорака са хидроколоидима (3 хидроколоида x 3 концентрације).

Ред: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика ( $p=0,05$ ).

Овакво запажање није у колизији са закључцима ранијих истраживача који су публиковали да дужина складиштења замрзнутог теста до 16 седмица утиче на вредност овог показатеља квалитета теста (Berglund, 1988; Sharadanant i Khan, 2003a), нити са закључцима Brackelsberga (1996) који тврди супротно.

Максималан отпор растезању значајно смањује се са продужењем времена складиштења замрзнутог теста до 28 дана са 475 EJ колико износи непосредно по замесу и 482 EJ колико износи за тесто које је одмрзнуто непосредно по замрзавању, на 288 EJ колико је измерено за тесто на истеку предвиђеног периода складиштења. Не постији јасно уочљив тренд по коме се максималан отпор растезању мења са продужењем времена складиштења теста у замрзнутом стању. Овакво запажање у складу је са раније публикованим резултатима (McCleary-Bayley, 1992), али је у колизији са резултатима истраживања Sharadanant-a i Khan-a (2003a).

Растегљивост теста не мења се значајно током складиштења замрзнутог теста до 28 дана, нити се за евидентне незначајне промене може уочити јасно изражен тред. Овакви резултати у складу су са раније публикованим истраживањима (Inoue i Bushuk, 1991; McCleary-Bayley, 1992; Sharadanant i Khan, 2003a).

Енергија теста се смањује са продужењем складиштења замрзнутог теста до 28 дана слично запажањима Sharadanant-a i Khan-a (2003a).

Извесна неслагања између резултата овог истраживања и истраживања других аутора треба разматрати са резервом обзиром на различиту поставку огледа у погледу дужине складиштења замрзнутог теста. Наиме, резултати ових истраживања упоређени су са експлицитно израженим подацима публикованих истраживања за исти период складиштења за који литература нуди мали број података.

Смањење максималног отпора растезању и енергије замрзаваног теста, као и промене његове растегљивости сигуран су знак да до разарања глутенске структуре, односно деградације квалитета глутена, долази током складиштења теста у замрзнутом стању до 28 дана, што иде у прилог тумачењима Inoue i Bushuk (1992). Доказане промене квалитета глутена у извесној мери могу да објасне уочено продужење времена ферментације, али се при тумачењу ових резултата не смају изоставити подаци о промени ферментативне активности квасца у истим узорцима теста.

Табела 25: Утицај третмана хидроколоидима на показатеље квалитета теста које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$

Садржај хидроколоида [%]	Показатељ квалитета теста			
	време ферментације [min]	растегљивост [mm]	максималан отпор [EJ*]	енергија теста [cm <sup>2</sup> ]
0,0	106,10±18,08 <b>а</b>	108,40±2,90 <b>а</b>	524,00±37,32 <b>а</b>	41,25±5,57 <b>а</b>
<b>ксантан</b>				
0,1	109,10±8,26 <b>а</b>	100,70±7,50 <b>а</b>	429,00±65,13 <b>а</b>	39,49±6,36 <b>а</b>
0,3	100,00±14,97 <b>а</b>	94,20±9,14 <b>а</b>	436,00±63,28 <b>а</b>	39,07±5,10 <b>а</b>
0,5	102,50±15,66 <b>а</b>	98,90±3,54 <b>а</b>	468,00±60,27 <b>а</b>	43,95±6,915 <b>а</b>
<b>к-карагенан</b>				
0,1	109,50±19,76 <b>а</b>	88,00±8,03 <b>а</b>	410,00±33,35 <b>а</b>	43,36±16,10 <b>а</b>
0,3	102,00±16,93 <b>а</b>	93,40±3,01 <b>а</b>	428,00±30,94 <b>а</b>	40,05±4,69 <b>а</b>
0,5	105,80±18,81 <b>а</b>	91,60±4,79 <b>а</b>	465,00±29,15 <b>а</b>	42,03±4,37 <b>а</b>
<b>карбоксимети.целулоза</b>				
0,1	101,60±12,26 <b>а</b>	89,70±5,56 <b>а</b>	436,00±63,38 <b>а</b>	38,27±4,90 <b>а</b>
0,3	101,76±12,11 <b>а</b>	95,70±9,62 <b>а</b>	416,00±45,47 <b>а</b>	37,05±3,76 <b>а</b>
0,5	100,80±10,35 <b>а</b>	98,20±9,83 <b>а</b>	408,00±59,22 <b>а</b>	35,60±3,91 <b>а</b>

\* екстензограмска јединица

Свака вредност у табели је средња вредност за пет времена складиштења замрзнутог теста.

Колона: између вредности које су означене истим словом не постоји статистички значајна разлика (p=0,05)

Резултати приказани у Табели 25 показују да примењени садржај хидроколоида, посматрано независно од времена складиштења, нема статистички значајан утицај на показатеље квалитета теста.

Апсолутно посматрано раније публиковане вредности веће су од оних које су добијене у овом раду што је несумњиво последица употребе брашна различитог квалитета. Садржај протеина у умерно јаком брашну које је употребљено за ове експерименте је 12,60%, док су истраживачи, чији су резултати коришћени у оквиру ове дискусије, користили веома јако брашно са  $14,1\div 16,84\%$  протеина. И састав теста, у погледу садржаја ферментабилних шећера и квасца који су додати у замес, значајно се разликује. Количина квасца коју су употребили поменути аутори (5%) је двостуко већа у односу на количину примењену у овим огледима (2,5%). Хлебно тесто истарживача са америчког континента садржи 2,5% ферментабилних шећера додатих у замес, што на нашем поднебљу није пракса.

У овој фази истраживања снимљена је скенирајућим електронским микроскопом (*SEM-om*) микроструктура незамрзаваног и замрзавног квасног теста, без и са додатком хидроколоида. Обзиром да литература препоручује минимизацију активности квасца током производње замрзнутог теста, приликом припреме узорака за *SEM* максимално је скраћен процес одмрзавања. Готово замрзнути комади, издвојени сечењем из центра већег комада, подвргнути су припреми у складу са методиком коју су применили Ribotta i dr. (2004). Провера успешности поступка извршена је прегледом више "видних поља" при малим увећањима (100÷300x) приликом микроскопирања. Одсуство овалних шупљина које настају накупљањем CO<sub>2</sub> потврда је правилне припреме узорака у смислу минимизације ферментативне активности квасца. Снимци добијени овом приликом нису приказани у оквиру ове дисертације. Исти узорци теста, при већим увећањима (1500, 3000 и 10000x), приказани су на Слици 33, Слици 34, Слици 35 и Слици 36.

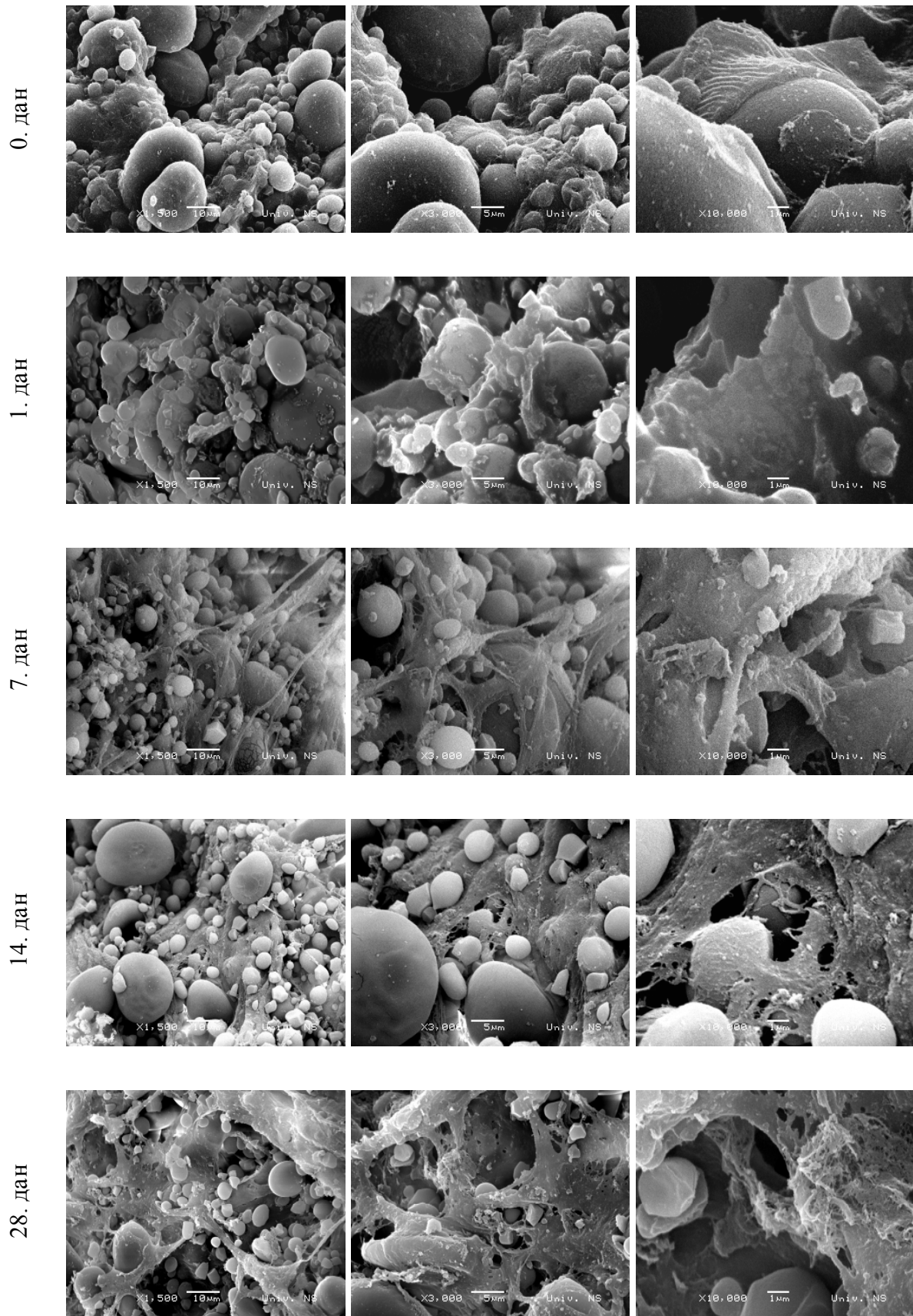
Тесто је, на основу резултата ранијих истраживања његове ултраструктуре, описано као семихомоген систем који чини континуални глутенски матрикс у коме су расејане грануле скроба (Roјas i dr., 2000). При великим увећањима уочено је постојање дисконтинуитета растреситог матрикса који окружује скробне грануле.

На Слици 33 приказана је микроструктура теста без хидроколоида које је складиштено у замрзнутом стању до 28 дана. Изглед незамрзаваног теста (0 дан) подржава раније публиковани опис (Roјas i dr., 2000). Боље препокривање гранула скроба глутеном које се лако уочава на снимцима публикованим од стране Sharadanat-a i Khan-a (2006) свакако су последица примене веома јаког брашна (садржај протеина је 14,6%). Нешто слабије брашно (садржај протеина је 13,2%) користили су Ribotta i dr. (2004) што се сасвим јасно види на њиховим снимцима, не само на основу количине глутена већ и на основу растојања између скробних гранула и матрикса.

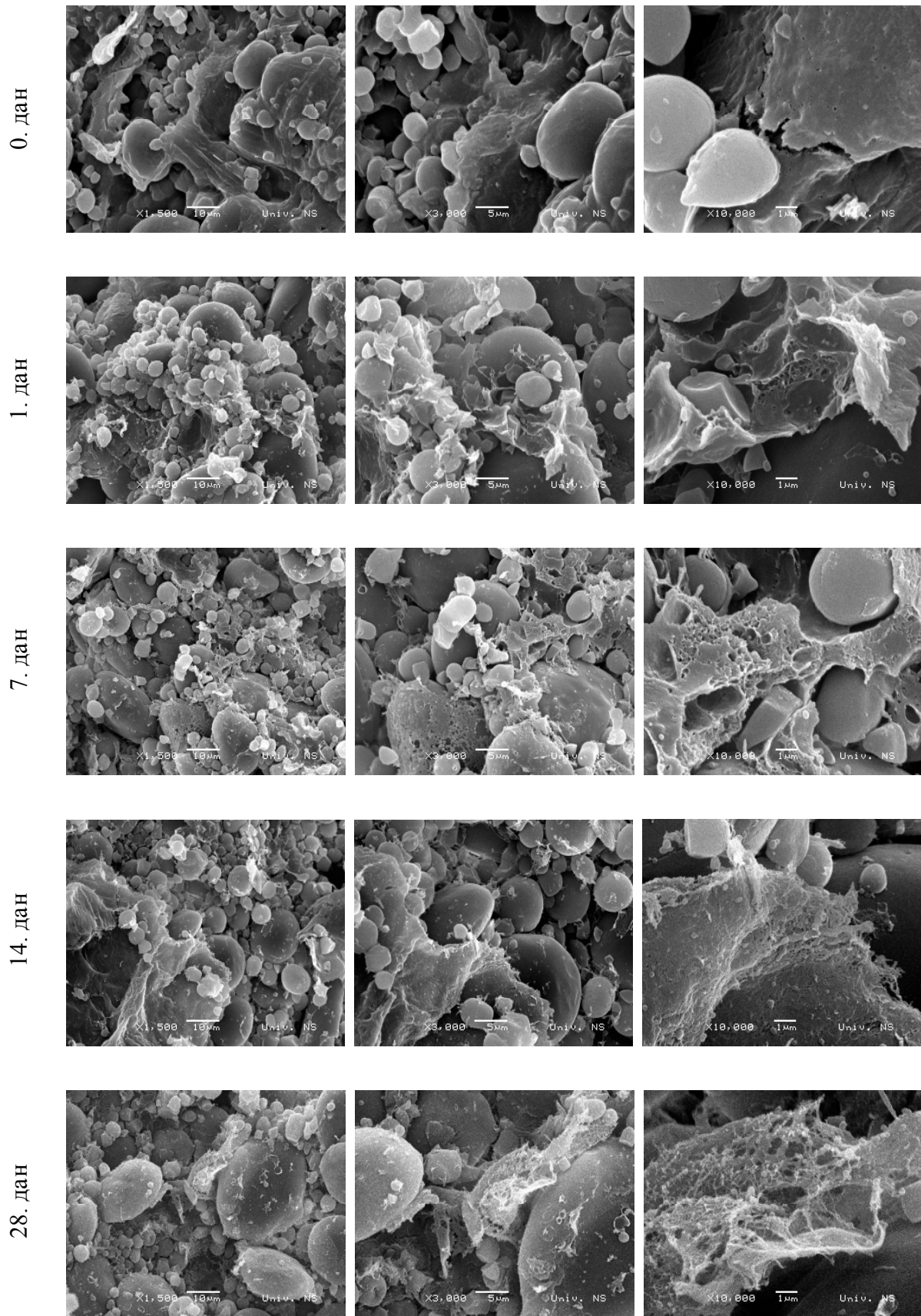
На снимку теста без хидроколоида које је одмрзнуто непосредно по замрзавању лако се уочава да у извесној мери долази до сегрегације скробних гранула из глутенског матрикса који је још увек прилично хомоген. Ово је делимично у складу са раније публикованим запажањима која указују да већ након 24 сата складиштења замрзнутог теста долази до оштећења континуитета глутенске мреже, односно, истањују се слојеви глутена и појављује се значајан број великих и малих руптура у матриксу, а долази и до издвајања гранула скроба из семихомогеног система (Berglund i dr., 1991). При великим увећањима уочава се мали број неправилних сферних формација (значајно мањих од 1µm) које би могле да укажу да долази до нарушавања тродимензионалне структуре добро развијеног глутена, односно "гужвања" издвојених ланаца овог полимера који су захваљујући међумолекулским везама заузимали опружену форму. Оваква појава последица је разарања међумолекулских веза услед дехидратације глутена и/или услед деловања редукујућих супстанци из лизираних ћелија квасца. Јасно је да још није дошло до раста кристала леда који би механички, у значајној мери, оштетили мрежу глутена, што је у складу са запажањима Esselink i dr. (2003).

Продужењем складиштења замрзнутог теста интензивира се издвајање гранула скроба из глутенског матрикса чији су слојеви све тањи и све више руптурирани. Код теста које је замрзнуто складиштено 7 дана још увек је глутенски матрикс релативно хомоген, али је евидентно његово истањивање и појава већег броја "гужвастих" фрагмената. Након 14 и 28 дана складиштења структура замрзнутог теста је значајно измењена. Глутен је у великој мери истањен и механички оштећен, па изгледа као да је велики број рупа међусобно повезан крхким нитима. Јасно се уочава да су грануле скроба издвојене из система, односно минимална је њихова препокривеност глутеном, а значајно је повећан и број фрагмената глутена.

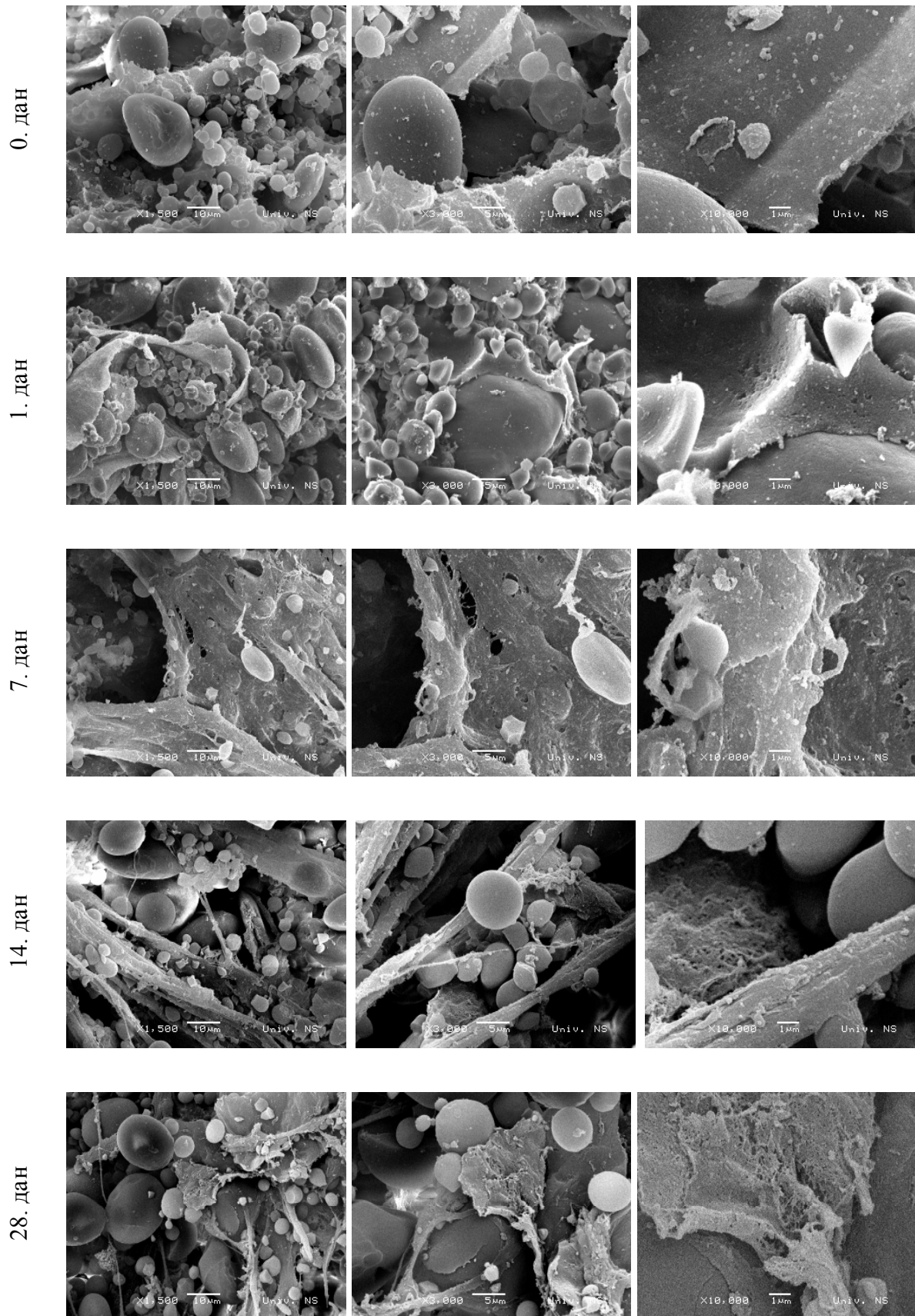




Слика 33: Снимак микроструктуре незамрзаваног и замрзаваног теста без хидроколоида које је замрзнуто на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$  и складиштено 28 дана на  $-20\pm 1^\circ\text{C}$

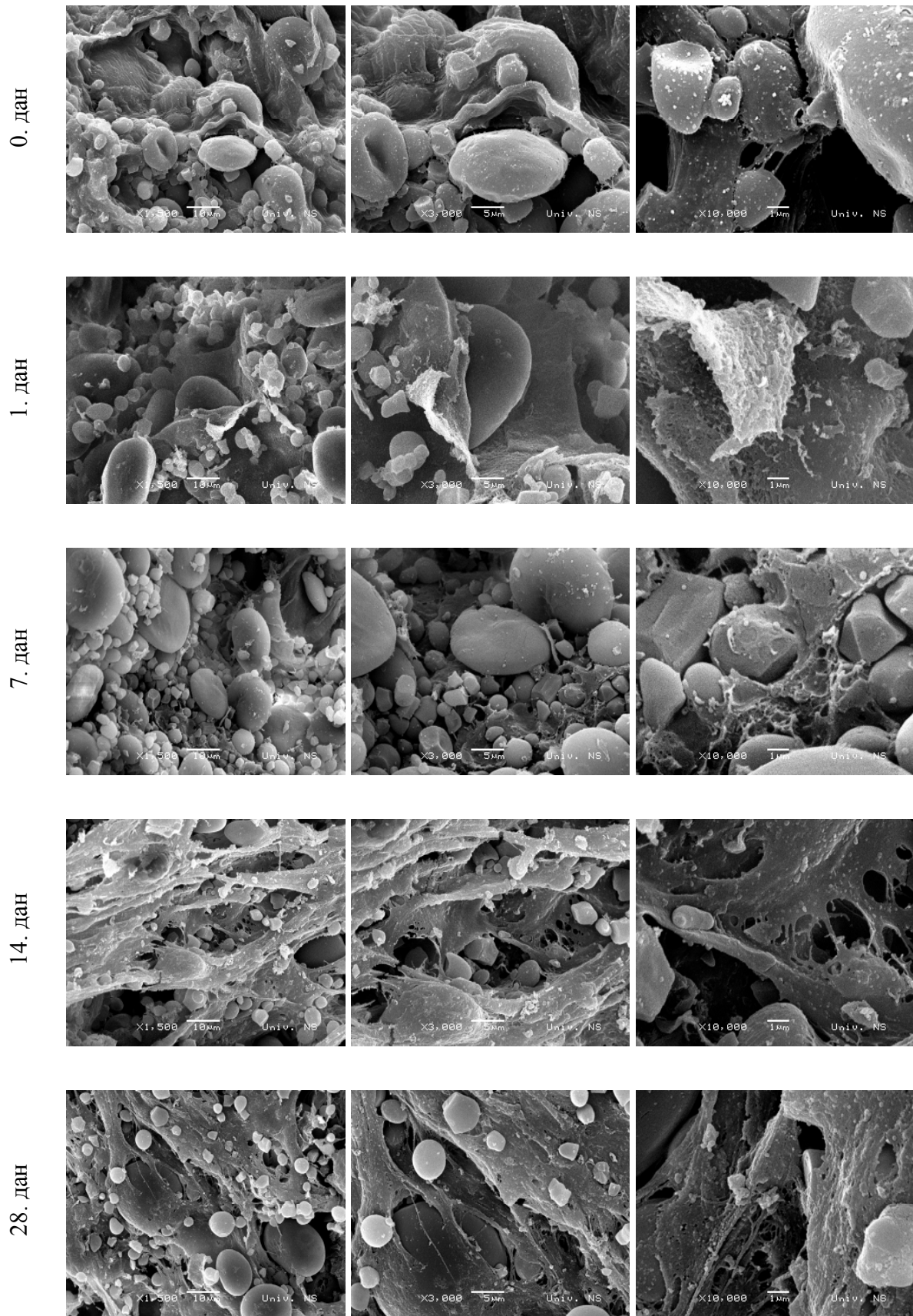


Слика 34: Снимак микроструктуре незамрзаваног и замрзаваног теста са 0,5% ксантана које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  и складиштено 28 дана на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$



Слика 35: Снимак микроструктуре незамрзаваног и замрзаваног теста са 0,5% κ-карагенана које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  и складиштено 28 дана на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$





Слика 36: Снимак микроструктуре незамрзаваног и замрзаваног теста са 0,5% карбоксиметилцелулозе које је замрзнуто на  $-35\pm 1^{\circ}\text{C}$  и складиштено 28 дана на  $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$

На Слици 34, Слици 35 и Слици 36 илустрована је микроструктура незамрзаног и замрзаног теста са 0,5% ксантана, 0,5% к-карагенана и 0,5% карбоксиметилцелулозе, респективно.

Микроструктура незамрзаног теста са хидроколоидима веома је слична микроструктури незамрзаног теста без хидроколоида. Глутенски матрикс је хомоген, без видљивих знакова оштећења и руптура. Растојања између гранула скроба и слојева глутена у којем су инкорпориране су минимална.

Структура теста са хидроколоидима које је одмрзнуто непосредно по замрзавању показује да услед замрзавања и одмрзавања долази до минорног нарушавања глутенског матрикса. Без обзира који је хидроколоид садржан у тесту, глутенски матрикс добро попуњава простор између гранула скроба повезујући их. Руптуре које нарушавају континуитет глутена су изузетно ситне. Тродимензионална структура протеина је компактна, односно минимално фрагментисана, о чему сведоче малобројни "гужвасти" фрагменти.

Са продужењем скалдиштења замрзнутог теста до 7 дана долази до значајнијих промена у његовој микроструктури. Поред утицаја дужине складиштења сада су јасно уочљиве разлике у структури теста са различитим хидроколоидима. Глутенски матрикс је, у свим испитиваним узорцима замрзаног теста, знатно више руптуриран у односу на незамрзано тесто. Оштећења која су јасно уочљива вероватно су у највећој мери последица рекристализације леда, односно раста кристала леда у гасним шупљинама. У ове шупљине, током складиштења замрзнутог теста, миграцијом доспева вода која се замрзава увећавајући мале кристале леда који су на површини шупљина примарно формирано током замрзавања. У тесту са ксантаном "маса" протеинског матрикса испуњава простор између скробних гранула, али су јасно уочљива његова механичка оштећења. Замрзано тесто са карбоксиметилцелулозом мање је хомогено у односу на тесто са ксантаном, уочљиви су слојеви глутена који су руптурирани и умерено је изражена сеграгација гранула скроба. Поред тога, уочљива је и фрагментација глутена која указује на смањење броја међумолекулских веза у његовим молекулима, односно на слабење тродимензионалне структуре. Код теста са к-карагенаном нарушавање квалитета матрикса је још више изражено. На снимцима се виде тањи слојеви глутена који су механички оштећени и нису блиско везани са гранулама скроба. Присуство великог броја ситних фрагмената сведочи о оштећењу глутена на молекуларном нивоу које је још више изражено него код теста са карбоксиметилцелулозом. Ипак, уз све уочене промене замрзано тесто са хидроколоидима још увек изгледа компактније него тесто без њих. Током даљег складиштења настављају се процеси деградације квалитета глутена. Механичка оштећења су све присутнија у свим узорцима теста, као и раслојавање глутена, које је највише изражено код теста са к-карагенаном, а затим код теста са карбоксиметилцелулозом. У тесту са ксантаном, чак и оном које је складиштено 28 дана, глутен није значајно раслојен, приљубљен је уз грануле скроба, али је значајно механички оштећен.

На основу свега приказаног може се закључити да хидроколоиди, везујући за себе воду у фази припреме теста, контролишу њену миграцију током скалдиштења замрзнутог теста што је у складу са наводима Sharadanant-a i Khan-a (2006). Присуство знатног броја руптура глутенског матрикса, у свим узорцима теста, које су последица механичког оштећења указује да примењена количина и/или тип хидроколоида нису у довољној мери умањили миграцију воде. Са друге стране, постојање "тесне" везе између гранула скроба и глутенског матрикса сведочи да је дехидратација глутена, која за последицу има раскидање ових веза мања него у тесту без хидроколоида.

### 5.4.2.2. ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ГОТОВОГ ПЕКАРСКОГ ПРОИЗВОДА

У циљу објективне процене утицаја додатка хидроколоида у хлебно тесто, поред квалитета замрзаваног теста, оцењен је и квалитет од њега добијеног готовог пекарског производа. Оцена квалитета готовог производа обухватила је мерење његове масе и запремине (резултати мерења нису приказани у оквиру ове дисертације). Вредности специфичне запремине које су приказане у Табели 26 израчунате су на основу средњих вредности масе и запремине из три мерења. Анализа квалитета средине хлеба обухватила је испитивање њене чврстине и боје, док је за кору готовог производа анализирана само промена боје.

Табела 26: Специфична запремина хлеба добијеног од незамрзаваног и замрзаваног теста са различитим садржајем хидроколоида, 24h након печења

Специфична запремина готовог пекарског производа [cm <sup>3</sup> /g]					
Садржај хидроколоида [%]	Време складиштења [dan]				
	0	1	7	14	28
0,00	4,13	4,07	3,64	3,46	3,23
<b>ксантан</b>					
0,1	3,95	3,82	3,31	3,05	2,78
0,3	3,75	3,72	3,31	3,11	2,96
0,5	4,03	3,79	3,18	3,12	3,02
<b>к-карагенан</b>					
0,1	4,20	3,96	3,86	3,40	3,32
0,3	4,29	4,04	3,79	3,47	3,11
0,5	4,16	3,68	3,40	3,14	3,09
<b>карбоксиметилцелулоза</b>					
0,1	4,28	3,82	3,44	3,12	3,32
0,3	4,70	3,91	3,37	3,14	3,10
0,5	4,36	3,92	3,47	3,11	3,13

Резултати у Табели 26 доказују утицај хидроколоида на специфичну запремину хлебног незамрзаваног теста, при чему вредност испитиваног показатеља зависи и од типа и од количине примењеног хидроколоида. Специфична запремина готовог производа добијеног од незамрзаваног теста смањује се услед додатка ксантана за 2,42÷9,20, а повећава услед додатка к-карагенана за 0,72÷3,73% и карбоксиметилцелулозе за 3,50÷12,13%. Повећање вредности испитиваног показатеља највише је изражено код хлеба добијеног од незамрзаваног теста са 0,5% карбоксиметилцелулозе. Овакви резултати у складу су са наводима Ribotta-e i dr. (2005). Поменути аутори су 0,5% хидроколоида додавали у хлебно тесто које је по квалитету сировина и свом саставу веома слично тесту које је употребљено у овим истраживањима и показали да додаток к-карагенана повећава, а додаток ксантана смањује специфичну запремину готовог производа. Смањење специфичне запремине готовог производа које је последица додатка ксантана (>0,16%) у тесто уочио је и Mandala (2005). Bell (1990) је доказао да различити деривати целулозе побољшавају квалитет хлеба добијеног од незамрзаваног теста, при чему је испитивана његова специфична запремина као и структура и чврстина средине. Повећање специфичне запремине хлеба добијеног од незамрзаваног теста са карбоксиметилцелулозом (1÷3%) уочили су и Asghar i dr. (2005).

Циклус замрзавање/одмрзавање смањује специфичну запремину хлеба код свих узорака. Уочено смањење код хлеба добијеног од замрзаног теста без хидроколоида износи 1,45% у односу на хлеб добијен од незамрзаног теста истог састава. Одговарајуће поређење код узорака са ксантаном, к-карагенаном и карбоксиметилцелулозом показује смањење за  $0,80 \div 5,95\%$ ,  $5,71 \div 11,54\%$  и  $10,09 \div 16,81\%$ , респективно. Најмање смањење вредности испитиваног показатеља показује узорак са 0,3% ксантана.

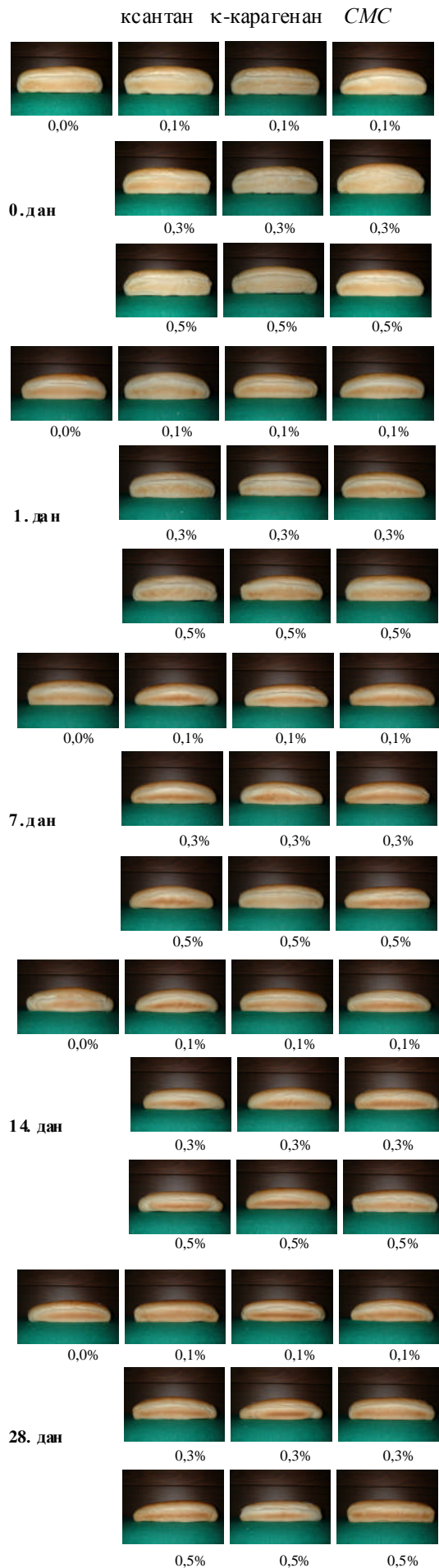
Складиштењем замрзнутог теста до 28 дана смањује се специфична запремина готовог производа добијеног од замрзаног теста без обзира на тип и количину додатог хидроколоида. Смањење је код хлеба добијеног од теста без хидроколоида 21,79% у односу на узорак од незамрзаног теста истог састава, односно 20,63% у односу на узорак од теста које је одмрзнуто непосредно по замрзавању. Одговарајућа поређења за узорке добијене од теста са хидроколоидима износе  $21,07 \div 29,62\%$ , односно  $20,32 \div 27,22\%$  за ксантан;  $20,95 \div 27,50\%$ , односно  $16,03 \div 23,02\%$  за к-карагенан и  $24,20 \div 34,04\%$ , односно  $13,10 \div 28,21\%$  за карбоксиметилцелулозу.

Резултати приказани у Табели 26 показују да се специфична запремина готовог пекарског производа добијеног од теста са различитим садржајем хидроколоида смањује током његовог складиштења у замрзнутом стању до 28 дана што је у складу са раније публикованим резултатима (Sharadanant i Khan, 2003b, Mandala, 2005). Може се констатовати да циклус замрзавање/одмрзавање теста смањује специфичну запремину од њега добијеног хлеба приближно колико и даље складиштење замрзнутог теста од 1 до 28 дана. Најзначајније смањење специфичне запремине хлеба добијеног од теста које је складиштено током 28 дана уочава се након 7 дана складиштења. Ово смањење последица је значајне деградације квалитета глутена које је идентификовано електронском микроскопијом (Слике 33÷36), али и смањења активности квасца које се јасно уочава на графичком приказу специфичне ферментативне активности квасца (Слика 18÷20).

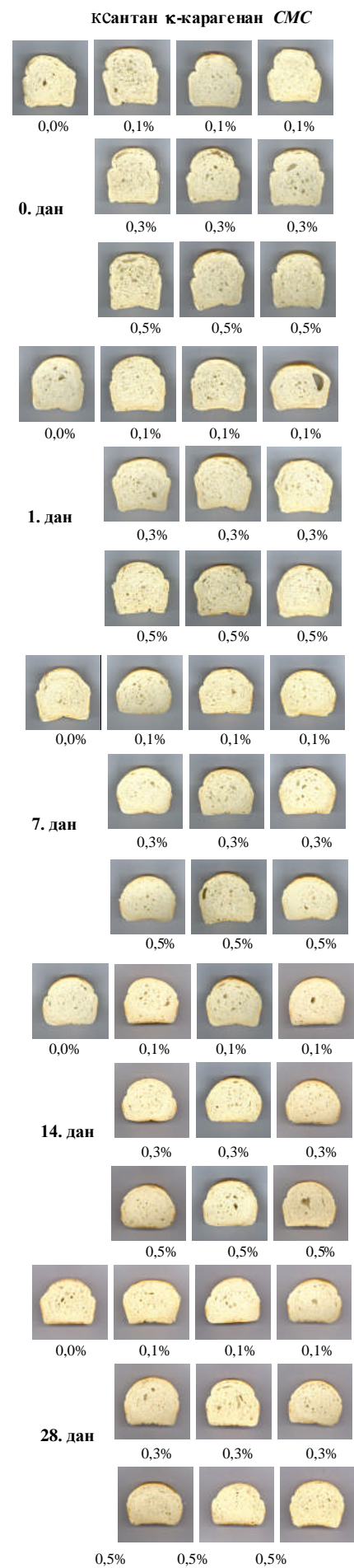
Спољашњи изглед и изглед средине готових пекарских производа добијених од замрзаног теста са хидроколоидима, 24 сата након печења, приказан је на Слици 37 и Слици 38 респективно.

На Слици 37 јасно се види да се запремина хлеба добијеног од замрзаног теста смањује са продужењем складиштења теста у замрзнутом стању до 28 дана и то код свих узорака. Закључак о промени запремине који се може извести на основу изгледа готових производа не сме се поистоветити са променом њихове специфичне запремине. Иако незначајно, повећање масе готовог производа дешава се са продужењем времена складиштења замрзнутог теста (измерене вредности нису приказане у оквиру ове дисертације), па се ова чињеница не сме занемарити приликом анализе квалитета готовог пекарског производа.

Изглед средине хлеба (Слика 38) потврђује да је незамрзавано тесто без и са хидроколоидима потпуно развијено. Средина хлеба састоји се од издужених гасних шупљина танких зидова које су униформно рапорјеђење по читавој површини попречног пресека. Циклус замрзавање/одмрзавање деградира квалитет хлеба што се огледа и у изгледу средине хлеба. Гасне шупљине су ситније, дебелих зидова, а расподела њихових величина по попречном пресеку је неуниформна, односно велики број ситних шупљина збијен је уз доњу кору хлеба чинећи структуру средине збијеном, док се у централном и/или горњем делу комада хлеба појављују сувише велике шупљине које су настале спајањем више ситних, а што указује да је глутенски матрикс недовољно јак да задржи CO<sub>2</sub> настао ферментацијом. Даље продужење дужине складиштења замрзнутог теста очигледно води даљој деградацији квалитета од њега добијеног хлеба.



Слика 37: Спољашњи изглед хлеба добијеног од теста без и са додатком хидроколоида, које је замрзнуто скалдиштено до 28 дана



Слика 38: Изглед средине хлеба добијеног од теста без и са додатком хидроколоида, које је замрзнуто скалдиштено до 28 дана



Резултати анализе чврстине средине хлеба добијеног од незамрзаваног и замрзаваног теста са различитим садржајем ксантана, к-карагенана и карбоксиметилцелулозе које је складиштено до 28 дана, приказани су у Табели 27, Табели 28 и Табели 29, респективно. Анализа је вршена 24h, 48h и 72h након печења.

Табела 27: Чврстина средине хлеба од замрзаваног теста са различитим садржајем ксантана

Показатељ	Време складиштења хлеба [час]	Садржај ксантана [%]	ЧВРСТИНА СРЕДИНЕ ХЛЕБА				
			Време скалиштења на -20±1°C [дан]				
			0	1	7	14	28
Сила сечења [N/ге]	24	0,0	2,70	2,90	2,20	2,40	1,90
		0,1	3,20	2,40	2,40	2,70	1,90
		0,3	2,80	2,20	2,70	2,20	2,10
		0,5	2,30	2,40	2,30	2,90	2,10
	48	0,0	2,00	2,10	1,65	1,80	1,60
		0,1	1,70	1,75	1,80	2,30	1,60
		0,3	1,70	2,00	2,10	2,10	1,80
		0,5	1,70	1,85	2,00	2,40	2,10
	72	0,0	1,80	1,10	1,50	1,50	1,50
		0,1	1,60	1,40	1,30	2,10	1,50
		0,3	1,55	1,40	1,70	2,00	1,60
		0,5	1,50	1,60	1,20	1,50	2,00
Сила пробијања [kg/cm <sup>2</sup> ]	24	0,0	0,59	0,94	1,01	1,57	1,90
		0,1	0,80	0,66	1,11	1,36	1,60
		0,3	0,81	0,78	1,42	1,68	1,72
		0,5	0,84	0,96	1,46	1,67	2,14
	48	0,0	0,74	1,08	1,45	2,22	2,57
		0,1	0,93	0,85	1,52	2,37	2,69
		0,3	1,02	0,98	1,42	1,88	1,99
		0,5	1,55	1,04	1,56	1,77	2,46
	72	0,0	1,43	2,50	2,76	2,80	2,81
		0,1	1,48	1,90	2,73	2,90	3,02
		0,3	1,24	1,32	1,70	2,28	2,56
		0,5	1,18	1,36	1,69	2,33	2,73

Резултати приказани у Табели 27, Табели 28 и Табели 29 показују да се интензитет силе сечења средине хлеба смањује услед додатка к-карагенана и карбоксиметилцелулозе у тесто, док додаток ксантана не утиче на промену вредности испитиваног показатеља. Утицај садржаја било ког од примењених хидроколоида у хлебном тесту на вредност овог показатеља није јасно изражен. Старењем хлеба добијеног од незамрзаваног теста, од 24h до 72h, интензитет силе сечења се смањује и то за 33,33% код узорка без хидроколоида, односно 34,78% код узорка са 0,5% ксантана, 21,05% код узорка са 0,5% к-карагенана и 22,72% код узорка са 0,3% карбоксиметилцелулозе. Дужина чувања теста у замрзнутом стању, до 28 дана, изазива смањење вредности силе сечења код узорка без хидроколоида, за сва три термина мерења. Складиштење теста са хидроколлоидима у замрзнутом стању не доводи до смањења силе сечења хлеба који је оцењиван 24h након печења. Код истих узорака уочено је мање смањење силе сечења хлеба који је складиштен до 72h у односу на хлеб добијен од теста без хидроколоида.

Табела 28: Чврстина средине хлеба од замрзаваног теста са различитим садржајем к-карагенана

Показатељ	Време складиштења хлеба [čas]	Садржај к-карагенана [%]	ЧВРСТИНА СРЕДИНЕ ХЛЕБА				
			Време складиштења на -20±1°C [dan]				
			0	1	7	14	28
Сила сечења [N/brg]	24	0,0	<b>2,70</b>	<b>2,90</b>	<b>2,20</b>	<b>2,40</b>	<b>1,90</b>
		0,1	2,20	3,10	2,70	2,40	2,20
		0,3	2,50	2,70	3,00	3,00	2,60
		0,5	1,90	2,20	2,50	1,60	2,30
	48	0,0	<b>2,00</b>	<b>2,10</b>	<b>1,65</b>	<b>1,80</b>	<b>1,60</b>
		0,1	1,80	1,80	2,40	2,00	1,70
		0,3	2,00	1,70	2,00	1,70	2,50
		0,5	1,70	2,00	1,70	1,50	1,90
	72	0,0	<b>1,80</b>	<b>1,10</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>
		0,1	1,70	1,40	1,70	1,40	1,70
		0,3	1,80	1,40	1,80	1,60	2,20
		0,5	1,50	1,80	1,20	1,50	1,90
Сила пробијања [kg/cm <sup>2</sup> ]	24	0,0	<b>0,59</b>	<b>0,94</b>	<b>1,01</b>	<b>1,57</b>	<b>1,90</b>
		0,1	0,76	0,78	1,29	1,12	1,11
		0,3	0,76	0,81	1,75	1,71	1,80
		0,5	0,74	0,83	1,64	1,86	1,94
	48	0,0	<b>0,74</b>	<b>1,08</b>	<b>1,45</b>	<b>2,22</b>	<b>2,57</b>
		0,1	0,92	0,90	1,65	2,17	2,43
		0,3	0,88	1,31	1,76	2,25	2,45
		0,5	1,18	1,33	1,38	1,86	2,06
	72	0,0	<b>1,43</b>	<b>2,50</b>	<b>2,76</b>	<b>2,80</b>	<b>2,81</b>
		0,1	1,06	1,71	5,03	3,39	3,93
		0,3	1,87	2,38	2,43	2,51	2,67
		0,5	1,75	2,26	2,50	2,79	3,20

Најмања вредност силе пробијања измерена је за контролни незамрзавани узорак 24h након печења (Табела 27, Табела 28 и Табела 29).

Са повећањем садржаја ксантана сила пробијања средине хлеба, добијеног од незамрзаваног теста, расте код узорака анализираних 24h након печења. Ове промене мање су изражене 48h након печења, а након 72h готово је немогуће пратити трендове. Старењем хлеба, добијеног од незамрзаваног теста до 72h, уочава се повећање вредности силе пробијања средине хлеба и оно је највише изражено код узорка без хидроколоида (142,37%), а најмање код узорка са 0,5% ксантана (40,48%). Повећање чврстине хлеба добијеног од незамрзаваног теста са ксантаном у односу на хлеб без хидроколоида није у складу са наводима Ribotta-e i dr. (2005) који су у истим условима доказали незначајно смањење вредности овог показатеља. Могуће је да се уочено повећање чврстине хлеба са ксантаном, какво су уочили и Rosell i dr. (2001), јавља услед задебљања зидова гасних пора у тесту са ксантаном у односу на тесто без хидроколоида.

Код узорака хлеба од незамрзаваног теста са к-карагенаном уочава се повећање силе пробијања у односу на узорак без хидроколоида 24h након печења што је супротно литературним наводима (Ribotta i dr., 2005; Rosell i dr., 2001; Sharadanant i Khan, 2003b), а продужење складиштења хлеба повећава вредност овог показатеља како код узорака без хидроколоида (142,37%) тако и код узорка са 0,5% к-карагенана (136,24%). Уочено незнатно умањење утицаја старења хлеба на вредност испитиваног показатеља услед додатка овог хидроколоида у тесто у складу је са закључцима које су публиковали Ribotta i dr. (2005) и Sharadanant i Khan (2003b).

Додатак карбоксиметилцелулозе у незамрзавано тесто не утиче значајно на промену интензитета силе пробијања хлеба који је оцењиван 24h након печења, у односу на узорак без хидроколоида што је у складу са наводима Sharadanant-a i Khan-a (2003b). Продужењем складиштења хлеба са карбоксиметилцелулозом до 72h незнатно се повећава вредност испитиваног показатеља у односу на хлеб без хидроколоида.

Табела 29: Чврстина средине хлеба од замрзаваног теста са различитим садржајем карбоксиметилцелулозе

Показатељ	Време складиштења хлеба [čas]	Садржај к-карагенана [%]	ЧВРСТИНА СРЕДИНЕ ХЛЕБА				
			Време складиштења на -20±1°C [dan]				
			0	1	7	14	28
Сила сечења [libre]	24	0,0	<b>2,70</b>	<b>2,90</b>	<b>2,20</b>	<b>2,40</b>	<b>1,90</b>
		0,1	2,30	2,20	2,20	2,50	1,70
		0,3	2,20	2,50	2,30	2,30	1,90
		0,5	2,10	2,40	2,20	2,20	2,10
	48	0,0	<b>2,00</b>	<b>2,10</b>	<b>1,65</b>	<b>1,80</b>	<b>1,60</b>
		0,1	2,10	2,00	1,70	2,10	1,50
		0,3	1,70	1,90	1,80	1,90	1,90
		0,5	1,50	2,00	2,00	1,80	1,90
	72	0,0	<b>1,80</b>	<b>1,10</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>
		0,1	1,40	1,70	1,20	1,70	1,40
		0,3	1,50	1,60	1,40	1,60	1,80
		0,5	1,30	1,60	0,80	1,50	1,90
Сила пробијања [kg/cm <sup>2</sup> ]	24	0,0	<b>0,59</b>	<b>0,94</b>	<b>1,01</b>	<b>1,57</b>	<b>1,90</b>
		0,1	0,85	0,69	1,11	1,15	1,83
		0,3	0,50	0,57	1,03	1,56	1,80
		0,5	0,59	0,83	1,14	1,37	1,84
	48	0,0	<b>0,74</b>	<b>1,08</b>	<b>1,45</b>	<b>2,22</b>	<b>2,57</b>
		0,1	0,89	0,84	1,93	2,73	3,30
		0,3	0,67	1,08	1,88	2,52	2,67
		0,5	0,61	1,04	1,41	1,62	2,35
	72	0,0	<b>1,43</b>	<b>2,50</b>	<b>2,76</b>	<b>2,80</b>	<b>2,81</b>
		0,1	1,00	2,04	2,42	2,84	3,13
		0,3	1,24	1,78	2,21	2,78	2,97
		0,5	1,85	1,91	2,51	2,96	3,26

Чување теста у замрзнутом стању до 28 дана утиче на повећање вредности силе пробијања средине хлеба код узорака без и са хидроколоидима, односно повећава се чврстина средине хлеба. Овакав тренд уочили су и Sharadanant i Khan (2003b), а сличне закључке публиковали су и Berglund i Shelton (1993), као и Brackelsberg (1996).

Оценом хлеба 24h након печења, утврђено је да складиштење замрзнутог теста до 28 дана повећава вредност силе пробијања 222,03% код узорка без хидроколоида, 157,22% код узорка са 0,5% ксантана, 158,67% код узорка са 0,5% к-карагенана и 260,00% код узорка са 0,3% карбоксиметилцелулозе, у односу на хлеб исте старости добијен од незамрзаваног теста истог састава. Старењем хлеба до 72h повећава се вредност силе пробијања код свих узорака, у односу на хлеб добијен од истог теста оцењен 24h након печења. Ово повећање код узорка без хидроколоида износи 47,21%, код узорка са 0,5% ксантана 27,57%, код узорка са 0,5% к-карагенана 64,94% и код узорка са 0,3% карбоксиметилцелулозе 65,00%.

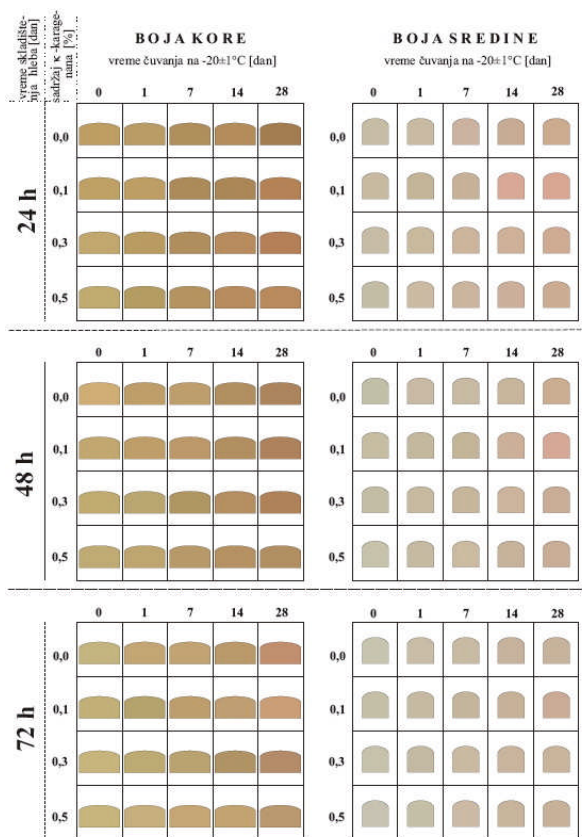
Утицај хидроколоида на чврстину средине хлеба последица је промена у ретроградацији скроба које су условљене инхибицијом интеракција скроб-глутен од стране хидроколоида, развојем макромолекулске мреже или повећаном ретенцијом воде у хлебу након печења која се дешава због великог капацитета хидрофилних гума да вежу воду (Davidou i dr., 1996; Hebeda i Zobel, 1996). Поред тога, чврстина средине хлеба зависи и од протеинске структуре (Ponte i dr., 1962; Maleki i dr., 1980), на коју у великој мери, контролом миграције воде током складиштења замрзнутог теста, утичу хидроколоиди додати у тесто.

Оцена квалитета готовог производа у оквиру ове дисертације обухватила је и одређивање боје средине и коре хлеба. У циљу јасније визуализације промена у боји коре и средине хлеба са 0,5% ксантана, 0,5% к-карагенана и 0,5% карбоксиметилцелулозе које су последица старења хлеба од 24h до 72h, илустрација је дата на Слици 39, Слици 40 и Слици 41, респективно. Сlike приказује боју коре и средине хлеба онако како је "види" мерни инструмент, а не људско око. Боја површина добијена је на основу измерених вредности за  $L$ ,  $a$  и  $b$ , које су обрађене у графичком рачунарском програму Corel DRAW 12.

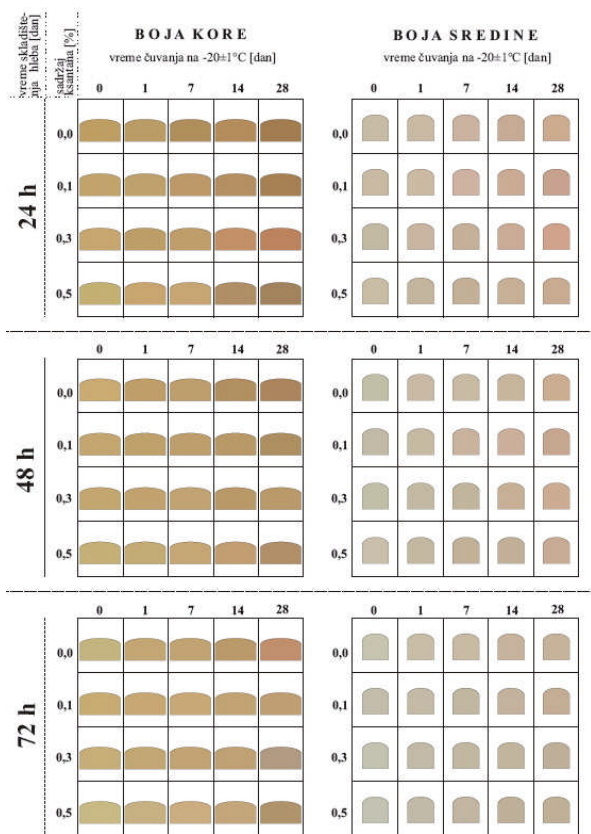
Измерене вредности  $L$ ,  $a$  и  $b$  за кору и средину хлеба добијеног од свежег и замрзаваног теста, без и са ксантаном, к-карагенаном и карбоксиметилцелулозом приказане су у Табели 30, Табели 31 и Табели 32, респективно. Наведени показатељи испитивани су 24h, 48h и 72h након печења. Вредност  $L$  указује на светлоћу узорка, а креће се у рангу од 0 (црно) до 100 (бело). Вредност  $a$  представља пожељно учешће црвеног пигмента ( $+a$ ), односно непожељно учешће зеленог пигмента ( $-a$ ) у боји узорка. Вредност  $b$  представља пожељно учешће жутог пигмента ( $+b$ ), односно непожељно учешће плавог пигмента ( $-b$ ) у боји узорка.

Апсолутно посматрано све измерене  $L$  вредности коре хлеба задовољавају захтеве потрошача (Табела 30, Табела 31 и Табела 32). Додатак ксантана, к-карагенана и карбоксиметилцелулозе у хлебно тесто повећава  $L$  вредност коре, код свих узорака, у свим терминима мерења. Већа  $L$  вредност указује на хлеб светлије, пожељније коре. Повећање  $L$  вредности коре хлеба добијеног од незамрзаваног теста 24h након печења највише је изражено код узорка са 0,5% ксантана (7,58%), затим са 0,3% карбоксиметилцелулозе (7,46%), док се најмање повећање запажа код узорка са 0,5% к-карагенана. Чувањем хлеба од 24h до 72h повећава се  $L$  вредност коре хлеба за све испитиване узорке. Податак указује на чињеницу да хлеб старењем постаје светлији, што је последица миграције воде из средине у кору (He i Hoseneu, 1990). Уочена промена слабије је изражена код узорака са хидроколоидима у односу на узорак хлеба без хидроколоида.

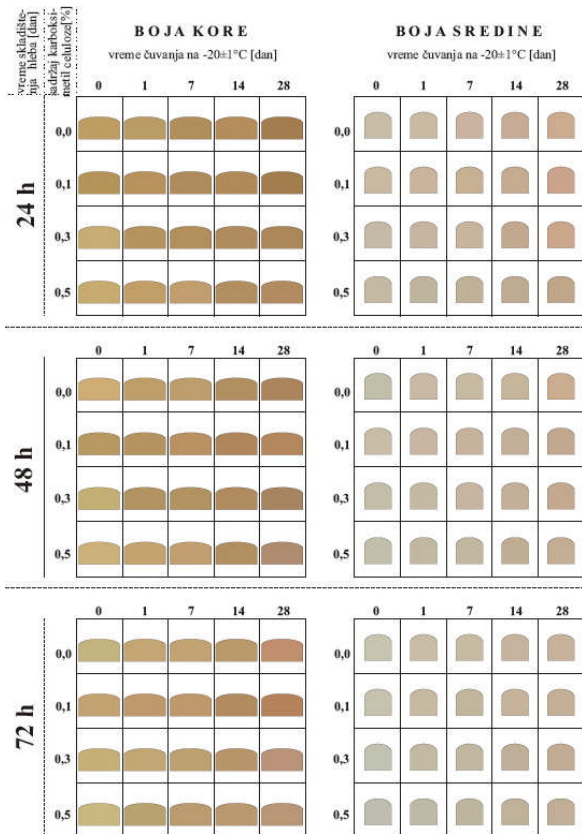
Присуство хидроколоида у тесту вероватно задржава воду у средини хлеба, односно ограничава њену миграцију током складиштења хлеба. Не уочавају се јасне разлике у промени *L* вредности коре хлеба, које су последица различитог садржаја ксантана,  $\kappa$ -карагенана или карбоксиметилцелулозе у тесту. Промена *L* вредности коре хлеба добијеног од замрзаваног теста која настаје као последица циклуса замрзавање/одмрзавање најмање је изражена код хлеба са ксантаном, нешто више код хлеба са  $\kappa$ -карагенаном, а највише код хлеба са карбоксиметилцелулозом, и то за све термине одређивања. Чување теста у замрзнутом стању до 28 дана, утиче на смањење измерених *L* вредности коре хлеба без и са хидроколоидима. Измерене *L* вредности коре хлеба добијеног од замрзануог теста које је скалдиштено 28 дана, 24h након печења веће су у узорцима са, него у узорку без хидроколида што је у складу са наводима Sharadanant-a i Khan-a (2003b).



Слика 40: Промена боје коре и средине хлеба добијеног од незамрзаваног и замрзаваног теста без и са додатком  $\kappa$ -карагенана, током старења од 24h до 72h



Слика 39: Промена боје коре и средине хлеба добијеног од незамрзаваног и замрзаваног теста без и са додатком ксантана, током старења од 24h до 72h



Слика 41: Промена боје коре и средине хлеба добијеног од незамрзаваног и замрзаваног теста без и са додатком карбоксиметилцелулозе, током старења од 24h до 72h

Додатком хидроколоида у тесто, апсолутно посматрано, смањује се *a* вредност коре од њега добијеног хлеба у односу на узорак хлеба без хидроколоида. Ово указује на смањење удела црвеног пигмента у боји коре што је за конзумента привлачније. Највећа промена при оцени хлеба од незаmrзаваног теста 24h након печења, уочава се код узорка са 0,5% ксантана (66,85%), а најмања код узорка са 0,1% карбоксиметилцелулозе (8,53%). Чувањем хлеба, од 24h до 72h, смањује се *a* вредност и то код свих узорака. У складу са наводима Sharadant-a i Khan-a (2003b) не уочава се значајан утицај циклуса замрзавање/одмрзавање на промену *a* вредности коре хлеба добијеног од замрзаваног теста, али чување теста у замрзнутом стању до 28 дана, утиче на повећање вредности испитиваног показатеља и то како код узорка без, тако и код узорака са хидроколоидима.

Табела 30: Боја коре и средине хлеба добијеног од незаmrзаваног и замрзаваног теста са различитим садржајем ксантана, 24h, 48h и 72h након печења

Показатељ	Време скалдиштења хлеба [час]	Садржај ксантана [%]	Боја коре					Боја средине				
			Време скалдиштења замрзнутог теста на -20±1°C [дан]									
			0	1	7	14	28	0	1	7	14	28
<i>L</i>	24	0,0	67,11	65,88	61,02	60,95	55,11	76,60	76,33	75,09	72,12	72,10
		0,1	69,28	67,90	66,38	61,66	55,74	75,68	75,51	74,69	71,71	70,19
		0,3	69,59	67,35	66,86	63,73	59,55	75,97	74,59	72,96	72,62	71,28
		0,5	72,20	69,26	69,21	61,70	56,68	76,66	74,47	72,89	72,68	72,15
	48	0,0	72,75	67,20	66,73	62,49	59,50	76,94	76,48	76,00	75,28	72,93
		0,1	69,86	68,19	67,36	64,64	60,72	76,13	75,94	74,28	73,53	71,28
		0,3	69,59	69,03	68,62	65,35	64,73	77,14	76,02	74,32	73,35	72,52
		0,5	72,52	70,75	69,75	68,45	62,47	77,65	75,13	73,03	72,74	72,00
	72	0,0	74,37	69,82	68,70	64,63	64,17	79,45	76,86	76,37	73,84	73,70
0,1		71,20	71,11	70,89	68,67	66,88	77,11	76,06	74,91	74,11	71,56	
0,3		72,07	69,87	68,89	67,90	65,40	77,59	76,46	75,03	73,54	73,04	
0,5		76,07	73,06	73,04	69,61	63,30	78,18	76,13	73,84	72,74	72,74	
<i>a</i>	24	0,0	7,39	7,34	7,55	10,80	11,50	-0,47	3,14	6,78	7,94	9,98
		0,1	6,17	6,68	7,84	9,74	11,16	3,09	4,50	8,47	10,30	11,28
		0,3	5,70	6,12	7,63	14,77	18,82	0,30	4,93	6,04	10,18	15,10
		0,5	2,45	7,63	7,66	8,16	9,89	1,90	3,27	4,03	6,04	7,68
	48	0,0	5,65	6,71	8,02	8,88	12,33	-0,66	2,68	3,08	3,99	9,28
		0,1	5,16	6,45	7,13	7,62	8,45	-0,13	2,46	5,75	7,93	10,2
		0,3	4,83	5,79	6,47	8,22	8,33	-0,62	1,16	1,63	6,23	8,47
		0,5	1,99	5,47	6,90	8,08	9,09	0,74	2,34	2,63	3,44	7,37
	72	0,0	-0,71	5,92	6,33	8,80	15,92	-1,75	2,26	2,76	3,94	5,25
0,1		5,13	5,87	6,71	7,13	8,02	0,26	0,75	2,01	3,52	6,34	
0,3		2,88	5,15	6,14	6,88	7,06	-0,98	0,41	0,83	2,10	2,23	
0,5		-0,88	4,50	6,81	6,93	7,06	-0,87	-0,47	1,66	1,98	2,09	
<i>b</i>	24	0,0	36,33	33,46	32,41	31,84	31,34	13,67	14,01	14,04	17,22	19,38
		0,1	34,71	31,81	31,63	31,35	31,29	12,89	13,09	14,21	16,71	16,93
		0,3	34,37	32,56	31,93	31,16	30,38	12,71	13,99	14,36	16,39	18,58
		0,5	34,24	32,94	31,98	28,03	25,41	14,02	14,04	15,71	15,74	18,45
	48	0,0	33,73	32,63	31,05	30,35	27,83	12,37	12,44	13,97	15,54	18,94
		0,1	33,06	32,56	31,16	30,80	28,72	11,93	13,80	13,89	14,61	18,37
		0,3	32,64	31,68	31,27	31,10	29,98	11,75	13,18	14,02	15,59	17,10
		0,5	32,21	31,24	30,61	28,63	26,96	11,97	13,75	14,12	14,98	16,82
	72	0,0	30,29	30,12	30,00	29,96	27,18	11,41	12,27	13,29	14,47	14,66
0,1		32,67	32,40	30,96	30,43	28,10	11,50	12,27	12,78	13,30	16,19	
0,3		32,46	30,79	30,59	27,25	15,94	10,44	12,30	13,27	14,38	14,74	
0,5		29,85	28,22	27,95	27,89	25,71	8,01	10,91	12,42	13,92	15,90	

Табела 31: Боја коре и средине хлеба добијеног од незамрзаваног и замрзаваног теста са различитим садржајем к-карагенана, 24h, 48h и 72h након печења

Показатељ	Време скалдиштења хлеба [cas]	Садржај к-карагенана [%]	Боја коре					Боја средине				
			Време скалдиштења замрзнутог теста на -20±1°C [dan]									
			0	1	7	14	28	0	1	7	14	28
<b>L</b>	24	0,0	67,11	65,88	61,02	60,95	55,11	76,60	76,33	75,09	72,12	72,10
		0,1	68,47	66,51	59,86	58,71	55,79	75,82	74,40	74,22	73,47	71,94
		0,3	69,69	65,72	62,40	61,89	57,93	76,70	75,71	74,64	73,93	73,08
		0,5	71,04	65,30	62,61	62,00	60,51	77,08	75,61	75,26	74,23	72,96
	48	0,0	72,75	67,20	66,73	62,49	59,50	76,94	76,48	76,00	75,28	72,93
		0,1	69,59	67,42	65,74	61,80	58,06	76,70	75,12	74,36	73,55	72,95
		0,3	71,38	69,46	64,39	61,86	58,26	77,11	76,16	74,83	74,64	73,36
		0,5	71,39	65,61	64,86	63,22	61,61	78,09	76,35	76,14	74,25	73,31
	72	0,0	74,37	69,82	68,70	64,63	64,17	79,45	76,86	76,37	73,84	73,70
0,1		71,80	67,79	66,58	67,11	68,58	76,83	76,47	74,38	73,92	73,08	
0,3		73,81	69,85	68,19	62,86	61,78	78,30	76,16	76,00	75,20	74,76	
0,5		73,62	73,23	69,92	68,66	65,34	79,09	77,47	76,79	74,72	73,84	
<b>a</b>	24	0,0	7,39	7,34	7,55	10,80	11,50	-0,47	3,14	6,78	7,94	9,98
		0,1	4,91	6,83	9,32	9,54	15,69	1,75	2,60	3,78	16,02	17,73
		0,3	4,28	7,23	7,77	12,10	17,88	1,15	2,39	5,84	9,19	11,33
		0,5	2,63	4,42	8,48	11,52	14,07	0,49	4,12	5,64	7,29	7,85
	48	0,0	5,65	6,71	8,02	8,88	12,33	-0,66	2,68	3,08	3,99	9,28
		0,1	3,01	6,60	7,51	9,08	13,87	1,49	2,30	2,87	7,05	15,08
		0,3	1,92	2,23	3,63	10,85	15,04	0,48	1,93	4,08	6,05	6,93
		0,5	1,23	3,54	7,21	8,59	9,16	-0,63	1,73	3,83	5,12	7,33
	72	0,0	-0,71	5,92	6,33	8,80	15,92	-1,75	2,26	2,76	3,94	5,25
0,1		0,78	1,17	6,77	7,70	13,16	-0,78	2,20	2,90	4,76	9,92	
0,3		0,59	1,32	2,77	6,36	11,68	0,14	0,50	2,84	4,68	5,05	
0,5		0,70	2,90	6,87	8,16	9,02	-1,03	-0,88	2,62	3,12	5,40	
<b>b</b>	24	0,0	36,33	33,46	32,41	31,84	31,34	13,67	14,01	14,04	17,22	19,38
		0,1	35,05	33,72	32,49	32,20	32,02	15,32	16,06	16,13	16,61	16,83
		0,3	34,63	33,57	32,22	31,94	30,89	14,49	15,80	16,09	16,19	17,01
		0,5	34,35	33,44	31,84	31,52	30,97	13,45	14,16	14,82	15,35	18,42
	48	0,0	33,73	32,63	31,05	30,35	27,83	12,37	12,44	13,97	15,54	18,94
		0,1	34,15	32,77	30,68	30,57	28,17	15,14	15,50	15,91	16,33	16,58
		0,3	34,14	31,71	31,58	30,23	30,16	13,39	15,18	15,85	16,16	16,25
		0,5	32,79	32,05	31,14	31,04	29,23	13,31	13,61	14,83	15,22	16,23
	72	0,0	30,29	30,12	30,00	29,96	27,18	11,41	12,27	13,29	14,47	14,66
0,1		31,96	31,47	30,27	28,11	27,13	12,99	13,65	14,92	15,79	16,36	
0,3		31,84	31,05	29,62	28,55	27,16	12,44	13,71	14,53	15,39	15,82	
0,5		32,37	30,34	29,81	29,31	26,49	8,82	13,85	14,39	15,80	16,23	

Вредност *b* измерена за кору хлеба добијеног од незамрзаваног теста, смањује се са додатком хидроколоида у тесто. Старењем хлеба добијеног од незамрзаваног теста, од 24h до 72h, опада вредност *b*, што није пожељно (Brackelsberg, 1996), али је уочени пад вредности најмање изражен код узорака са ксантаном, следе узорци са карбоксиметилцелулозом, а затим узорци са к-карагенаном, у односу на узорак без хидроколоида. Значајан утицај циклуса замрзавање/одмрзавање на промену *b* вредности коре хлеба добијеног од замрзаваног теста се не уочава, без обзира да ли је добијен од теста без хидроколоида или са њима. Чување теста у замрзнутом стању до 28 дана, утиче на смањење измерених вредности, што је у складу са наводима Sharadanant-a i Khan-a (2003b). Ово, непожељно смањење најмање је изражено код хлеба са ксантаном.

Апсолутно посматрано, све измерене *L* вредности средине хлеба указују да светлоћа узорака задовољава захтеве потрошача. Додатак хидроколоида у хлебно тесто у извесној мери смањује *L* вредност средине хлеба који је оцењиван 24h након печења. Складиштење хлеба 24h до 72h, у минималниј мери повећава светлоћу средине при чему је ово повећање највише изражено у узорку хлеба без хидроколоида, док додатак ксантана, карбоксиметилцелулозе и к-карагенана у мањој мери, наведеним редом, повећавају вредност *L* средине хлеба. Значајан утицај циклуса замрзавање/одмрзавање на светлоћу средине хлеба се не уочава, али чување теста у замрзнутом стању до 28 дана, доводи до смањење измерених *L* вредности средине хлеба за све термине одређивања, што је у складу са наводима Sharadanant-a i Khan-a (2003b).

Табела 32: Боја коре и средине хлеба добијеног од незамрзаног и замрзаног теста са различитим садржајем карбоксиметилцелулозе, 24h, 48h и 72h након печења

Показатељ	Време складиштења хлеба [čas]	Садржај карбоксиметил-целулозе [%]	Боја коре					Боја средине				
			Време складиштења замрзнутог теста на -20±1°C [dan]									
			0	1	7	14	28	0	1	7	14	28
<i>L</i>	24	0,0	67,11	65,88	61,02	60,95	55,11	76,60	76,33	75,09	72,12	72,10
		0,1	63,06	63,04	60,64	59,93	55,48	76,11	75,17	73,02	71,96	69,60
		0,3	72,00	62,52	62,30	61,24	59,41	75,64	75,24	74,60	70,94	70,91
		0,5	70,78	68,27	67,33	61,65	61,25	75,69	74,27	73,35	71,50	70,44
	48	0,0	72,75	67,20	66,73	62,49	59,50	76,94	76,48	76,00	75,28	72,93
		0,1	65,38	62,73	62,56	60,16	59,54	76,79	75,46	74,17	73,01	71,22
		0,3	72,40	63,35	63,27	61,42	58,44	76,63	76,05	74,93	73,08	71,44
		0,5	73,83	68,72	67,53	61,65	61,29	77,46	75,46	74,91	72,16	72,13
	72	0,0	74,37	69,82	68,70	64,63	64,17	79,45	76,86	76,37	73,84	73,70
		0,1	69,48	66,42	66,05	61,19	59,37	78,54	75,66	74,26	73,73	72,99
		0,3	73,33	69,83	68,37	64,21	63,89	78,02	76,47	75,45	73,20	71,55
		0,5	74,91	68,24	66,17	66,08	65,21	76,50	74,93	73,68	72,54	72,32
<i>a</i>	24	0,0	7,39	7,34	7,55	10,80	11,50	-0,47	3,14	6,78	7,94	9,98
		0,1	6,76	8,55	9,50	9,72	10,74	3,40	5,06	6,39	6,56	13,16
		0,3	2,94	8,20	8,44	8,77	10,38	0,95	3,98	4,91	5,52	12,40
		0,5	5,35	7,83	8,92	9,03	10,72	-0,48	1,05	1,09	3,60	7,46
	48	0,0	5,65	6,71	8,02	8,88	12,33	-0,66	2,68	3,08	3,99	9,28
		0,1	5,54	8,35	11,27	11,78	15,21	2,50	4,68	4,89	5,09	5,63
		0,3	1,91	6,59	7,11	8,77	10,75	-0,29	0,63	3,18	4,61	8,3
		0,5	3,09	7,40	8,19	9,03	10,34	-1,06	0,8	1,17	2,53	6,17
	72	0,0	-0,71	5,92	6,33	8,80	15,92	-1,75	2,26	2,76	3,94	5,25
		0,1	7,57	9,54	9,6	10,11	16,38	-0,88	2,83	2,94	3,67	3,73
		0,3	1,6	5,02	5,36	8,79	12,34	-1,90	0,44	1,48	1,86	3,53
		0,5	0,71	2,24	6,66	7,61	10,34	-1,43	-1,23	-0,88	0,94	4,43
<i>b</i>	24	0,0	36,33	33,46	32,41	31,84	31,34	13,67	14,01	14,04	17,22	19,38
		0,1	35,59	35,17	32,77	32,40	31,58	14,94	16,21	16,74	17,76	19,00
		0,3	35,10	33,24	32,78	30,95	30,82	12,27	14,09	14,77	16,57	20,63
		0,5	33,82	33,67	31,25	30,42	29,38	13,88	14,17	14,76	15,94	18,85
	48	0,0	33,73	32,63	31,05	30,35	27,83	12,37	12,44	13,97	15,54	18,94
		0,1	34,60	32,43	31,50	30,36	29,40	12,15	13,51	14,31	15,35	17,28
		0,3	33,25	30,64	30,54	29,48	25,95	12,02	13,30	14,12	15,50	16,92
		0,5	33,31	32,83	31,00	30,75	22,87	11,38	14,00	14,39	15,93	17,25
	72	0,0	30,29	30,12	30,00	29,96	27,18	11,41	12,27	13,29	14,47	14,66
		0,1	31,46	30,98	30,98	30,25	28,99	10,17	13,13	14,25	15,03	16,24
		0,3	33,17	30,74	30,55	26,99	19,86	7,52	13,35	14,10	14,42	16,09
		0,5	31,12	29,65	28,42	27,14	23,18	6,80	11,36	12,84	15,04	15,00



На основу измерених  $a$  вредности средине хлеба, 24h након печења, не може се уочити јасан утицај додатка хидроколоида у хлебно тесто на вредност испитиваног показатеља. Продужење времена скалдиштења истих узорака хлеба 24h до 72h доводи до смањења  $a$  вредности средине. Циклус замрзавање/одмрзавање показује већи ефекат на удео црвеног пигмента у боји средине хлеба код узорка без, него код узорака са хидроколоидима. Током чувања теста, без и са хидроколоида, у замрзнутом стању у току 28 дана, долази до повећања  $a$  вредности средине хлеба што је непожељно. Уочени тренд у складу је са закључцима Sharadanant-a i Khan-a (2003b).

Вредност  $b$  средине хлеба, апсолутно посматрано, смањује се са додатком хидроколоида у хлебно тесто. Смањење удела жутог пигмента у складу је са закључцима које су публиковали Sharadanant i Khan (2003b). Старењем хлеба, од 24h до 72h, опада вредност  $b$ , што је пожељно. Значајан утицај циклуса замрзавање/одмрзавање на промену  $b$  вредности средине хлеба добијеног од замрзаног теста се не уочава. Чување теста у замрзнутом стању до 28 дана, утиче на повећање измерених вредности, што је у складу са наводима Sharadanant-a i Khan-a (2003b).

## 6. ЗАКЉУЧЦИ

Истраживања која су обухваћена овом дисертацијом извршена су у потпуности уз коришћење сировинске базе доступне на нашем тржишту. Добијени резултати могу се резимирати у оквиру следећих закључака:

За припрему замрзнутог квасног теста оправдана је употреба комерцијалног формованог пекарског квасца *Saccharomyces cerevisiae*. Замрзавањем квасног теста и његовим складиштењем у замрзнутом стању до 28 дана деградира се активност квасца, али је, и по истеку наведеног периода, њен ниво прихватљив за пекарску производњу.

На ферментативну активност квасаца у значајној мери утичу замрзавање и одмрзавање, али је и утицај складиштења замрзнутог теста до 28 дана изражен у истој мери. Овакви резултати указују да инактивација ензима квасца до које долази током замрзавања ћелијског садржаја применом ниских температура није у потпуности реверзибилан процес. Механичко оштећење ћелијских мембрана које се дешава услед раста кристала леда током складиштења замрзнутог теста најзначајнији је узрок накнадне деградације активности квасца.

Умањење ферментативне активности квасца може се контролисати применом оптималног режима замрзавања и одмрзавања. Математичким релацијама описане су криве замрзавања ( $-20\pm 1^\circ\text{C}$  и  $-35\pm 1^\circ\text{C}$ ) и одмрзавања ( $4\pm 1^\circ\text{C}$ ;  $20\pm 1^\circ\text{C}$  и  $35\pm 1^\circ\text{C}$ ) квасног теста које омогућавају предвиђање потребног времена трајања примењене операције.

Са аспекта активности ћелија квасца тесто је пожељно замрзавати на  $-35\pm 1^\circ\text{C}$  до постизања  $-15\pm 1^\circ\text{C}$  у центру комада теста. Да би се постигле супериорне карактеристике готовог производа које зависе од активности квасца, квасно тесто је потребно одмрзавати на  $4\pm 1^\circ\text{C}$  у току 6-12 сати (у зависности од величине комада), након чега је завршну ферментацију треба водити на  $35\pm 1^\circ\text{C}$  до потпуног развоја теста.

Додатак ксантана ( $0,02\div 0,1\%$ ), к-карагенана ( $0,2\div 1\%$ ) и карбоксиметилцелулозе ( $0,2\div 1\%$ ) у тесто, као и дужина складиштења замрзнутог теста до 28 дана доводе до смањења специфичне ферментативне активности квасца. Додатком хидрофилних гума у тесту се смањује количина слободне воде услед чега је умањена активност амилитичког комплекса брашна, што у крајњој инстанци лимитира активност квасца. Овакво деловање хидроколоида у тесту даје своје позитивне ефекте током складиштења замрзнутог теста. Контролом миграције слободне воде хидроколоиди контролишу интензитет раста кристала леда током складиштења замрзнутог теста што минимизује механичка оштећења ћелија квасца, па је смањење специфичне ферментативне активности квасца у замрзнутом тесту са хидроколоидима мање него код контролног узорка.

Квалитет готовог производа добијеног од замрзаног теста, у првом реду његова специфична запремина и чврстина средине, деградира се продужењем времена складиштења замрзнутог теста до 28 дана. Овакво неприхватљиво деловање умањује се додатком ксантана ( $0,02\div 0,1\%$ ), к-карагенана ( $0,2\div 1\%$ ) и карбоксиметилцелулозе ( $0,2\div 1\%$ ) у тесто које ће се замрзавати. У том смислу, додатак ксантана у десет пута мањој количини у односу на к-карагенан и карбоксиметилцелулозу, остварује сличан ефекат.

Додатком ксантана (0,1÷0,5%), к-карагенана (0,1÷0,5%) и карбоксиметилцелулозе (0,1÷0,5%) смањује се специфична ферментативна активност квасца у незамрзаваном тесту, али се умањује интензитет деградације конституената теста која је изазвана замрзавањем, скалдиштењем замрзнутог теста до 28 дана и одмрзавањем. У том смислу, највеће негативне ефекте у незамрзаваном тесту показује ксантан, али су и позитивни ефекти његових интеракција са осталим конституентима замрзаваног теста највећи. Нешто лошије особине има замрзавано тесто са карбоксиметилцелулозом, док додаток к-карагенана, чак и у највећој примењеној количини, нема значајан утицај на квалитет замрзаваног теста. Уочене промене последица су способности хидроколоида да контролишу миграцију воде у замрзнутом тесту, која је у различитој мери изражена код примењених хидрофилних гума.

Деградација квалитета глутена и активности квасца у замрзаваном тесту у највећој мери је минимизована додатком 0,5% односно 0,3% ксантана, респективно. Додатак 0,1% карбоксиметилцелулозе умањује негативне ефекте примењених технолошких операција на активност квасца и квалитет замрзаваног теста. Од свих примењених концентрација, садржај к-карагенана од 0,3% у највећој мери минимизује је непожељно смањење активности квасца у замрзаваном тесту, док је садржај истог хидроколоида од 0,5% показао очекивани импакт на деградацију квалитета теста.

Побољшање квалитета замрзаваног теста додатком хидроколоида резултује побољшањем квалитета од њега добијеног готовог производа. Код готових пекарских производа, позитиван утицај додатка хидрофилних гума долази до изражаја током складиштења хлеба од 24h до 72h. Негативни утицаји изазвани старењем хлеба добијеног од замрзаваног теста које је у замрзнутом стању складиштено до 28 дана умањени су, у највећој мери, додатком 0,5% ксантана, 0,5 % к-карагенана или 0,3% карбоксиметилцелулозе у хлебно тесто.

Оптimalан рок складиштења замрзнутог квасног теста чији су састав и начин припреме дефинисани у оквиру горенаведених закључака је 7 дана. У наредних 7 дана складиштења долази до деградације квалитета конституената теста у мери која је прихватљива са аспекта пекарске производње. Скалдиштење замрзнутог теста у периоду дужем од 14 дана доводи до неприхватљивог погоршања квалитета замрзаваног теста и од њега добијеног готовог производа, а отвара се и питање економске оправданости таквог начина производње.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

1. Abd El-Hady, E.A., El-Samahy, S.K., Seibel, W. i Brümmer, J.M. (1996): *Changes in gas production and retention in nonprefermented frozen wheat dough*, Cereal Chemistry, 73 (4): 472-477
2. Abd El-Hady, E.A., El-Samahy, S.K. i Brummer, J.M.(1999): *Effects of oxidants, sodium-stearoyl-2-lactylate and their mixtures on rheological and baking properties of nonprefermented frozen dough*, Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 32(7): 446-454
3. Addo, K., Slepak, M. i Akoh, C.C. (1995): *Effects of sucrose fatty acid ester and blends on alveograph characteristics of wheat flour doughs*, Journal of Cereal Science, 22 (2): 123-127
4. Appelqvist, I.A.M. i Debet, M.R.M. (1997): *Starch-biopolymer interactions: a review*, Food Reviews International, 13 (2): 163-224
5. Armero, E. i Collar, C. (1997): *Texture properties of formulated wheat doughs*, Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung, 204 (2): 135-145
6. Asghar, A., Anjum, F.M. Tariq, M.W. i Hussain, S. (2005): *Effects of carboxymethylcellulose and gum arabic on the stability of frozen dough for bakery products*, Turkish Journal of Biology, 29:237-241
7. Auerman, L.J. (prevod): *Tehnologija pekarske proizvodnje*, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1988.
8. Autio, K. i Sinda E. (1992): *Frozen doughs: rheological changes and yeast viability*, Cereal Chemistry, 69 (4): 409-413
9. Autio K. i Laurikainen T. (1997): *Relationship between flour /dough microstructure and dough handling and baking properties*, Trends in Food Science and Technology, 8 (6): 181-185
10. Báguena, R., Soriano, M.D., Martinez-Anaya, M.A. i Benedito de Barber, C. (1991): *Viability and performance of pure yeast strain in frozen dough*, Jurnal of Food Science, 56 (6):1690-1698
11. Bárcenas, M. E., Haros, M., Benedito, C. i Rosell, C. M. (2003): *Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread*, Food Research International 36 (8): 863-869
12. Bahnassey, Y.A. i Breene, W.M. (1994): *Rapid visko-analyser (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (A. hypochondriacus and A. cruentus) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust been gums*, Starch, 46 (4):134-141
13. Bebić D.: *Tehnologija hlađenja*, SSO Poljoprivrednog fakulteta, Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju, Beograd, 1974.
14. Bell, D.A: (1990): *Methyl cellulose as a structure enhancer in bread baking*, Cereal Foods World, 35 (10): 1001-1006
15. Berglund, P.T. (PhD dissertation): *Frozen bread dough: Aspects of protein and water*, North Dakota State University, Fargo, 1996.
16. Berglund, P.T., Shelton, D.R. i Freeman T.P. (1990): *Comparison of two sample preparation procedures for low-temperature scanning electron microscopy of frozen bread dough*, Cereal Chemistry, 67 (2): 139-140
17. Berglund, P.T., Shelton, D.R. i Freeman T.P. (1991): *Frozen bread dough ultrastructure as affected by duration frozen storage and freeze-thaw cycles*, Cereal Chemistry, 68 (1): 105-107
18. Berglund, P.T. i Shelton, D.R. (1993): *Effects of frozen storage duration on firming properties of breadbaked from frozen doughs*, Cereal Foods World, 38 (2): 89-93

19. Bot, A. (2003): *Differential scanning calorimetric study on the effects of frozen storage on gluten and dough*, Cereal Chemistry, 80 (4): 366-370
20. Brack, G. i Hanneforth, U. (1991): *Herstellung von tiefgefroren Teiglingen aus Hefefeinteigen*, Getreide Mehl Brot, 45 (10): 309-315
21. Brackelsberg, K.A. (MS thesis): Use of protein additives to enhance the quality of bread produces from frozen dough, North Dakota State University, Fargo, 1996.
22. Bushuk, W. i Rasper, V.F.: *Wheat-production, properties and quality*, Chapman and Hall, Glasgow: New York, 1994.
23. Cakar Z. P., Seker U.O.S., Tamerler C., Sonderegger M. i Sauer U. (2005): *Evolutionary engineering of multiple-stress resistant Saccharomyces cerevisiae*, FEMS Yeast Research, 5 (6-7): 569-578
24. Campañone, L.A., Salvadori, V. O. i Mascheroni, V.H. (2005): *Food freezing with simultaneous surface dehydration: approximate prediction of freezing time*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 48 (6): 1205-1213
25. Çengel, Y.A.: *Heat transfer - practical approach*, McGraw-Hill, New York, 1998.
26. Charey, H. i Weaver, C.: *Foods - A scientific approach*, Prentice Hall, 1997.
27. Collar, C., Andreu, P., Martinez, J.C. i Armero, E. (1999): *Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study*, Food Hydrocolloids, 13 (6): 467-475
28. Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E. i Bekaert, D. (1996): *A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid*, Food Hydrocolloids, 10(4): 375-383
29. De Man, J.M.: *Principles of food chemistry*, Chapman and Hall, New York, 1990.
30. Delgado, A.E. i Sun, D-W. (2001): *Heat and mass transfer models for predicting freezing process - A review*, Journal of Food Engineering, 47 (3): 157-174
31. Demiralp H., Cekik S. i Koxsel H. (2000): *Effects of oxidizing agents and defatting on the electrophoretic patterns of flour proteins during dough mixing*, European Food Research and Technology, 211 (5), 322-325
32. Dodić, J., Pejin, D., Dodić, S., Popov, S., Mastilović, J., Popov-Raljić, J. i Živanović, S.: (2007): *Effects of hydrophilic hydrocolloids on dough and bread performance of samples made from frozen doughs*, Journal of Food Science, u štampi
33. Dubois, D.K. i Blockcolsky, D. (1986): *Frozen bread dough, effect of dough mixing and thawing methods*, Tech. Bull. Am. Inst. Baking, 8: 1-7
34. El-Hady, E., El-Samahy, S., Seibel, S. i Brümmer, J. (1996): *Changes in gas production and retention in non-fermented frozen wheat doughs*, Cereal Chemistry, 73 (4): 472-477
35. Eselink, E.F.J., van Alast, H., Maliepaard, M., van Duynhoven, J.P.M. (2003): *Long-term effect in frozen dough by spectroscopy and microscopy*, Cereal Chemistry, 80 (4): 396-403
36. Fanta, G.F. i Christianson, D.D. (1996): *Starch-hydrocolloid composites prepared by steam jet cooking*, Food Hydrocolloids, 10 (2): 173-178
37. Faridi, H. i Faubion, J.M. (Eds.): *Dough Rheology and Baked Product Texture*, Avi, New York, 1988.
38. Fellows, P.: *Food processing technology-principles and practice*, Woodhead Publishing, Cambridge, 1997..
39. Fennema, O.R. (Ed.): *Food Chemistry*, Marcel Dekker inc., New York, 1996.
40. Ferrero, C., Martino, M.N. i Zaritzky, N.E. (1993): *Stability of frozen starch paste : effects of freezing, storage and xanthan gum addition*, Journal of Food Processing and Preservation, 17 (3): 191-211
41. Gélinas, P., Fiset, G., Le Duy, A. i Gouliet, J. (1989): *Effect of growth conditions and trehalose content on cryotolerance of bakers yeast in frozen dough*, Applied and Environmental Microbiology, 55 (10): 2453-2459
42. Gélinas, P., Fiset, G., Willemot, C. i Gouliet J. (1991): *Lipid content and cryotolerance of bakers yeast in frozen dough*, Applied and Environmental Microbiology, 57 (2): 463-468

43. Gélinas, P., Deaudelin, I. i Grenier, M. (1995): *Frozen dough: effects of dough shape, water content and sheeting-molding conditions*, Cereal Foods World, 40 (3):124-126
44. Giannou, V., Kessoglou, V. i Tzia, C. (2003): *Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough*, Trends in Food Science & Technology, 14 (3): 99-108
45. Gil, M.J., Callejo, M.J. i Rodriguez, G. (1997): *Effect of water content and storage time on white pan bread quality: instrument evaluation*, Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung A, 205 (4): 268-273
46. Gormley, T.R. (Ed.): *Chilled Foods*, Elsevier, London, 1991.
47. Gujral H. S. i Singh N. (1999): *Effects of additives on dough development, gaseous release and bread making properties*, Food Research International, 32 (10): 82-92
48. Hamer, R. i Hosney, R.C. (Eds.): *Interactions: the keys to cereal quality*, AACC, St.Paul, 1998.
49. Havet, M., Mankai, M. i Le Bail, A. (2000): *Influence of the freezing conditions on the baking performances of French frozen dough*, Journal of Food Engineering 45 (1): 139-145
50. He, H. i Hosney, R.C. (1990): *Changes in bread firmness and moisture content during long term storage*, Cereal Chemistry, 67 (6): 603-605
51. Hebeda, R. i Zobel, H. (Eds.): *Baked goods freshness: Technology, evaluation and inhibition of staling*, Marcel Dekker, New York, 1996.
52. Hino, A., Takano, H. i Tanaka, Y. (1987): *New freeze-tolerant yeast for frozen dough preparation*, Cereal Chemistry, 64 (4): 269-275
53. Hosomi, K., Nishio, K. i Matsumoto, H. (1992): *Studies of frozen dough baking. I. Effects of egg yolk and sugar ester*, Cereal Chemistry, 69 (1): 419-424
54. Hsu, K., Hosney, R. i Seib, S. (1979a): *Frozen dough. I. Factors affecting the stability of yeasted doughs*, Cereal chemistry, 56 (5): 419-424
55. Huebner, F.R. i Wall, J.S. (1979): *Polysaccharide interactions with wheat protein and flour doughs*, Cereal Chemistry, 56: 68-73
56. Inoue, Y. i Bushuk, W. (1991): *Studies on frozen doughs. I. Effects of frozen storage and freeze-thaw cycles on baking quality and rheological properties*, Cereal Chemistry, 68 (6): 627-631
57. Inoue, Y. i Bushuk, W. (1992): *Studies on frozen doughs. II. Flour quality requirements for bread production from frozen dough*, Cereal Chemistry, 69 (4): 423-428
58. Inoue, Y., Sapirstein, H.D., Takayanagi, S. i Bushuk, W. (1994): *Studies on frozen doughs. III. Some factors involved in dough weakening during frozen storage and thaw-freeze cycles*, Cereal Chemistry, 71 (2): 118-121
59. JUS E.M8.022, Sl. SFRJ br. 56/87
60. JUS E.M8.024, Sl. SFRJ br. 56/87
61. Kaluđerski, G. i Filipović, N.: *Metode ispitivanja kvaliteta žita, brašna i gotovih proizvoda*, Tehnološki fakultet, Zavod za tehnologiju žita i brašna, Novi Sad, 1998.
62. Kamel, B. i Staufer, C.E. (Eds.): *Advances in baking technology*, Blackie, UK, 1993.
63. Kennedy, C.J. (Ed.): *Managing frozen foods*, Woodhead Publishing, Cambridge, 2000.
64. Kenny S., Grau H. i Arendt E. K. (2001): *Use of response surface methodology to investigate the effects of processing conditions on frozen dough quality and stability*, European Food Research and Technology, 213 (4-5): 323-328
65. Kline, L. i Sugihara, T. (1968): *Factors affecting the stability of the frozen bread dough. I. Prepared by straight dough method*, Baker's Digest, 42 (5): 44-50
66. Kokini, J.L., Lai, L.S. i Chedid, L.L. (1992): *Effect of starch structure on starch rheological properties*, Food Technology, 46 (6): 124-139
67. Krenić, M. (magistarska teza): *Uticaj uslova zamrzavanja i čuvanja kvasnog peciva na kvalitet gotovog proizvoda*, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1989.
68. Kulp, K., Lorenz, K. i Brümmer, J. (Eds.): *Frozen and refrigerated doughs and batters*, AACC, St. Paul, 1995.

69. Le Bail, A., Pasco, M., Meric, L. i Cahgnier, B. (1996): Influence of the freezing rate on yeast activity in frozen bread dough, In: Porseedings of the 10<sup>th</sup> International Cereal and Bread Congress, Porto Carras, Greece, 9-12 June
70. Le Bail, A., Grinand, C., Le Cleach, S., Martinez, S., i Quilin, E. (1999): Influence of storage conditions on frozen French bread dough, *Journal of Food Engineering*, 39 (3): 289-291
71. Léon, A.E., Ribotta, P., Ausar, F., Fernández, C., Landa, C. i Beltramo, D. (2000): *Interactions of different carrageenan isoforms and flour components in breadmaking*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (7): 2634-2638
72. Liehr, M. i Kulicke, W.M. (1996): *Rheological examination of the innfluence of hydrocoloids on the freeze-thaw stability on starch gels*, *Starch*, 48 (2): 52-57
73. Lind, I. (1991): *The mesurements and prediction of termal properties of food during freezing and thawing - A review with particular reference to meat and dough*, *Journal of Food Engineering*, 13 (4): 285-319
74. Linden, G. i Lorient, D.: *New ingredients in food processing. Biochemistry and agriculture*, Cambridge, 1999.
75. López-Leiva, M. i Hallström, B. (2003): *The original Plank equation and its use in the development of food freezing rate predictions*, *Journal of Food Engineering*, 58 (-): 267-275
76. Lorenz, K. (1974): Frozen dough: present trend and future outlook, *Backer's Digest*, 48: 14-18
77. Lu, W. i Grant, A. (1999): *Effects of prolonged storage at freezing temperatures on starch and baking quality of frozen doughs*, *Cereal Chemistry*, 76 (5): 656-662
78. Maleki, M., Hosoney, R.C. i Mattern, P.J. (1980): *Effects of loaf volume, moisture content, and protein quality on the softness and staling rate of bread*, *Cereal Chemistry*, 57 (2): 138-140
79. Mallet, C.P. (Ed.): *Frozen Food Technology*, Chapman and Hall, New York, 1992.
80. Mandala, I.G. (2005): *Physics properties of fresh and frozen stored microwave-reheated breads, containing hydrocolloids*, *Journal of Food Engineering*, 66 (3): 291-300
81. Mayers, D. K. i Attifield, P.V. (1999): *Intracellular concentration of exogenous glycerol in Saccharomyces cerevisiae provides for improved leavening of frozen doughs*, *Food Microbiology*, 16 (1): 45-51
82. McCleary-Bayley, J.S. (MS thesis): *End-use potential of a high-protein, dicoccoides-derived wheat*, North Dakota State University, Fargo, 1992.
83. Mihori, T. i Watanabe, H. (1994): *An on-line method for predicting freeze time using time/temperature data collected in the early stages of freezing*, *Journal of Food Engineering*, 23 (3): 357-373
84. Mittal, G.S. i Zhang, J. (2000): *Prediction of freezing time for food product using a neural network*, *Food Research Engineering*, 33 (7): 557-562
85. Naito S., Fukami S., Mizokami Y., Ishida N., Takno H., Koizumi M. i Kano H. (2004): *Effect of freeze-thaw cycles on the gluten fibrils and crumb grain structures of breads made from frozen doughs*, *Cereal Chemistry*, 81 (1): 80-86
86. Nemeth, L. J., Paulley, F. G. i Preston, K. R. (1996): *Effects of ingredients and processing conditions on the frozen bread quality of a Canada Western Red Spring wheat flour during prolonged storage*, *Food Research International*, 29 (7), 609-616
87. Neyreneuf, O. i van Der Plaat, J. (1991): *Preparation of frozen French bread dough with improved stability*, *Cereal Chemistry*, 68 (1):60-66
88. Neyreneuf, O. i Nitsche, G. (1989): *Tiefgefrieren von Hefeteigen und -teiglingen. Anforderungen an Rohstoffe und Verfahren*, *Getreide Mehl Brot*, 43: 298-303
89. Neyreneuf, O. i Delpuech, B. (1993): *Freezing experiments on yeasted dough slabs. Effect of criogenic temperatures on the backing performance*, *Cereal Chemistry*, 70 (1): 109-111
90. Oda, Y., Uno, K. i Ohta, S. (1986): *Selection of yeasts for breadmaking by the frozen-dough method*, *Applied and Environmental Microbiology*, 52 (4): 941-943

91. Park J. I., Grant C. M., Attfield P. V. i Dawes I. W. (1997): *The freeze-thaw stress response of the yeast Saccharomyces cerevisiae is growth phase specific and is controlled by nutritional state via the RAS-cyclic AMP signal transduction pathway*, Applied and Environmental Microbiology, 63(10): 3818–3824.
92. Pejin, D.: Tehnologija pekarskog kvasca, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1989.
93. Pepe, O., Anastasio, M. i Villani, F. (2005): *Improvement of frozen dough stability using a cryoresistant yeast strain and refreshment*, Cereal Chemistry, 82(3): 239-241
94. Pham, Q. T. (1996): *Prediction of calorimetric properties and freezing time of foods from composition data*, Journal of Food Engineering, 30 (1-2): 95-107
95. Philips, R. i Finey, J. (Eds.): Protein quality and effects of processing, Marcel Dekker, New York, 1987.
96. Ponte, J.G.Jr., Titcomb, S.T. i Cotton, R.H. (1962): *Fluor as a factor in bread firming*, Cereal Chemistry, 39 (6): 437-444
97. Popineau, Y. i Pineau, F.: *Changes of conformation and surface hydrophobicity of gliadins*, Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 21(1): 113-117
98. Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za pekarski kvasac, Sl. SRJ br.9/2002
99. Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutih testa, Sl.SRJ br. 52/95
100. Pravilnik o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutih testa, Sl. SFRJ br. 74/88
101. Räsänen, J., Blanshard, J.M.V., Mitchell, J.R. Derbushire, W. i Autio, K. (1998): *Properties of frozen wheat doughs at subzero temperatures*, Journal of Cereal Science, 28 (1): 1-14
102. Ribotta P. D., León A. E. i Añón M. C. (2004): *Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough*, Food Hydrocolloids, 18 (2), 305-313
103. Ribotta P. D., Pérez G. T., León A. E. i Añón M. C. (2001): *Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49 (2): 913-918
104. Ribotta, P.D., León, A.E., Añón, M.C. (2003a): *Effect of yeast freezing in frozen dough*, Cereal Chemistry, 80 (4): 451-458
105. Ribotta, P.D., León, A.E., Añón, M.C. (2003b): *Effect of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a defferential scanning calorimeter*, Food Research International, 36(4): 357-363
106. Ribotta, P.D., Ausar, S.F., Beltramo, D.M. i León, A.E. (2005): *Interactions of hydrocolloids and sonicated-gluten proteins*, Food Hydrocolloids, 19 (1): 93-95
107. Rodrigues-Vargas S., Estruch F. i Randes.Gil F. (2002): *Gene expression analysis of cold and freeze stress in bakers yeast*, Applied and Environmental Microbiology, 68 (6): 3024-3030
108. Rojas, J.A., Rosell, C.M. i Benedito de Barber, C. (1999): *Pasting properties of diferent whet flour-hydrocolloid systems*, 19(1): 27-33
109. Rojas, J.A., Rosell, C.M., Benedito de Barber, C., Pérez-Munuera, I. i Lluch, M.A. (2000): *The backing process of wheat roll followed by crio scanning electron microscopy*, European Food Research and Technology, 212 (1): 57-63
110. Rosell, C.M., Rojas, J.A. i Benedito de Barber, C. (2001): *Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality*, Food Hydrocolloids, 15(1): 75-81
111. Rouille, J., Le Bail, A. i Courcoux, P. (2000): *Influence of formulation and mixing conitions on breadmaking qualities of french frozen dough*, Journal of Food Engineering 43(4):197-203
112. Salvadori, V. O. i Mascheroni, R.H. (1991): *Prediction of freezing and thawing times by means of simplifield analytical method*, Journal of Food Engineering, 13 (1): 67-78
113. Schiraldi, A., Piazza, L. i Riva, M. (1996): *Bread stiling: a calorimetric approach*, Cereal Chemistry, 73 (1): 32-39



114. Scwarzlaff, S.S., Johnson, J.M., Barbeau, W.E. i Duncan, S. (1996): Guar and locust bean gums as replacers of all-purpose flour in bread. An objective and sensory evaluation, *Journal of Food quality*, 19 (3): 217-229
115. Selomulyo, V.O. i Zhou, W. (2007): *Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers*, *Journal of Cereal Science*, 45 (1): 1-17
116. Sharadanant, R. I Khan, K. (2003a): *Effect of hydrophylic gums on frozen dough. I. Dough quality*, *Cereal Chemistry*, 80 (6): 764-772
117. Sharadanant, R. I Khan, K. (2003b): *Effect of hydrophylic gums on frozen dough. II. Bread characteristics*, *Cereal Chemistry*, 80 (6): 773-780
118. Sharadanant, R. i Khan, K. (2006): *Effect of hydrophylic gums on the quality of frozen dough: electron microscopy, protein solubility, and electrophoresis studies*, *Cereal Chemistry*, 80 (4): 411-417
119. Shima J., Hino A., Yamada-Iyo C., Suzuki Y., Nakajima R., Watanabe H., Mori K. i Takano H. (1999): *Stress tolerance in doughs of Saccharomyces cerevisiae trehalase mutants derived from commercial Baker's yeast*, *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (7): 2841-2846
120. Singh, H. i MacRitchie, F. (2001): *Application of polymer science to properties of gluten*, *Journal of Cereal Science*, 33 (3): 231-243
121. Skerritt, J., Devery, J. i Hill, A. (1990): *Gluten intolerance: chemistry, celiac, toxicity and detection of prolamins in food*, *Cereal Foods World*, 35: 68-639
122. Stauffer, C.E.: *Fats and oils*, Eagan Press, St. Paul, 1999.
123. Sun, D-W. i Xing, Z. (1999): *Effects of heat transfer direction on the numerical prediction of beef freezing process*, *Journal of Food Engineering*, 42 (1): 45-50
124. Sutherland, I.W. (1998): *Novel and established applications of microbial polysaccharides*, *Tibtech*, 16 (1): 41-46
125. Takano H., Naito S., Ishida N., Koizumi M. i Kano H. (2002a): *Fermentation process and grain structure of baked breads from frozen dough using freeze –tolerant yeasts*, *Journal of Food Science*, 67(7): 2725-2733
126. Tanghe A., Teunissen A., Van Dijck P. i Thevelein J. M. (2000): *Identification of genes responsible for improved cryoresistance in fermenting yeast cells*, *International Journal of Food Microbiology*, 55 (1-3): 259-262
127. Teunissen A., Dumortier F., Gorwa M. F., Bauer J., Tanghe A., Loiez A., Smet P., Van Dijck P. i Thevelein J. M. (2002): *Isolation and Characterization of a Freeze-Tolerant Diploid Derivative of an Industrial Baker's Yeast Strain and Its Use in Frozen Dough*, *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (10): 4780-4787
128. Tipples, K.H. (1969): *The reaction of the starch damage to the baking performance of flour*, *Baker's Digest*, 43 (6): 28-32
129. Trevelyanian W.E. i Harrison J.S. (1956): *Studies on yeast metabolism VII. Yeast carbohydrate fractions. Separation from nucleic acid, analysis and behaviour during anaerobic fermentation*, *Biochemical Journal*, 63:23-33
130. Van Dijck P., Gorwa M. F., Leimaire K., Teunissen A., Verselle M., Colombo S., Dumortier F., Ma P., Tanghe A., Loiez A. i Thevelein J. M. (2000): *Characterization of a new set of mutants deficient in fermentation-induced loss of stress resistance for use in frozen dough applications*, *International Journal of Food Microbiology*, 55 (1-3): 187-192
131. Varriano-Marston, E., Hsu, H. i Mahdi, J. (1980): *Rheological and structural changes in frozen dough*, *Baker's Digests*, 54 (1): 32-34
132. Walker, C.E. i Hazelton, J.L. (1996): *Dough rheological tests*, *Cereal Foods World*, 41 (1): 23-28
133. Wang, L. i Sun, D-W. (2003): *Recent developments in numerical modeling of freezing and cooling processes in food industry-a review*, *Trends in Food Science and Technology*, 14 (10): 408-423
134. Ward, F. i Andon, S. (1993): *The use of gums in bakery foods*, *AIB Tech. Bull.*, 15: 1-8

135. Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F. i Bermúdez-Aguirre, D. (2005): *Transport phenomena in food engineering: basic concepts and advances*, Journal of Food Engineering, 67 (1-2):113-128
136. Wolt, M. i D'Appolonia, B. (1984b): *Factors involved in the stability of frozen dough. II. The effects of yeast type and dough additives of frozen dough stability*, Cereal Chemistry, 61 (3): 213-221
137. Wood, G.J.B.: *Microbiology of fermented foods*, Chapman and Hall, London, 1998.
138. Zounis, S., Quail, K.J., Wootton, M., Dickson, M.R. (2002): *Effect of Final Dough Temperature on the Microstructure of Frozen Bread Dough*, Journal of Cereal Science, 36 (2): 135-146
139. Žeželj, M.: *Tehnologija žita i brašna: prerada brašna*, Glas javnosti, Beograd, 2005.

## Универзитет у Новом Саду

## Кључна документацијска информација

Редни број: РБР	
Идентификациони број: ИБР	
Тип документације: ТД	Монографска документација
Тип записа: ТЗ	Текстуални штампани материјал
Врста рада (дипл., маг., докт.): ВР	Докторска дисертација
Име и презиме аутора: АУ	Јелена Додић
Ментор (титула, име, презиме, звање): МН	Др Стеван Попов, ванредни професор
Наслов рада: НР	.1.1.ОПТИМИЗАЦИЈА ТЕХНОЛОШКОГ ПОСТУПКА ПРИПРЕМЕ КВАСНОГ ТЕСТА ЗА ЗАМРЗАВАНЕ ПЕКАРСКЕ ПРОИЗВОДЕ
Језик публикације: ЈП	српски
Језик извода: ЈИ	срп. / енг.
Земља публикавања: ЗП	Србија
Уже географско подручје: УГП	Војводина
Година: ГО	2007.
Издавач: ИЗ	ауторски репринт
Место и адреса: МА	Србија, 21000 Нови Сад, Булевар Цара Лазара 1
Физички опис рада: ФО	7 поглавља /111 страница /41 слика /32 табеле / 139 референци
Научна област: НО	Биотехнологија
Научна дисциплина: НД	Технологија микробиолошких процеса
Предметна одредница, кључне речи: ПО	замрзавано тесто, квасац, хидроколоиди, готови пекарски производи
УДК	
Чува се: ЧУ	У библиотеци Технолошког факултета у Новом Саду, Србија, 21000 Нови Сад,

	Булевар Цара Лазара 1
Важна напомена: ВН	Нема
Извод: ИЗ	<p>Савремено пекарство у нашој земљи, још увек, у највећој мери подразумева производњу хлеба и пекарских производа <i>in situ</i>. Припрема пекарских производа у кућним условима своди се, готово искључиво, на мешање према традиционалном моделу. Овакво понашање пекара и потрошача делимично је последица навика, али и изузетно лоше снабдевености нашег тржишта замрзнутим пекарским производима добијеним од квасног теста, као и сировинама намењеним за производњу истих.</p> <p>Циљ истраживања обухваћених докторском дисертацијом усмерен је ка дефинисању и унапређењу услова производње и финализације замрзнутих пекарских производа непосредно пред употребу, у близини корисника или од стране самог корисника. Добијени резултати требало би да дају допринос бољем разумевању феномена који се дешавају у поступку замрзавања/одмрзавања теста. Модификација постојеће, код нас примењиване технологије, у смислу примене одабраних сојева квасца, одабраног режима замрзавања/одмрзавања и дужине чувања теста у замрзнутом стању, као и примене одабраних додатка тесту, требало би да резултује пекарским производима добијеним од замрзаног теста чије су технолошке и сензорне карактеристике побољшане.</p> <p>Испитан је сировински састав теста и квалитет употребљених сировина карактеристичан за наше поднебље са аспекта њихове примене у производњи замрзаног теста, о чему нема публикованих резултата. Доказана је могућност употребе комерцијалног пекарског квасца и комерцијалног брашна које по садржају и квалитету глутена не одговара у потпуности литературним препорукама.</p> <p>Предложене су математичке релације које омогућавају предвиђање трајања операција замрзавања и одмрзавања квасног теста у дефинисаним условима који су уобичајени у пекарској производњи, о чему нема литературних података. Дефинисани су оптимални услови замрзавања и одмрзавања квасног теста који омогућавају очување активности квасца у замрзаном тесту на прихватљивом нивоу.</p> <p>На основу активности квасца у замрзаном тесту са хидроколоидима, матурографских и екстензограмских показатеља квалитета као и његове микроструктуре доказан је позитиван утицај додатка хидроколоида у замрзано тесто са аспекта његовог квалитета. Јасно изражене промене микроструктуре замрзнутог теста током његовог складиштења доприносе разумевању феномена који се дешавају у тесту услед његовог замрзавања, одмрзавања и складиштења у замрзнутом стању до 28 дана, као и интеракција између конституента теста и додатих хидроколоида.</p> <p>Доказано да је за припрему замрзаног теста могуће користити сировине чији квалитет није оптималан, али да се тиме значајно скраћује период складиштења у коме не долази до неприхватљиве деградације његовог квалитета са неколико седмица колико препоручује литература, на свега 7 до 14 дана.</p> <p>Квалитет готовог пекарског производа добијеног од замрзаног теста које се састоји од сировина уобичајено присутних на нашем тржишту, а које је припремљено уз предложене минималне модификације традиционалног начина припреме хлеба, задовољавајући је из угла конзумента.</p>
Датум прихватања теме од стране Сената Универзитета у Новом Саду: ДП	22. 03. 2007. године
Датум одбране: ДО	
Чланови комисије: (име и презиме / титула / звање / назив организације / статус) КО	<p>Др Стеван Попов, ванредни професор, Технолошки факултет, Нови Сад, ментор Др Јасна Мاستиловић, виши научни сарадник, Научни институт за прехранбене технологије, Нови Сад, председник Др Миодраг Лазић, редовни професор, Технолошки факултет, Лесковац, члан</p>

University of Novi Sad

Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	PhD thesis
Author: AU	Jelena Dodić
Mentor: MN	Dr Stevan Popov, Associate Professor
Title: TI	Optimization of technological process of yeast dough preparation for frozen baker's products
Language of text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	English / Serbian
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2007
Publisher: PU	Author reprint
Publication place: PP	Serbia, 21000 Novi Sad, Bulevar Cara Lazara 1
Physical description: PD	7 volumes / 111 pages / 41 figures / 32 tables / 139 references
Scientific field SF	Biotechnology
Scientific discipline SD	Microbiological Processes Technology
Subject, Key words SKW	frozen dough, yeast, hydrocolloids, final baker's product
UC	
Holding data: HD	Library of Faculty of Technology, Serbia, 21000 Novi Sad, Bulevar Cara Lazara 1

Note: N	None
Abstract: AB	
Accepted on Scientific Board on: AS	22.03.2007.
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	PhD Stevan Popov, Associate professor, Faculty of Technology, Novi Sad, supervisor PhD Jasna Mastilović, Research associate, chairman PhD Miodrag Lazić, Professor, Faculty of Technology, Leskovac, member