

# **Vliv přídavku vody a doby hnětení na reologické vlastnosti těsta**

Bc. Vít Kundera

---

Diplomová práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Vít Kundera  
Osobní číslo: T18269  
Studijní program: N2901 Chemie a technologie potravin  
Studijní obor: Technologie potravin  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: Vliv přídavku vody a doby hnětení na reologické vlastnosti těsta

### Zásady pro vypracování

#### I. Teoretická část

1. Složky těsta a jejich funkční vlastnosti
2. Přídavek vody do těst
3. Distribuce vody mezi složkami těsta
4. Způsoby měření reologických vlastností těsta

#### II. Praktická část

1. Charakteristika použitých surovin
2. Metody měření reologických vlastností těst
3. Popis získaných výsledků
4. Diskuse výsledků s literaturou
5. Formulace závěrů plynoucích z práce

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] FARIDI, H., FAUBION, J. M. (2012). Dough rheology and baked product texture. Springer Science Business Media.
- [2] MONDAL, A., DATTA, A. K. (2008). Bread baking a review. Journal of Food Engineering, 86 (4), 465-474.
- [3] SCHIRALDI, A., FESSAS, D. (2012). The role of water in dough formation and bread quality. In Breadmaking (pp. 352-369). Woodhead Publishing.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**  
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **17. února 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Práce pojednává o vlivu přídatku vody a doby hnětení na reologické vlastnosti těsta. Pro testování byla využita hladká mouka rýžová. Termomechanickému měření bylo podrobena vždy 5 těst. Každé těsto obsahovalo jiné množství vody. Přídatky vody byly vždy voleny menší než navážka mouky. Vzniklá těsta byla podrobena termomechanickému měření. Veškerá měření byla prováděna na přístroji Mixolab 2 od společnosti Chopin Technologies. Bylo zjištěno, že při zkoumání reologických vlastností rýžového těsta, je vhodnější používat 120 ot./min. Byl potvrzen vliv přídatku vody i doby hnětení na reologické vlastnosti těst se spolehlivostí 95 %.

Klíčová slova: bezlepkové těsto, Mixolab, termomechanické měření, rýžová mouka

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the effect of added water and kneading time on rheological properties of dough. For the purposes of testing, fine milled rice flour was used. 5 doughs were subjected to each thermomechanical measurement. Each dough contained a different amount of water. The amount of added water was always smaller than the amount of flour. The produced doughs were subjected to thermomechanical measurement. All measurements were done on an instrument Mixolab 2 by Chopin Technologies. During the examination of rheological properties of rice dough it has been found that it is more suitable to use 120 rpm. The effect of water addition and kneading time on the rheological properties of the dough was confirmed with 95% reliability.

Keywords: gluten-free dough, Mixolab, termomechanical measurement, rice flour

Děkuji paní doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. své vedoucí mé diplomové práce za poskytnuté rady, připomínky a čas, který mi věnovala při zpracování této práce a umožnění prozkoumání vlastností rýžového těsta na přístroji Mixolab. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Romaně Šebestíkové a Ing. Monice Augustové za seznámení měření na přístroji Mixolab 2.

*Žádná překážka není dostatečně velká, aby nešla překonat.  
Jediná proměnná jest čas strávený nad jejím překonáním.*

Bc. Vít Kundera 2020

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 SLOŽKY TĚSTA A JEJICH FUNKČNÍ VLASTNOSTI</b> .....	<b>12</b>
1.1 MOUKA .....	12
1.1.1 Sacharidy .....	12
1.1.2 Bílkoviny .....	14
1.1.3 Enzymy .....	15
1.1.4 Tuky .....	15
1.1.5 Minerální látky .....	15
1.2 VODA .....	15
<b>2 PŘÍDAVEK VODY DO TĚST A DISTRIBUCE VODY MEZI SLOŽKAMI TĚSTA</b> .....	<b>17</b>
2.1 VLIV PŘÍDAVKU RŮZNÉHO MNOŽSTVÍ VODY .....	17
2.2 DISTRIBUCE VODY MEZI SLOŽKAMI TĚSTA .....	17
<b>3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ TĚST</b> .....	<b>20</b>
3.1 FARINOGRAF .....	21
3.2 EXTENZOGRAF .....	22
3.3 ALVEOGRAF .....	22
3.4 MIXOGRAF .....	22
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>25</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>26</b>
<b>5 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH SUROVIN</b> .....	<b>27</b>
<b>6 METODIKA</b> .....	<b>28</b>
6.1 MĚŘENÍ NA MIXOLABU .....	28
6.2 VYHODNOCOVÁNÍ .....	28
6.2.1 Rozdělení na jednotlivé fáze dle lokálních extrémů .....	30
6.2.2 Vyřazení fází, které obsahovali neměřitelná data .....	30
6.2.3 Linearizace jednotlivých fází .....	30
6.2.4 Korelační analýza linearizovaných hodnot .....	30
6.2.5 Hodnocení rychlosti změny konzistence jednotlivých fází.....	31
6.2.6 Hodnocení vlivu přídatku vody.....	33
<b>7 METODY MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ TĚST</b> .....	<b>35</b>
7.1 PROTOKOL CHOPIN S .....	35
7.2 PROTOKOL CHOPIN .....	35
7.3 PROTOKOL CHOPIN+ .....	36
7.4 PROTOKOL RICE1 .....	38
<b>8 POPIS ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>39</b>



8.1	VÝSLEDKY CHOPIN S .....	39
8.1.1	Korelační analýza.....	39
8.1.2	Vliv přídavku vody .....	42
8.1.3	Vliv doby hnětení.....	43
8.2	VÝSLEDKY CHOPIN .....	45
8.2.1	Korelační analýza vývoje těsta protokolu Chopin .....	47
8.2.2	Korelační analýza denaturace bílkovin protokolu Chopin.....	48
8.2.3	Korelační analýza želatinace škrobu a amylázové aktivity.....	49
8.2.4	Rychlost změny konzistence .....	50
8.2.5	Vliv přídavku vody .....	52
8.3	VÝSLEDKY CHOPIN+ .....	53
8.3.1	Korelační analýza fáze vývoje těsta protokolu Chopin+ .....	54
8.3.2	Korelační analýza fáze denaturace bílkovin protokolu Chopin+ .....	55
8.3.3	Korelační analýza želatinace škrobu, amylázové aktivity a retrogradace těsta s 60% přídavkem vody .....	56
8.3.4	Rychlost změny konzistence těsta dle protokolu Chopin+ .....	57
8.3.5	Vliv přídavku vody .....	59
8.4	VÝSLEDKY RICE1 .....	61
8.4.1	Korelační analýza vývoje těsta protokolu Rice1 .....	65
8.4.2	Korelační analýza denaturace bílkovin protokolu Rice1 .....	65
8.4.3	Korelační analýza želatinace škrobu protokolu Rice1 .....	66
8.4.4	Korelační analýza fáze amylázové aktivity protokolu Rice1 .....	67
8.4.5	Korelační analýza retrogradace protokolu Rice1 .....	68
8.4.6	Rychlost změny konzistence těsta dle protokolu Rice1 .....	69
8.4.7	Vliv přídavku vody .....	71
<b>9</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ S LITERATUROU A FORMULACE ZÁVĚRŮ PLYNOUCÍ Z PRÁCE .....</b>	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
9.1	CHOPIN S.....	44
9.2	CHOPIN A CHOPIN+ .....	60
9.3	RICE1 .....	73
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Celiakie nebo téže glutenová enteropatie je genetické celoživotní chronické onemocnění, které má za následek rozsáhlou destrukci sliznice tenkého střeva. Ačkoliv postihuje stále větší počet populace nejedná se o nové onemocnění. Tímto onemocněním trpí přibližně 1 osoba ze 100. Při požití běžného pečiva je do organismu přijímán lepek. Žaludečními enzymy je natráven, tzn. molekula lepku je působením žaludečních enzymů rozdělena na jednotlivé peptidy, které za normálních okolností jsou stráveny v tenkém střevu. Ovšem při celiakii tyto lepkové peptidy napadá imunitní systém, při čemž je zasažena i sliznice tenkého střeva. Což způsobí úbytek mikrokřků a klků. To znamená, že se razantně zmenší vnitřní povrch střevní výstelky. Následkem čehož je i omezeno vstřebávání všech živin. Současná medicína nezná léčbu jako takovou. Jediná účinná terapie je celoživotní bezlepková dieta. Ovšem tvorba bezlepkového pečiva je obrovskou výzvou z hlediska technologie. Od počátků průmyslové revoluce byly vytvářeny technologie pro tvorbu pečiva obsahujícího lepek. Pšenice je nejpěstovanější cereálií světa. Těsta obsahující lepek mají optimální viskoelastické vlastnosti. Bylo vytvořeno velké množství hodnotících a zpracujících metod pro tato těsta. Ovšem těsta neobsahující lepek mají mnohem kratší řetězce vzniklé bílkovinné matrice. A také zcela odlišné chování, při působení mechanického namáhání a změn teplot. Bezlepková těsta jsou stále velmi málo prozkoumána.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 SLOŽKY TĚSTA A JEJICH FUNKČNÍ VLASTNOSTI

Těsto je směs rozemletého endospermu většinou jednoho druhu obiloviny s vodou za dodání mechanické energie. První hmota, která by se dala považovat za těsto, vytvořil pravděpodobně jeskynní člověk. Poté nejspíše zjistil, že když toto prvotní těsto zahřeje, nabude na objemu. Takový výrobek lze považovat za prvotní chléb [1].

Jakmile se mouka smíchá s vodou vzniká těsto. U běžných pšeničných těst vzniká nejprve velmi vlhká a lepivá pasta, která na sebe nabaluje zbylou mouku. Takto dojde k vypracování těsta požadované konzistence. Konzistenci těsta ovšem silně ovlivňuje poměr přidané mouky ku vodě a téže rychlost během přípravné fáze hnětení těsta [2].

V těstě obsahujícím lepek vlivem hydratace bílkovin a energie poskytované hnětením se tvoří viskoelastická síť tvořená spojením bílkovinných frakcí gliadinu (prolamin) a glutelinu. Nicméně tato práce je cílena sledování bezlepkového těsta z hladké rýžové mouky. Zpracování bezlepkového těsta a následné pečení je stále velkou výzvou [3].

## 1.1 Mouka

Hydratační vlastnosti mouky se zvyšují se zvětšujícím se povrchem frakcí rozemletého endospermu rýžového zrna. Čím jsou frakce menší, tím se zvětšuje jejich povrch. To v praxi znamená větší plochu pro absorbování vody [4]. Nicméně rýžová mouka je zajímavá právě svým chemickým složením. Neboť z běžně používaných mouk má největší zastoupení sacharidů a to až 80 %. Zato bílkovin obsahuje většinou méně než 8 %. Dále jsou zde zastoupeny tuky a minerální látky [5].

Nicméně chemické složení zrna je velmi významně ovlivněno podmínky během pěstování [6].

### 1.1.1 Sacharidy

Sacharidy jsou v rýžové mouce obsaženy cca z 80 %. Rozdělují se na mono-, oligo-, polysacharidy a složené sacharidy. Nejvíce vázaným monosacharid je glukóza. Při spojení velkého množství glukózy (až 1000 jednotek) vzniká velmi významný zásobní polysacharid rostlin škrob. Monosacharidy a oligosacharidy tvoří v mouce při správném skladování cca 1 % všech sacharidů. Polysacharidy jsou nejvíce zastoupenými sacharidy v mouce [5].

## **Škrob**

Škrob je primární složkou pečiva. Je velmi podstatný při určování struktury pečiva a mechanických vlastností, které jsou důležitější při pečení bez lepku [7].

Škrob je v mouce obsažen v tzv. škrobových granulích. Škrobové granule rýžové mouky tvarem připomínají mnohostěn. Vyskytují se zde celé a poškozené granule. Poškozené granule vznikají během procesu mletí zrna. Jejich velikost nelze jednoznačně určit.

Škrobové granule se skládají z dvou hlavních podjednotek amylozy a amylopektinu. Amylóza je převážně lineární řetězec skládající se ze základních jednotek glukózy. Obsahuje 1000–2000 jednotek glukózy. Tento řetězec bývá svinut v levotočivou šroubovici. Téměř není rozvětven.

Amylopektin se také skládá z jednotek glukózy. Obsahuje ovšem 50000-1000000 jednotek glukózy. Molekula amylopektinu je vysoce rozvětvena [8].

### Bobtnání

Při styku vody se škrobovými granulami dojde k procesu zvanému bobtnání granulí. Granule přijímají do své struktury vodu a zvětšují svůj objem. Tento proces je vratný. Při zahřívání od určité teploty přechází zvolna bobtnání ve velmi významný proces zvaný mazovatění anebo také želatinace [5].

### Želatinace (mazovatění)

U rýžového škrobu je počáteční želatinační teplota při 66 °C. Jak se zvyšuje teplota přerušují se stávající vazby v granulích. Molekuly vody se dostávají do granulí, tím je rozvolňují a interagují s jejich jednotkami. Hydratované řetězce se od sebe začnou oddělovat. Granule intenzivně zvětšují svůj objem. Některé molekuly amylozy a amylopektinu se dostávají na povrch. Při dosažení střední želatinační teploty 72 °C jsou molekuly amylozy uvolněny do prostředí, kde jsou zcela hydratovány. Do prostředí se dostane i několik molekul amylopektinu. Takto se velmi zvýší viskozita prostředí a vzniká škrobový maz. Ve velmi zvětšených škrobových granulích se nachází především amylopektin a zbytek amylozy. Při konečné teplotě želatinace, která u rýžového škrobu nastává při 78 °C viskozita klesá díky ztrátě integrity granulí [9].

## Retrogradace

Ovšem ochlazením viskozita opět roste, neboť dochází k obnově vodíkových vazeb mezi amylopektinem a amylozou. Nyní dochází k asociaci mezi amylozami. Molekuly amylozy jsou opět k sobě poutány vodíkovými vazbami. Tím jsou redukována místa pro vazbu vody. Voda je vypouštěna do okolí. To má za následek „zahuštění“ gelové matrice a tím zvýšení viskozity systému [5].

## **Arabinoxylany**

Arabinoxylany jsou dalšími důležitými polysacharidy ve všech významných obilných zrnech. V obilovinách se nacházejí v endospermu a též ve vnějších částech směrem od středu. Skládají se z páteřních řetězců  $\beta$ -(1-4) – D- oxylopyranosy, které jsou převážně rozvětveny s  $\alpha$ -L-arabinofuranózou. Arabinoxylany jsou rozdělovány dle své rozpustnosti ve vodě. Na arabinoxylanech je občas navázána kyselina ferulová prostřednictvím esterové vazby. Taková sloučenina je poté nazývána feruloyl arabinxylan. Tato sloučenina má funkční vlastnosti, jakožto antioxidant a látka zvyšující gelovou kapacitu. Dimerací kyseliny ferulové se tvoří trojrozměrná síť [10].

### **1.1.2 Bílkoviny**

Bílkoviny jsou základní stavební kameny živých soustav. Bílkoviny nebo též proteiny jsou polymery aminokyselin. Vznikají procesem proteosyntézy. Dle Osbornova rozdělení bílkovin dle rozpustnosti se dělí na albuminy (rozpustné ve vodě), globuliny (rozpustné ve zředěných roztocích solí), gluteliny (rozpustní ve zředěných kyselinách, zásadách a solných roztocích) a prolaminy (rozpustné v alkoholu) [5].

Rýžová mouka obsahuje 6–7 % bílkovin. Jejíž bílkovinné složení se pohybuje v následujícím rozmezí [11]:

Albuminy: 4–6 %

Globuliny: 3–13 %

Gluteliny: 79–83 %

Prolaminy: 2–7 %

Při styku vody s bílkovinami rýže dojde k jejich hydrataci a vlivem hnětení ke vzájemnému spojování. Při dostatečné hydrataci vznikne viskoelastická (hmota jež kombinuje vlastnost viskózní, tj. tokovou a elastickou, tj. pružnou) síť, která je nezbytná pro zachování plynů.

Plyny tvoří relativně malé póry během fáze hnětení, když je plně vyvinutá bílkovinná síť. Vytvoření plynových pórů v těstě je velmi zásadní pro vlastnosti konečného produktu. Ovšem bílkovinná síť vzniklá z rýžové mouky má cca 1000krát kratší řetězce oproti pšeničnému těstu, kde viskoelastickou síť zajišťuje lepek [12].

### **1.1.3 Enzymy**

Rýžová mouka také obsahuje enzymy. Enzymy jsou látky bílkovinné povahy. Ve své podstatě se jedná o bílkoviny s katalytickou aktivitou. Katalytická aktivita je děj, při kterém dochází k reakci vyžadující katalyzátor, v tomto případě enzym a látku vhodnou pro daný enzym. Při vlastní reakci se enzym nespotřebovává. Z reakce může vyjít ve stejném či podobném stavu, jak do ní vešel. Ačkoliv se enzymy během svých katalytických dějů sami nespotřebovávají, mohou být poškozeny až inaktivovány stejnými vlivy jako bílkoviny (např. vysoká teplota → pro bílkoviny označena jako denaturační teplota). Ovšem také mají své teplotní optimum, kdy je jejich aktivita nejvyšší [13].

Nejvýznamnějšími enzymy během procesu tvorby pečiva jsou amylázy. Amylázy jsou enzymy štěpící zásobní polysacharid škrob na disacharidy. Konkrétně štěpí škrobový lineární řetězec amylózu. Dle specifického místa, kde na amylóze dojde ke štěpení, se amyláza dále dělí. Největší význam mají  $\alpha$ -amyláza a  $\beta$ -amyláza.  $\alpha$ -amyláza štěpí molekulu amylózy uprostřed řetězce, což má za důsledek ztekucení celého systému, v němž se nacházejí.  $\beta$ -amyláza štěpí molekulu amylózy od konce, což má za následek tzv. zcukření [14].

### **1.1.4 Tuky**

Rýžová mouka většinou přirozeně obsahuje méně jak 1 % tuků. V takto malém množství nemá přítomnost tuků význam během zpracování [15].

### **1.1.5 Minerální látky**

Minerální látky obsažené v rýžové mouce jsou především soli. Ty způsobují ztuhnutí obsažené bílkoviny. Což je ovšem významné od množství 2 % soli v těstě. Obsah soli v rýžové mouce se pohybuje okolo 0,06 % [16].

## **1.2 Voda**

Jak již bylo zmíněno pro vytvoření základního těsta je druhou nezbytnou surovinou voda. Voda při styku s moukou okamžitě začne v největší míře hydratovat přítomné bílkoviny,

dále rozpouštět látky v ní rozpustné (jednoduché sacharidy, soli). Hydratuje odhalené škrobové granule. Při pokojové teplotě nejrychleji přijímají vody poškozené škrobové granule. Voda musí být zdravotně nezávadná, pro použití v potravinářském průmyslu [5].



## **2 PŘÍDAVEK VODY DO TĚSTA A DISTRIBUCE VODY MEZI SLOŽKAMI TĚSTA**

Jak již bylo zmíněno nejjednodušší těsto je viskoelastická látka vytvořená smísením vody a mouky. Jednotlivé složky mouky významně ovlivňují reologické chování výsledného těsta, jakožto i přídavek vody. Chování jednotlivých složek obsažených v mouce (oryzenin, škrobové granule, amylázy), můžeme ovlivnit nepřímo během vývinu těsta. To lze ovlivnit přímo množstvím přidané vody do navážky mouky, rychlost hnětení a teplotu během hnětení [17].

### **2.1 Vliv přídavku různého množství vody**

Dle mnoha výzkumů je známo, že přídavek vody do těsta ovlivňuje jeho chování při zpracování, ať už se jedná těsto s lepkovou či bezlepkovou strukturou. Také má vliv na výsledný produkt. Reologické vlastnosti těsta obvykle souvisejí s ukazateli kvality konečných produktů. Výběrem jednotlivých operací zpracování a volby surovin značně ovlivníme chování těsta během zpracování a výsledný produkt [18]. Při velkém přídavku vody se výsledný chléb z rýžové mouky zhroutlí vlivem tlaku vznikající vodní páry. V bochníku vzniknou průduchy vedoucí na povrch, kterými plyn unikne. To způsobí malý objem výsledného chlebu [19].

Ovšem množství přidané vody do těsta není jediným určujícím faktorem výsledného bochníku. Během hnětení těsta musí být voda absorbována vhodnými nosiči, kteří ji uvolní při pečení v potřebném množství a v určitý okamžik. To by mohlo zajistit dostatečné množství vody, které potřebuje škrob pro vytvoření konečné struktury chlebu. Zároveň toto uvolněné množství vody během pečení musí být natolik dostatečné, aby se zvětšily póry zabudované během hnětení těsta. Nicméně vodní páry nesmí být tolik, aby vznikly kaverny anebo výdutě [19, 20].

### **2.2 Distribuce vody mezi složkami těsta**

Distribuci vody zajišťuje hnětení. Pohybem hnětacího háku se voda dostává ke všem složkám mouky a lze vidět, jak vzniká těsto. Ovšem mouka je polydisperzní systém, který se skládá převážně ze sacharidů a bílkovin. Rýžovou mouku lze dělit dle velikosti částic na hrubou, polohrubou a hladkou. Hladká mouka má největší zastoupení částic o velikosti přibližně 200  $\mu\text{m}$ . Protože tyto částice pochází z rozemletého endospermu obiloviny, jejich složení není stejné. Mohou se zde nacházet jednotlivé částice s převažujícím obsahem

bílkovin nebo sacharidů, ale také částice obsahující převážně jen sacharidy či bílkoviny. Minoritně obsahují tuky, minerální látky a vitaminy [20].

Při styku vody s moukou se začínají hydratovat bílkoviny a poškozené škrobové granule bobtnat. Ale pouze v případě, že je voda ve styku s těmito složkami. Dále se hydratují arabinoxaly. Do matrice jsou zakomponovány všechny složky obsažené v mouce. Vzniká těsto. Dochází k zabudování plynových pórů do těsta. Voda je v této fázi rovnoměrně rozdělena po celém objemu těsta. Největší množství vody pohltily bílkoviny [21].

Vytvoření 3D sítě brání dosažení skutečné termodynamické rovnováhy mezi koexistujícími fázemi těsta, protože rozdělení vody brání viskozita systému. Když probíhá hnětení je do těsta předávána mechanická energie. Polymerní řetězce mají tendenci se vyrovnat podél hlavního smykového směru. Struktura se uspořádá a umožňuje další interakce mezi řetězci (např. zvýšení počtu vodíkových vazeb). Pokud nedochází k želatinaci škrobu (50 - 60 ° C), tak škrobové granule se chovají jako ložiska, která aktivně přispívají k přetvoření bílkovinné matrice. Bílkovinná matrice tvoří vrstvy, které obalují škrobové granule. Snímky z čerstvě připraveného nefermentovaného těsta pořízené pomocí elektronové mikroskopie skutečně ukazují zdánlivě kontinuální proteinovou fázi s homogenně dispergovanými škrobovými granulemi. Takto to ovšem funguje u lepkové sítě [22].

Těsto je tedy polydisperzní systém tvořený několika fázemi, z nichž každá absorbovala jiné množství vody a má velké množství dané složky těsta (bílkoviny, škrobové granule, neškrobové sacharidy). Těsto je metastabilně rozptýlený systém s obrovským mezifázovým povrchem. Přes tento povrch se voda může pohybovat z jedné fáze do druhé za splnění určitých podmínek [23].

Hlavním parametrem této fázové separace je rozdíl mezi vyloučenými objemy polymerních složek těsta. Termodynamická nekompatibilita mezi hlavními dvěma polymery (bílkovina, škrob) způsobuje jejich neschopnost vzájemného propojení. Mezi oddělenými fázemi se vytvářejí jemné emulze typu voda ve vodě (1-5  $\mu\text{m}$  kapičky), které obsahují hydrofobní sloučeniny (tuky, globulární proteiny). Zde výměna vody má osmotickou povahu. Ve standardním těstě mohou tyto kapičky podstoupit částečnou koalescenci, což vede k doménám, které se chovají jako hydrofobní tělíška oddělená mezifázovou vrstvou. Tyto sloučeniny tedy hrají klíčovou roli při stabilizaci velikosti a distribuce plynových pórů, které přímo ovlivňují objem a strukturu finálního pečeného produktu. Během distribuce těchto složek a při zabudovávání plynových pórů dochází k poklesu konzistence [24].

K další distribuci vody dochází až po zahřátí systému. Po dosažení denaturační teploty bílkovinné matrice je uvolněna voda, která je využita pro želatinaci, při dosažení želatinační teploty (cca 60 °C). Jak se zvyšuje teplota těsta a přibývá vody, škrobové granule začínají bobtnat a poté praskat. Další vodu pro želatinaci uvolňují arabinoxilany. Ovšem u rýžového těsta je množství uvolněné vody nedostatečné. Želatinace proběhne v malé míře, než by mohla. V těstě dojde k velkému zvýšení konzistence, které zapříčiňuje uvolňování molekul amylóz [25].

Voda se z denaturovaných bílkovin pohybuje směrem k nejhladnějším částem. Zároveň jsou velmi aktivní amylázy.  $\beta$ -amyláza způsobuje zcukření amylózy. Její optimální teplota je 62 – 64 °C. Bývá inaktivována při teplotě 65 °C. Ovšem jejím inaktivování dojde s posunutím inaktivační teploty  $\alpha$ -amyláza a tím vydrží vyšší teplotu. Optimální teplota pro  $\alpha$ -amylázu bude tedy 72 – 75 °C. K inaktivaci dochází při teplotě 80 °C [26].

Amylózy a amylopektin nyní tvoří novou matici. Jejich stupeň hydratace je nyní nejvyšší. Poté dochází k ochlazení. Amylóza i amylopektin začínají vlivem ochlazení vytvářet uspořádané struktury. Tím přicházejí o vodu, která se odpařuje. Vytváří konečnou strukturu pečiva [27].

### 3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ TĚST

Reologie je vědní obor zabývající se tokem a deformací látek, jež se nacházejí v přechodové oblasti mezi pevným a kapalným skupenstvím. Reologie je v podstatě snahou definovat vztah mezi napětím působícím zkoušený materiál a jeho výslednou deformací anebo popřípadě tokem. Reologické vlastnosti jsou určeny měřením síly a deformace jako funkce času. Základní pojmy jako je napětí (síla na plochu) a namáhání (deformace na délku) jsou klíčem ke všem reologickým hodnocením [28].

Existuje mnoho zkušebních metod používaných k měření reologických vlastností těst. Prozatím nebyla vyvinuta specializovaná metodika pro měření bezlepkových těst. Stále se využívají technologie měření pro těsta obsahující lepek. Z mnoha výzkumů v posledních letech vyplývá, že lze současné měřicí přístroje přizpůsobit úpravou nastavení. Hlavní metody tradičně používané pro měření vlastností obilovin jsou uvedeny v Tabulce č. 1 níže. Lze je rozdělit do dvou skupin, a to sice na empirické metody a základní metody. Empirické metody jsou vhodné, pokud jejich výsledná data korelují s vlastností, kterou se snažíme zjistit. Zatímco základní metody jsou založené na dobře známých fyzikálních rovnicích [29].

Tabulka 1a Metody měření reologických vlastností těst

	Metoda	Produkt	Měřená vlastnost
Empirické metody	Míchačka: farinograf, mixograf	Těsto	Zdánlivá viskozita času míchání/točivého momentu
	Extenzograf	Těsto	Prodloužení
	Taxt2/Kieffer Rig	Těsto, lepek	Prodloužení
	Alveograf	Těsto, lepek	Prostorová deformace
	Amylograf, RVA	Pasty, suspenze	Zdánlivá viskozita, teplota mazovatění
	Konzistograf	Omáčka, výplň	Zdánlivá viskozita
	Výtokový pohárek	Kapaliny, omáčky, lité těsto	Zdánlivá viskozita
	Fermentometrie	Těsto	Výška, objem

Tabulka 1b Metody měření reologických vlastností těst

Základní metody	Dynamická oscilace, soustředné válce, rovnoběžné desky	Kapaliny, pasty, litá těsta, těsta	Dynamický smykový modul, dynamická viskozita
	Trubkové viskozimetry: kapilární, tlakové, protlačovací, průtoková potrubí	Kapaliny, omáčky, pasty, těsta	Viskozita
	Přechodný tok: soustředné válce, rovnoběžné desky	Semi-pevné (viskoelastické materiály)	Čas creepu, relaxace
	Rozšíření: jednoosé, dvouosé, systém hnětení těsta	Pevné potraviny, těsta	Viskózní prodloužení, deformační tvrdnutí

### 3.1 Farinograf

Farinograf je jednoznačně celosvětově nejpoužívanější přístroj pro zjištění reologických charakteristik těsta. Přístroj se skládá z hnětací komůrky, ve které se pohybují 2 lopatky stejnou či rozdílnou rychlostí. Přístroj měří v jednotkách tzv. FU (Farinografických jednotek) v závislosti na čase. Vyvíjí dynamickou deformaci. Hlavním výstupem této metody je závislost odporu těsta na čase. Výsledkem této metody je zjištění vhodného poměru mouky a vody. Testování je velmi jednoduché. Do komůrky se nasype testovaný vzorek mouky. Po započítí měření přístroj sám dávkuje vodu do vytvoření těsta o hodnotě 500 FU. Takto se odečte vhodný poměr mouky a vody. Ovšem hodnota 500 FU je dle zkušeností vhodná pro pšeničná těsta. Bohužel konzistence 500 FU u bezlepkových těst není vhodná. Bylo zjištěno, že Farinograf není vhodnou metodou pro zjišťování poměru mouky a vody rýžového těsta [30, 31].

Doba vývoje těsta je to hodnota, která se udává v časových jednotkách. Měření začíná ve chvíli dosažení první nejvyšší konzistence těsta a končí ve chvíli, kdy dojde k prvnímu poklesu maximální konzistence [32].

Stupeň změknutí je rozdíl od chvíle maximální konzistence do konzistence, která nastává ve 12. minutě. 12. minuta je měřena od času, kdy nastala maximální hodnota konzistence. Stupeň měknutí je určen na základě přítomných proteolytických enzymů, které odbourávají bílkoviny. Teplota, při které začínají být aktivní je 30 °C [32].

Stabilita těsta je definována jako chvíle, kdy křivka grafu protne hodnotu 500 FU do chvíle jejího druhého protnutí [33].

### **3.2 Extenzograf**

Extenzograf měří průběh délkové deformace těsta. Těsto se připravuje v hnětací komoře Farinografu. Dále se zpracuje do vhodného tvaru ve skulovači Extenzografu a poté se nechá odležet. Standartní doba odležení je 45; 90 a 135 minut. Takto připravené těsto je dle instrukcí výrobce přístroje uloženo do testovacího místa. Váleček těsta se uprostřed začne napínat hákem, dokud nedojde k prasknutí těsta. Výstupem je extenzograf, z jehož hodnot lze charakterizovat pevnost lepku [34].

### **3.3 Alveograf**

Obdobně jakožto Farinograf je i Alveograf celosvětově populární metodou stanovení reologických vlastností těsta. Nutností je příprava těsta dle předepsané receptury. Těsto je hněteno v hnětači Alveografu. Dále je připraveno a umístěno do přístroje dle instrukcí výrobce. Poté je na něj vyvíjen tlak vzduchu. Těsto se doslova nafoukne. Je vyvíjena statická deformace. Do grafu je zaznamenáván tlak vzduchu až do prasknutí těsta. Z grafu lze odečíst hodnoty tažnosti – L, energii nutnou k deformaci – W a tlak nutný k deformaci – P [35].

### **3.4 Mixograf**

Zařízení Mixolab je schopné měřit fyzikální vlastnosti těsta jako je pevnost a stabilita a také změny konzistence těsta. V zásadě měří odpor těsta vůči stálému hnětení. Odpor, který vyvíjí těsto vůči hnětení se nazývá konzistence. Točivý moment měřený v jednotkách Nm [Newton metr] přímo úměrný konzistenci těsta je během měření zapisován do tabulky a také vykreslen do grafu. Během měření je také sledována teplota těsta [36, 37].

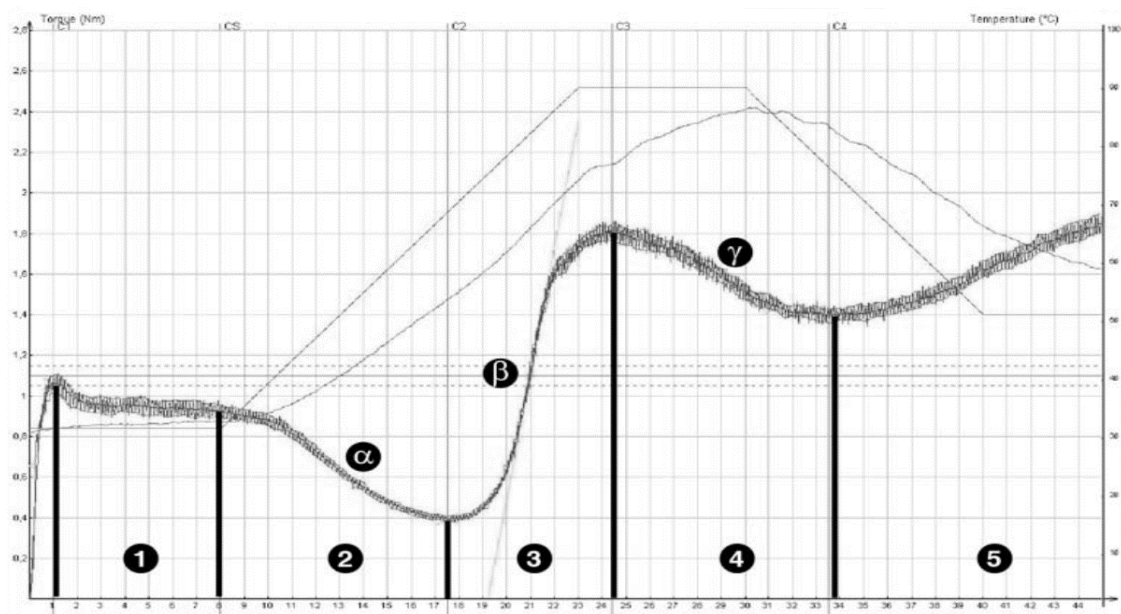
MTI je stupeň mechanické odolnosti. Je měřen od okamžiku, kdy těsto dosahuje nejvyšší konzistence. A končí u hodnoty konzistence, která nastává po 5 minutách. Výsledkem je rozdíl těchto dvou konzistencí.

Cmax je určen jako nejvyšší odpor těsta vůči hnětení.

Vaznost mouky je nejvíce ovlivněna množstvím a kvalitou přítomných bílkovin. Málo ji také ovlivňují arabinoxylany a škrobové granule poškozená mletím.

Mixolab také umožňuje vyhodnotit chování těsta během cyklů zahřívání a chlazení určujících rychlost oslabení proteinů, aktivitu amylázy a také želatinační procesy škrobu. Rychlost oslabení proteinů souvisí s jejich aktivitou a množstvím. Dokud teplota stoupá jsou proteinové vazby přerušeny, a tím dochází k jejich denaturaci. Fyzikální vlastnosti škrobu

také vykazují silnou závislost na teplotě v přítomnosti stanoveného obsahu vody. Během počátečního zahřívání hraje škrob méně důležitou roli než bílkovinná struktura, avšak při zvýšení teploty škrob modifikuje reologii těsta. Želatinace škrobu je velmi důležitým krokem pro strukturu konečného produktu. Během želatinace amyláza štěpí vazby amylozy. Konkrétně působení amylázového enzymu závisí na několika faktorech, jako je obsah amylozy, velikost částic, krystalická struktura, poškození škrobu nebo bobtnání a teplota škrobu. Změny, ke kterým dochází v želatinovaném škrobu během chladicího cyklu z původně amorfního do více uspořádaného nebo krystalického stavu, jsou známé jako retrogradace. Retrogradace škrobu je hlavním faktorem při zastavování výroby pečiva, přestože se na tom podílejí i jiné faktory [38, 39, 40].



Obrázek 1 Vzorová křivka výstupu měření na Mixolabu [38, 39]

## 1. Vývoj

Při konstantní teplotě určuje začátek zkoušky absorpční kapacitu mouky a měří vlastnosti těsta během míchání (stabilita, doba vývoje, absorbovaná síla).

## 2. Snížení obsahu bílkovin ( $\alpha$ )

Když se teplota těsta zvyšuje, konzistence se snižuje. Intenzita tohoto poklesu závisí na kvalitě proteinu.

### 3. Želatinace škrobu ( $\beta$ )

Od určité teploty se jevy spojené se želatinizací škrobu převládají a je pozorováno zvýšení konzistence. Intenzita tohoto zvýšení závisí na kvalitě škrobu a v některých případech na přísadách.

### 4. Amylázová aktivita ( $\gamma$ )

Hodnota konzistence na konci této fáze značně závisí na endogenní nebo přidané amylázové aktivitě. Čím větší je pokles konzistence, tím větší je amylázová aktivita.

### 5. Retrogradace škrobu

Jak dochází k postupnému ochlazení, retrogradace škrobu a konzistence produktu houstne.

Některá aditiva ovlivňují tento jev a omezují jeho význam, čímž oddalují tvrdnutí a zajišťují měkký hotový produkt [38, 39].



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo zjistit reologické chování 5 rýžových těst, u nichž se měnily recepturní množství vody. U těst byla sledována konzistence během měnících se teplotních režimů. Dále byla těsta otestována při stejných teplotních režimech, ale při vyšších otáčkách. Pozorování těchto jevů určí existenci vlivu přídavku vody a doby hnětení na reologické vlastnosti těsta.

Ověřována byla správnost následujících hypotéz:

$H_0$ : Jednotlivá těsta nemají odlišnou konzistenci během sledovaných fází měření na mixolabu.

$H_0$ : Rychlost změny konzistence není výrazně odlišná během sledovaných fází měření na mixolabu.

$H_0$ : Mezi těsty není rozdíl vlivem různých přídavků vody.

## 5 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH SUROVIN

### Rýžová mouka hladká

Pro účely této diplomové práce byla použita rýžová mouka hladká od společnosti ADVENI MEDICAL, spol. s.r.o. Bylo využito 5 kg balení. Surovina byla skladována dle pokynů výrobce (tj. skladováno v suchu, chráněno před teplem). Mouka byla složena ze 100 % mletého zrna loupáné rýže. Mouka obsahovala 0,3 g tuků, 79 g sacharidů z toho 0 g cukrů, 7,0 g bílkovin a 0,03 g soli na 100 g výrobku. Jak uvádí výrobce.

### Destilovaná voda

Jako druhou surovinou, která byla použita, byla destilovaná voda. Teplota vody byla temperována na  $30,0 \pm 0,1$  °C.

Přidávky vody, na výslednou hmotnost těsta 75 g, jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Přidávky vody a navážky rýžové mouky vypočtené softwarem mixolabu

Označení	Vlhkost [%]	Zvolený recepturní poměr mouka : voda	Vypočtené množství surovin	
			Mouka [g]	Voda [g]
90 %	11,2	100 : 96	38,23	36,77
	11,3	100 : 96	38,27	36,73
	11,4	100 : 96	38,32	36,68
	11,7	100 : 95	38,45	36,55
86 %	11,2	100 : 92	39,05	35,95
	11,3	100 : 92	39,10	35,90
	11,4	100 : 92	39,14	35,86
	11,7	100 : 91	39,27	35,73
80 %	11,2	100 : 86	40,35	34,65
	11,3	100 : 86	40,40	34,60
	11,4	100 : 85	40,44	34,56
	11,7	100 : 85	40,58	34,42
70 %	11,2	100 : 76	42,73	32,27
	11,3	100 : 75	42,77	32,23
	11,4	100 : 75	42,82	32,18
	11,7	100 : 75	42,97	32,03
60 %	11,2	100 : 65	45,40	29,60
	11,3	100 : 65	45,45	29,55
	11,4	100 : 65	45,50	29,50
	11,7	100 : 64	45,65	29,35

## 6 METODIKA

Veškeré získané hodnoty byly měřeny na přístroji Mixolab 2 od společnosti Chopin Technologies pomocí ovládacího softwaru. Výsledky byly zaznamenány do tabulky, ze které byly vykresleny jednotlivé grafy. Každé měření bylo provedeno minimálně 2x. Výsledky vykreslené v této práci jsou upravené softwarem Mixolabu 2, jakožto vyhlazená křivka a navíc jsou tyto vyhlazené křivky průměry dvou po sobě jdoucích měření.

### 6.1 Měření na mixolabu

Před každým měřením byla nejprve naměřena vlhkost používané mouky. Vlhkost byla měřena na analyzátoru vlhkosti OHAUS. A byla poté zadána do softwaru mixolabu. Dle zadaných parametrů software vypočetl navážku mouky a množství vody. Mouka byla vážena na laboratorních vahách OHAUS. Voda byla dávkována automaticky mixolabem ze zásobníku. Byla použita destilovaná temperovaná na 30,0 °C. Délka měření, teplota vody a rychlost hnětení závisela na použitém protokolu [38].

### 6.2 Vyhodnocování

Hodnoty získané měřením byly statisticky vyhodnoceny. Naměřená data byla hodnocena v programu excel. Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí dle metodiky Pavlík a Dušek [41] a Hendl 2004 [44]. Pro takové vyhodnocování bylo nutné definovat několik základních pojmů. Je nezbytné definovat první pojem - hypotéza. Hypotéza je tvrzení, jež rozděluje náhodné pozorované veličiny ústící s předchozích zkušeností, na získané znalosti či domněnky. Hypotézy se dále dělí na hypotézu nulovou a hypotézu alternativní [41].

- Nulová hypotéza [ $H_0$ ] předpokládá, že pozorované veličiny se od sebe neliší
- Alternativní hypotéza [ $H_1$ ] říká, že mezi testovanými hodnotami existuje statisticky významný rozdíl
- Hladina významnosti testu [ $\alpha$ ] je jisté riziko zamítnutí hypotéza, která ve skutečnosti platí.
- Síla testu [ $1-\beta$ ] je zamítnutí hypotézy, která neplatí
- Testovací kritérium je hodnota na jejíž výši závisí přijetí či zamítnutí Nulové hypotézy

- Kritická hodnota testovaného kritéria je tabelovaná hodnota závislá na zvolené hladině významnosti testu, s níž se porovnává Testovací kritérium
- Chyba I. druhu – zamítnutí platné hypotézy
- Chyba II. druhu – nezamítnutí neplatné hypotézy
- Pearsnův koeficient [r] – testování existence lineárního vztahu
- Koeficient determinace [R] – míra kvality korelačního koeficientu

Tabulka 3 Možné výsledky statistického testování zvolených hypotéz [41]

Výsledek testu / Rozhodnutí	Přijmutí $H_0$	Zamítnutí $H_0$
Platnost $H_0$	Správné rozhodnutí Spolehlivost testu je $1 - \alpha$	Chyba I. druhu Pravděpodobnost, že chyba nastane je $\alpha$
Neplatnost $H_0$	Chyba II. druhu Pravděpodobnost, že chyba nastane je $\beta$	Správné rozhodnutí Síla testu je $1 - \beta$

Všechny grafy protokolů byly hodnoceny následujícím postupem:

1. Rozdělení na jednotlivé fáze dle lokálních extrémů
2. Vyřazení fází, které obsahovali neměřitelná data
3. Linearizace jednotlivých fází
4. Korelační analýza linearizovaných hodnot
5. Hodnocení rychlosti změny konzistence jednotlivých fází
6. Hodnocení vlivu přídavku vody

Protokol Chopin S, jež farinografickým režimem mixolabu nelze rozdělit na fáze. Byl proto hodnocen jakožto první fáze. U protokolů Chopin, Chopin+ a Rice1 dochází k testování vlivem zahřívání. Software mixolabu automaticky rozděluje křivky na jednotlivé fáze. Ovšem protokoly Chopin a Chopin+ jsou vytvořeny pro pšeničné těsto. Proto nejspíše většina testů byla neměřitelná. Měřitelná těsta software nedokázal správně rozdělit na jednotlivé fáze [39].

### 6.2.1 Rozdělení na jednotlivé fáze dle lokálních extrémů

První fáze byla určena od prvního lokálního maxima křivky až po osmou minutu měření. V osmé minutě měření dochází k prvnímu záhřevu. Zbylé fáze byly určeny dle lokálních extrémů jednotlivých křivek [42].

### 6.2.2 Vyřazení fází, které obsahovali neměřitelná data

Při vyřazování neměřitelných fází byl zpozorován trend. Ten je, že těsto s 60% přídatkem vody bylo měřitelné všemi protokoly [41].

### 6.2.3 Linearizace jednotlivých fází

Na počátku měření ještě nebylo těsto vytvořeno. Při statistických výpočtech, byl tento bod (0;0) vypuštěn. Po vypuštění tohoto bodu bylo možné provést linearizaci. Hodnoty byly linearizovány pomocí funkce =LN(číslo>0) [43].

### 6.2.4 Korelační analýza linearizovaných hodnot

V této části byly vhodně formulovány nulové hypotézy a k nim alternativy. Nejprve je třeba zjistit Pearsnův korelační koeficient. Ten lze jednoduše zjistit pomocí programu Microsoft Excel při zadání hodnot do funkce =correl(matice1;matice2). Z korelačního koeficientu lze snadno vypočítat koeficient determinace jež vyjadřuje míru kvality Pearsnova korelačního koeficientu [r] [41].

Ukázkový výpočet testovacího kritéria pro 90% přídatek vody:

Výpočet koeficientu determinace:

$$R = r^2 \quad (1)$$

r Pearsnův korelační koeficient

$$R_{90\%} = -0,452^2$$

$$R_{90\%} = 0,205$$

Je třeba jednotlivé koeficienty otestovat. Testuje se za pomoci výpočtu testovacího kritéria:

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{N-2} \quad (2)$$

r Pearsnův korelační koeficient

n počet dvojic obou matic

$$t_{90\%} = \frac{|-0,452|}{\sqrt{1 - (-0,452)^2}} \sqrt{30 - 2}$$

$$t_{90\%} = 2,684$$

Poté je třeba zjistit kritickou hodnotu, což jsou kvantily Studentova rozdělení pro N-2 stupni na hladině  $\alpha = 0,05$ . Tato hodnota lze získat pomocí Excelu 2016 po zadání funkce =T.INV.2T( $\alpha$ ;N-2) konkrétněji pro tento případ =T.INV.2T(0,05;31-2). Kritická hodnota pro tento případ je  $t_{\text{krit.}} = 2,045$  [44].

Srovnání Testovacího kritéria pro 90% přídavek vody s Kritickou hodnotou:

$$2,684 < 2,045$$

$$t_{90\%} < t_{\text{krit.}}$$

Dílčí závěr korelační analýzy těsta s 90% přídavkem vody protokolu Chopin S:

Testovací kritérium pro 90% přídavek vody je těsně nad Kritickou hodnotou na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Nulová hypotéza se zamítá. To znamená, že s pravděpodobností na 95 % těsto s 90% přídavkem vody mění svou konzistenci během hnětení. Což nejspíše znamená, že do těsta byly zabudovány plynové póry.

### 6.2.5 Hodnocení rychlosti změny konzistence jednotlivých fází

Rychlost změny konzistence hodnotí to, u kterého těsta došlo dřív či později ke změně termomechanickým působením. Například ve fázi vývoje těsta, nejvyšší hodnota rychlosti změny konzistence značí nejvyšší množství zabudování plynových pórů do těsta. Toto hodnocení bylo zvoleno, neboť software mixolabu nedokázal sám odečíst hodnoty  $\alpha_m$  – denaturace bílkovin,  $\beta_m$  – želatinace škrobu –  $\gamma_m$  amylázová aktivita. Díky linearizaci, se výsledky neshodují s výsledky, které software dokázal odečíst. Nicméně pro vyhodnocení toho, které těsto rychleji dosáhlo sledované fáze, by měli být dostačující.

Díky linearizaci lze vypočíst rychlost změny konzistence. To lze snadno dokázat proložení bodů přímkou pomocí metody nejmenších čtverců. Z této přímky se dá vypočítat její rovnice, která má obecný tvar[45]:

$$y = kx + q \tag{3}$$

Po aplikaci na přímku grafu linearizace se mění na:

$$Torzní\ síla = kt + q \quad (4)$$

Ts Torzní síla [Nm]

t čas [min]

k směrnice přímky [Nm]

q úsek na ose Torzní síly [Nm/min]

Úsek q, je úsek na ose Torzní síly, to znamená, že má stejnou jednotku. Směrnice přímky k je tangens úhlu, který tato přímka svírá při průchodu této přímky osami torzní síly a času.

Obecně je tangens úhlu podíl protilehlé odvěsny ku přilehlé odvěsně. Což znamená, že rychlost poklesu konzistence se rovná směrnici přímky a má jednotku [Nm/min]. Vzhledem k tomu, že záporná směrnice přímky značí přímku klesající a kladná přímku rostoucí, budou uváděny jejich absolutní hodnoty. Směrnice přímky byla zjištěna pomocí funkce =LINREGERESE(matice2;matice1;1;1) v programu Excel. Díky této funkci byly zjištěny rychlosti změny konzistence.

Ovšem takto lze zjistit rychlost změny konzistence, ale již neurčí, které těsto má významně lišící se konzistenci vzhledem k ostatním. Pro toto zjištění je nutné provést Grubbsův test odlehlých hodnot [44].

Hypotéza a alternativa:

H<sub>0</sub>: Rychlost změny konzistence není výrazně odlišná.

H<sub>1</sub>: Rychlost změny konzistence je výrazně odlišná.

$$T = \frac{|k - \mu|}{\sigma} \quad (5)$$

k rychlost změny konzistence [Nm/min]

μ průměr

σ směrodatná odchylka

Výpočet směrodatné odchylky:

$$\sigma = \frac{=smodch.výběr.s(hodnoty)}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

n počet měření

Ukázkový výpočet:



$$T = \frac{|0,003264 - 0,007412|}{0,002713}$$

$$T = 1,52$$

Tato hodnota byla srovnána s kritickou hodnotou. Kritická hodnota byla zjištěna pomocí kvantilů Studentova rozdělení na hladině významnosti 5 %, za použití funkce v programu Excel =TINV(0,05;n-1).

$$T_{krit.} = 2,78$$

$$1,52 < 2,78$$

$$T_{90\%} < T_{krit.}$$

Testovaná hodnota se nachází pod kritickou hodnotou.

Ukázkový dílčí závěr:

Testovací kritérium těsta s 90% přídavkem vody nepřesáhlo kritickou hodnotu. Přijímá se nulová hypotéza a alternativa se zamítá. Se spolehlivostí 95 % testované těsto nemá výrazně odlišnou rychlost změny konzistence. To by se dalo vysvětlit tak, že do těsta bylo zabudováno malé množství plynových pórů.

### 6.2.6 Hodnocení vlivu přídavku vody

Vliv přídavku vody byl hodnocen pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu ANOVA. Nejprve byla stanovena nulová hypotéza a alternativa.

Hypotéza a alternativa vlivu přídavku vody

H<sub>0</sub>: Mezi těsty není rozdíl vlivem různých přídavků vody.

H<sub>1</sub>: Mezi těsty je rozdíl vlivem různých přídavků vody.

Analýza rozptylu byla provedena v programu Excel. Byl hodnocen průměr křivek ze dvou měření. Hladina významnosti byla zvolena  $\alpha = 0,05$ . V případě, že ANOVA potvrdila alternativu byla provedena Scheffého metoda vícenásobného porovnávání [41].

$$|\mu_i - \mu_j| \geq \sqrt{\frac{k-1}{n-k} S_R F_\alpha (k-1, n-1) \left[ \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right]} \quad (7)$$

$\mu$  průměr

$n$  celkový počet měření

$k$  počet úrovní

$S_R$  součet čtverců odchylek od celkového průměru

$F_\alpha$  kritická hodnota

$i, j$  výběr

Ukázkový výpočet:

$$|0,155226_{90\%} - 0,222597_{86\%}| \neq \sqrt{\frac{4}{150} \cdot 3,356194 \cdot 2,439165 \cdot \left[ \frac{1}{31_{90\%}} + \frac{1}{31_{86\%}} \right]}$$

$$0,0674 < 0,1185$$

Dílčí závěr:

Testační kritérium Scheffého metody pro vícenásobného srovnání je pod kritickou hodnotou u test s 90% a 86% přídavkem vody. Nulová hypotéza při porovnání těchto dvou test se tedy přijímá a alternativa se zamítá. Se spolehlivostí 95 % mezi těsty s 86% a 90% přídavkem vody nebyl shledán významný rozdíl vzhledem k množství použité vody.

## 7 METODY MĚŘENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ TĚST

Zpracování a manipulace těsta hraje důležitou roli v potravinářském průmyslu. Zejména v pekárenském odvětví a výrobě těstovin. Jedním z hlavních problémů je přímé experimentální stanovení vlastností těsta během míchání a pečení bez přerušení procesu nebo narušení struktury materiálu. Při experimentálních stanoveních se používají laboratorní hnětací komory s nízkou navázkou těsta (např. 75 g), které jsou součástí přístrojů například Farinograf a Mixolab. Stupeň míchání je obvykle měřen celkovým množstvím práce vynaložené na materiál během míchání. Ovšem nutností je znát aktuální vlhkost mouky [46, 47, 48].

### MĚŘÍCÍ PROTOKOLY MIXOLABU

Jak již bylo zmíněno celá práce byla měřena na přístroji Mixolab 2 od společnosti Chopin Technologies. Tento přístroj ve svém ovládacím softwaru má přednastaveno několik základních měřících protokolů. Lze také vytvořit zcela nový měřící protokol. Software přístroje sám vypočte navázkou mouky dle zadaných parametrů.

#### 7.1 Protokol Chopin S

Jedním ze základních protokolů pro měření je Chopin S. Jehož výsledkem je obdoba Farinografu. Z výsledného grafu lze vyhodnotit dobu vývoje těsta, dobu stability těsta, stupeň změknutí, stupeň mechanické odolnosti (značeno MTI, jednotka Nm), maximální kroutící moment nutný k hnětení (značeno CMax, jednotka Nm) a reálnou absorpci vody [38].

##### Parametry protokolu Chopin S:

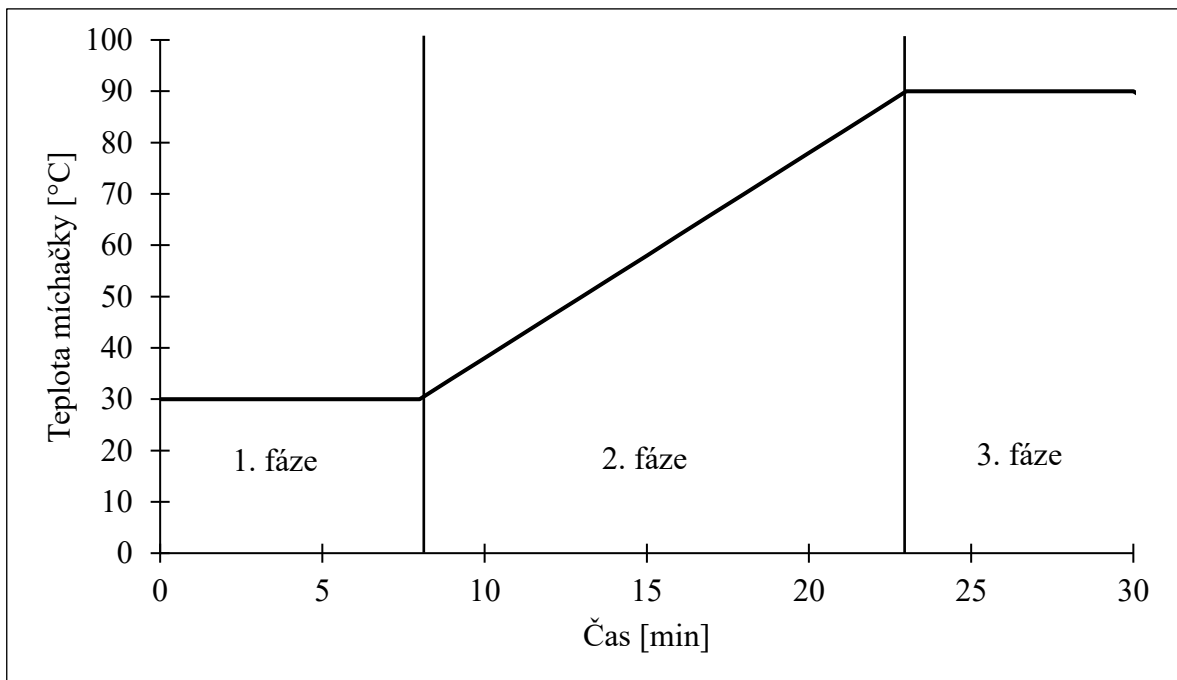
Rychlost míchání:	80 ot /min.
Teplota těsta:	30,0 °C
Celková doba zkoušky:	30 minut

#### 7.2 Protokol Chopin

Protokol Chopin již testuje teplotní gradient, při kterém měří odpor těsta vůči hnětení. Po 8. minutě hnětení začíná teplota míchačky stoupat o 4 °C za minutu, až do dosažení teploty 90 °C. Předpokládaná teplota těsta by se měla pohybovat okolo 85 °C. Tato teplota bude držena až do konce měření [38].

### Parametry protokolu Chopin:

Rychlost míchačky:	80 ot./min
Teplota 1. fáze:	30,0 °C
Výdrž 1. fáze:	8 minut
Cílová teplota 2. fáze:	90 °C
Teplotní gradient:	4,0 °C/min
Doba dosažení 2. fáze:	15 minut
Výdrž 3. fáze:	7 minut
Celková doba zkoušky:	30 minut



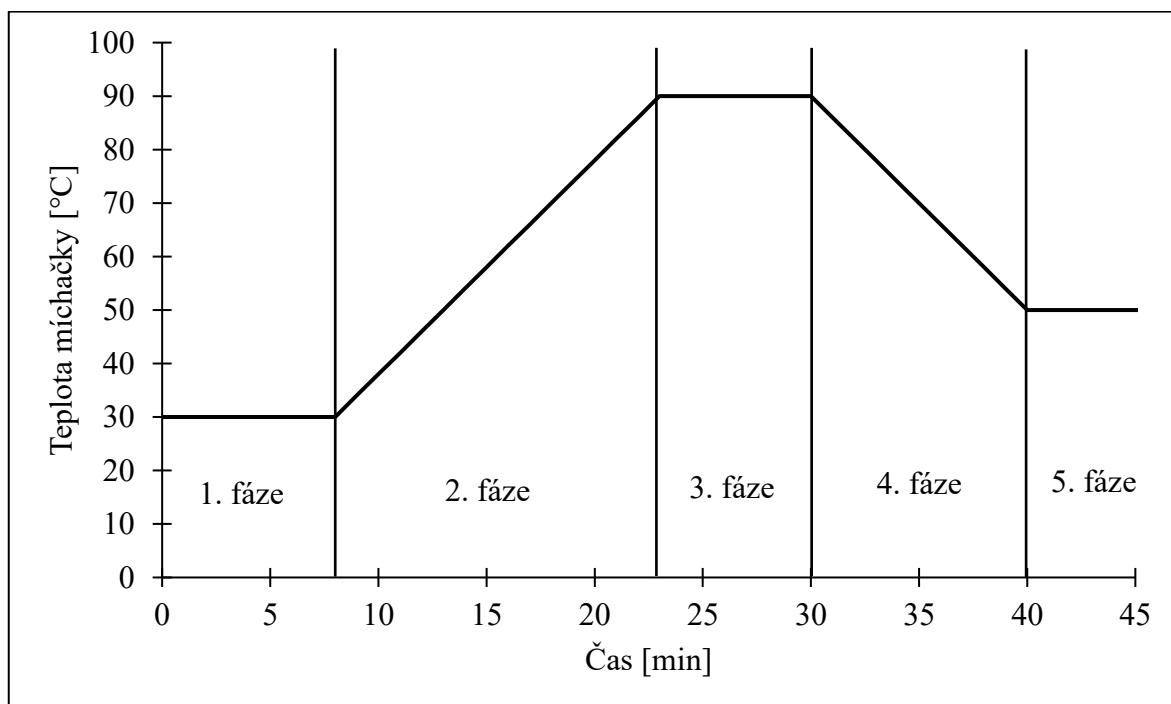
Obrázek 2 Grafické znázornění parametrů protokolu Chopin [38]

### **7.3 Protokol Chopin+**

Protokol Chopin+ je obdobou protokolu Chopin. Je rozšířen o fázi chlazení těsta. První tři fáze mají stejné parametry, jakožto protokol Chopin. Po uplynutí 3. fáze, což znamená po uplynutí 7 minut, kdy je teplota míchačky držena na 90 °C, nastává chlazení. Chlazení je pozvolné. Teplota míchačky klesá o 4 °C za minutu, a to až do dosažení teploty míchačky 50 °C, čímž započne 5. fáze. Teplota těsta bude klesat pomaleji. Délka 3. fáze bude 5 minut [38].

Parametry protokolu Chopin+:

Rychlost míchání:	80 ot./min.
Teplota 1. fáze:	30,0 °C
Výdrž 1. fáze:	8 minut
Cílová teplota 2. fáze:	90 °C
Teplotní gradient:	4,0 °C/min.
Doba dosažení 2. fáze:	15 minut
Výdrž 3. fáze:	7 minut
Cílová teplota 5. fáze:	50 °C
Teplotní gradient:	-4 °C/min.
Výdrž 5. fáze:	5 minut
Celková doba zkoušky:	45 minut



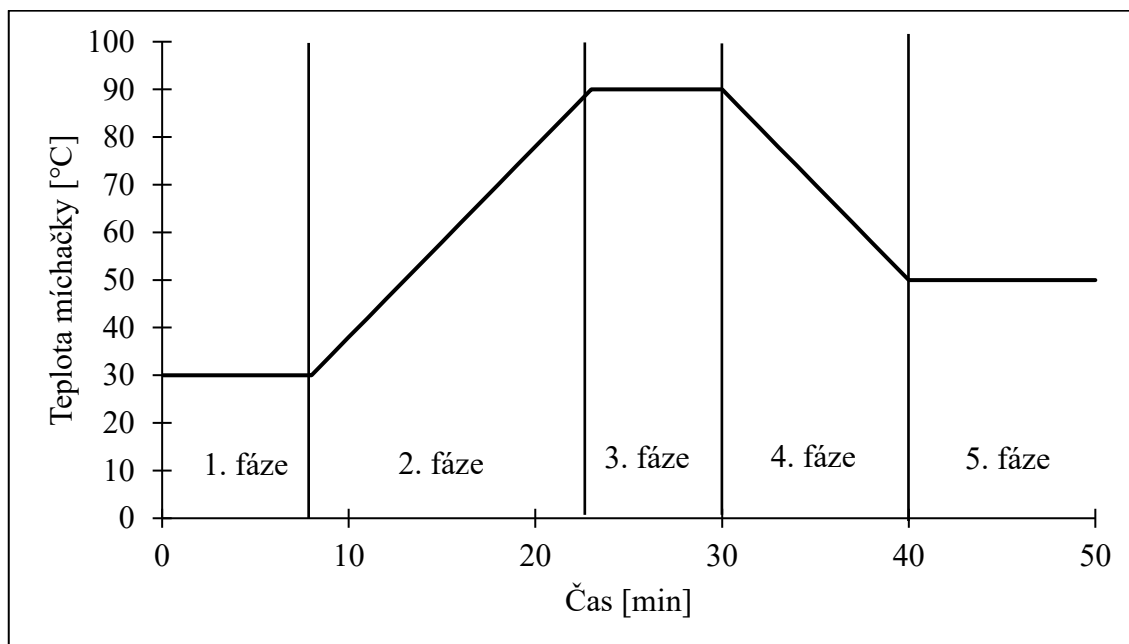
Obrázek 3 Grafické znázornění parametrů protokolu Chopin+ [38]

## 7.4 Protokol Rice1

Protokol Rice1 je obdobou protokolu Chopin+. Ovšem liší se prodloužením doby 5. fáze o 5 minut. Celková doba zkoušky je tedy 50 minut. Také protokol pracuje při vyšších otáčkách za minutu. Kroutivý moment byl zvýšen na 120 ot./min [38].

Parametry protokolu Rice1:

Rychlost míchání:	120 ot./min.
Teplota 1. fáze:	30,0 °C
Výdrž 1. fáze:	8 minut
Cílová teplota 2. fáze:	90 °C
Teplotní gradient:	4,0 °C/min.
Doba dosažení 3. fáze:	15 minut
Výdrž 3. fáze:	7 minut
Cílová teplota 5. fáze:	50 °C
Teplotní gradient:	-4,0 °C/min.
Výdrž 5. fáze:	10 minut
Celková doba zkoušky:	50 minut

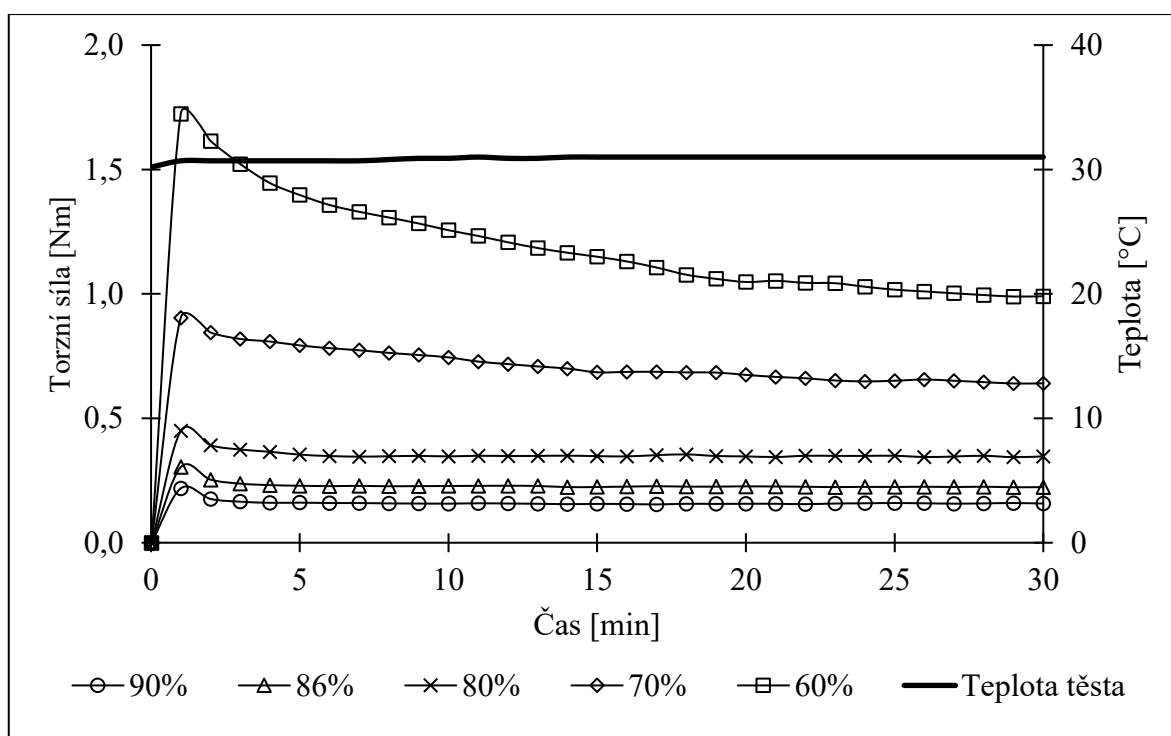


Obrázek 4 Grafické znázornění parametrů protokolu Rice1 [38]

## 8 POPIS ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

### 8.1 Výsledky Chopin S

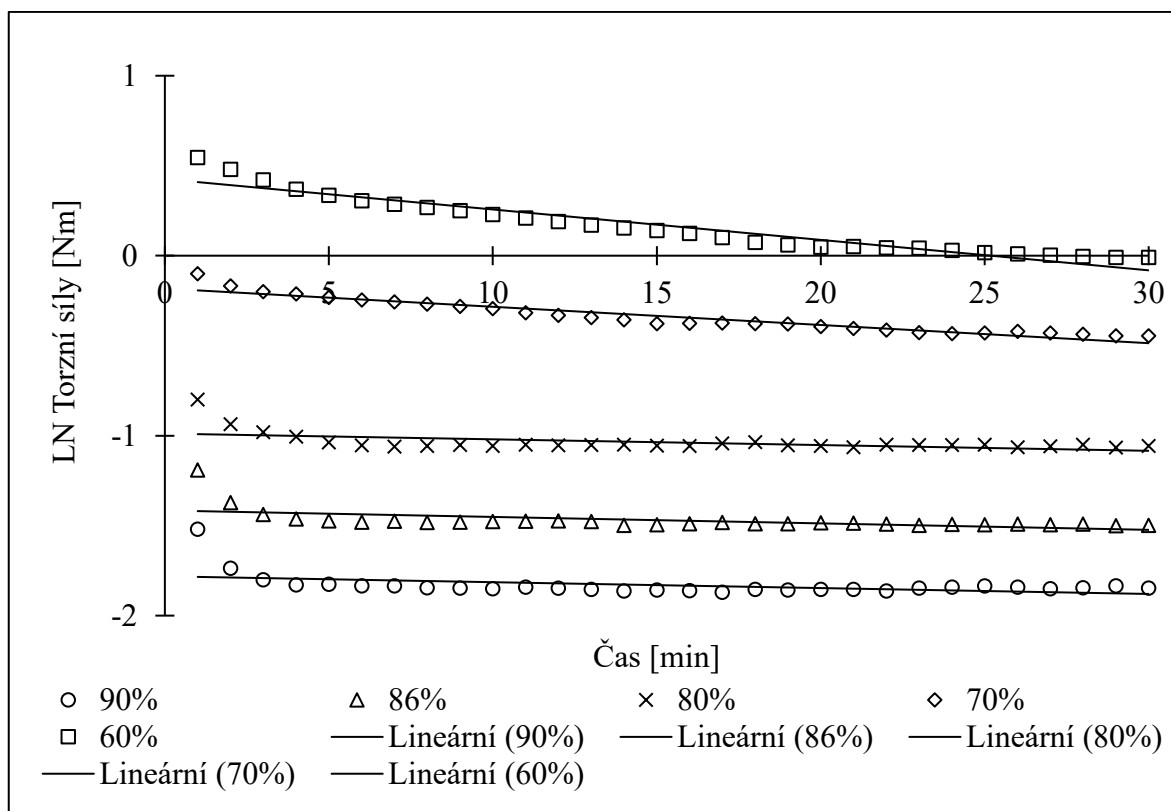
Jak již bylo zmíněno, tak protokol Chopin S je Farinografický režim Mixolabu. Cílem běžného měření na Farinografu je zjištění optimálního přídávku vody. To v praxi znamená, že přístroj dávkuje vodu do dosažení hodnoty 500 FU. Tato hodnota v grafu Mixolabu protokolu Chopin S odpovídá hodnotě 1,1 Nm. Dle zkušeností je tato hodnota optimální pro vytvoření pšeničného těsta. Ovšem to samé neplatí u rýžového těsta. Ve fázi tvorby těsta, kdy se zabudovává plyn do těsta dochází k poklesu konzistence [31, 38, 39].



Obrázek 5 Hodnoty měření dle protokolu Chopin S

#### 8.1.1 Korelační analýza

Z grafu na obrázku 5 je patrné, že největší pokles torzní síly byl zaznamenán v těstě s 60% přídávkem vody. Zdá se, že možná ještě znatelný pokles by mohl být patrný u 70% přídávku vody. Co se týče zbylých přídávků vody, jejich konzistence se zdá neměnná v průběhu zaznamenaného měření. Správnost zjištění byla následně otestována po linearizaci korelační analýzou. U tohoto měření je žádoucí pokles torzní síly v průběhu měření [58]. Jestliže křivka již výrazně neklesá, v těstě neprobíhají změny, které by měly význam na reologické vlastnosti.



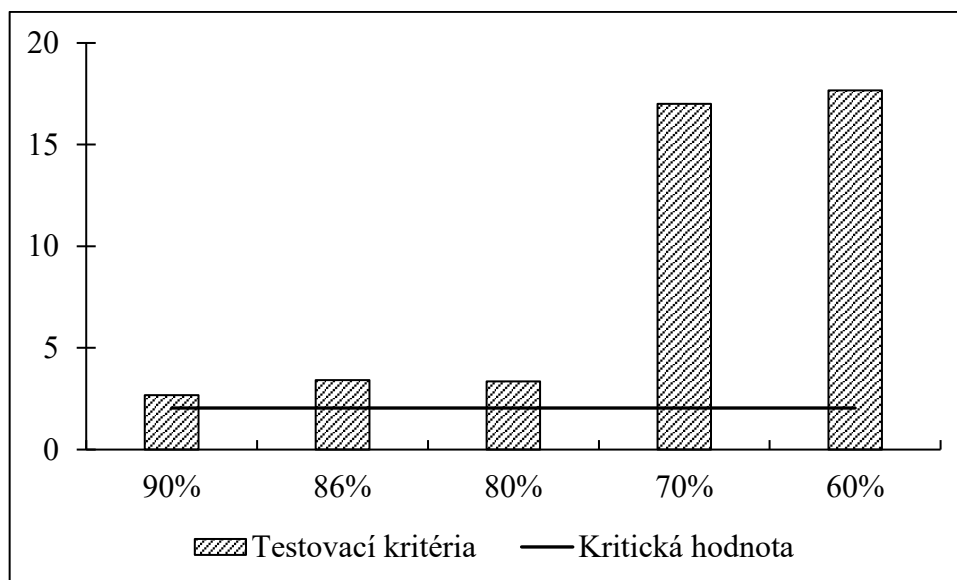
Obrázek 6 Linearizace hodnot protokolu Chopin S

Jak lze vidět na obrázku 6, nejvýraznější pokles konzistence je skutečně u těsta s 60% přídavkem vody, což je patrné i z Tabulky 4. V tabulce 4 je ve druhém řádku korelační koeficient ( $r$ ). Jeho záporná hodnota značí klesající hodnoty. Čím více je jeho hodnota blíží se nule, tím více můžou být hodnoty rovnoběžné s osou  $x$ , v našem případě s časem [44]. Zde lze vidět, že ještě výrazný pokles je u těsta s 70% přídavkem vody.

Tabulka 4 Výsledky korelační analýzy protokolu Chopin S

Přídavek vody	90%	86%	80%	70%	60%
$r$	-0,452	-0,542	-0,536	-0,955	-0,958
$R$	0,205	0,294	0,287	0,912	0,918
Testovací kritérium	2,684	3,412	3,356	17,009	17,669
Kritická hodnota	2,048				



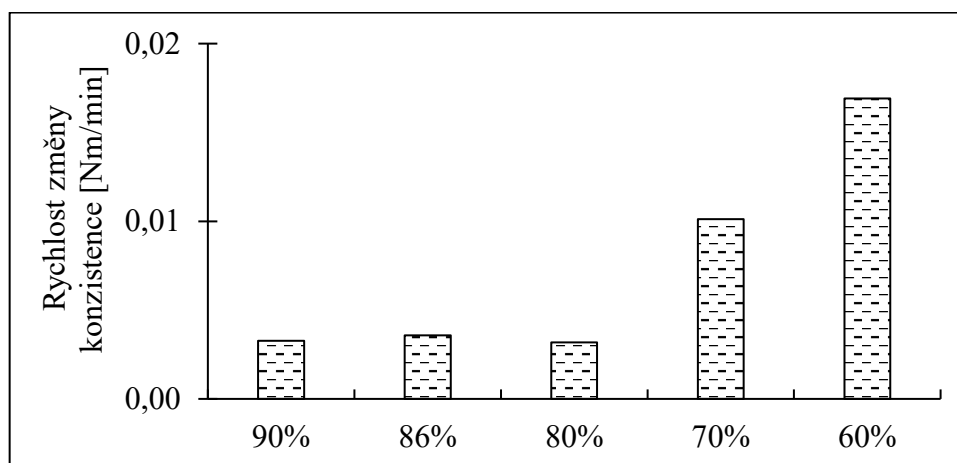


Obrázek 7 Výsledky měření dle protokolu Chopin S

Všechny testované přísady vody přesáhly Kritickou hodnotu. Kritická hodnota byla zjištěna z tabulek kvantilů Studentova rozdělení. Při přesáhnutí kritické hodnoty se zamítá nulová hypotéza a přijímá alternativa[44]. To nejspíše znamená, že se spolehlivostí 95 % došlo k poklesu konzistence u všech těst.

### 8.1.2 Rychlost změny konzistence

Rychlost změny konzistence zde byla hodnocena od lokálního extrému z obrázku 5. Tj. od první minuty měření u všech těst. Dle obrázku 8 se zdá, že konzistence se nejrychleji změnila u těst s 60% a 70% přísadkou vody. U zbylých těst se nejspíše konzistence změnila stejnou rychlostí. V této by nízká rychlost změny konzistence nejspíše znamenala rychlou distribuci vody.

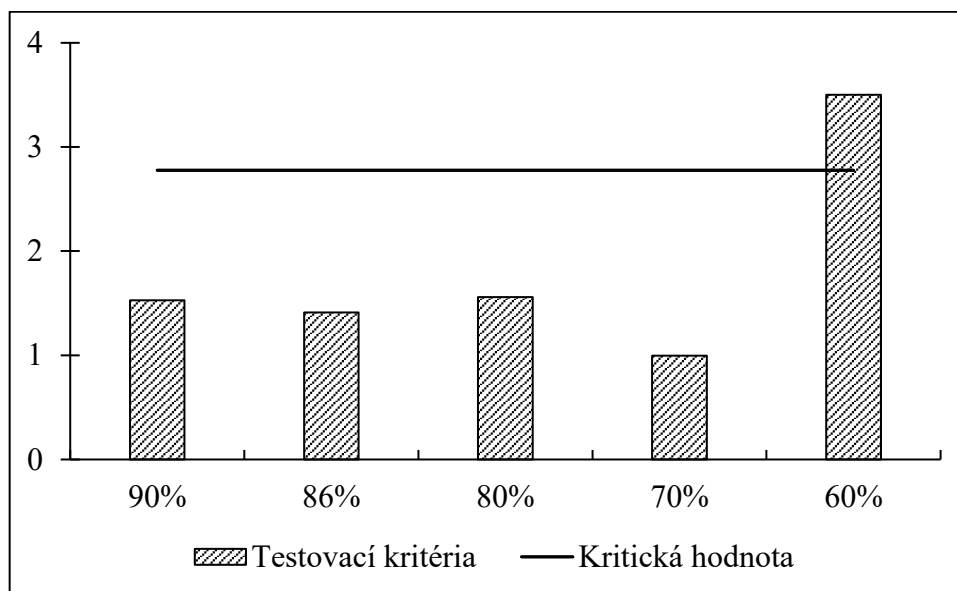


Obrázek 8 Rychlost změny konzistence protokolu Chopin S

Zdá se, že změna konzistence nastala nejrychleji u těsta s 60% přídavkem vody a u těsta se 70% přídavkem vody, jak lze vidět v grafu na obrázku 8.

$H_0$ : Rychlost změny konzistence je u všech těst podobná.

$H_1$ : Rychlost změny konzistence není u všech těst podobná.



Obrázek 9 Výsledky odlehklých hodnot rychlosti změny konzistence protokolu Chopin S

Dle grafu na obrázku 9 se spolehlivostí 95 % se nulové hypotézy nezamítají u všech těst kromě těsta s 60% přídavkem vody. U těsta s 60% přídavkem vody se nulová hypotéza zamítá a přijímá se alternativa se spolehlivostí 95 %. K významné rychlosti změně konzistence se spolehlivostí 95 %, dochází u těsta s 60% přídavkem vody.

### 8.1.3 Vliv přídavku vody

Vliv přídavku vody na reologické vlastnosti těsta byl hodnocen pomocí analýzy rozptylu ANOVA.

Tabulka 5 Výsledky ANOVA jeden faktor protokolu Chopin S

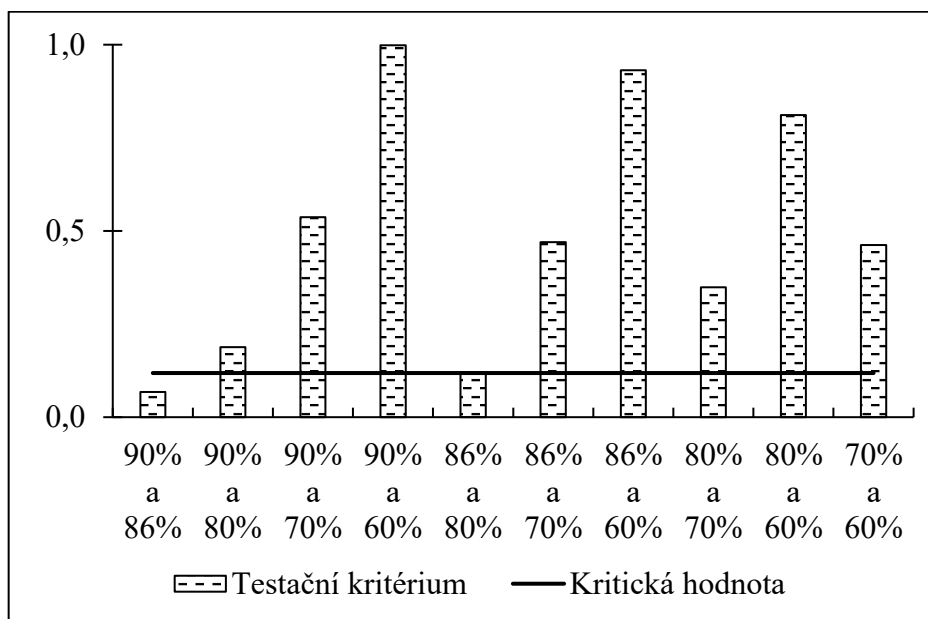
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	21,206	4	5,301578	236,946	$9,68 \cdot 10^{-64}$	2,432
Všechny výběry	3,356	150	0,022375			
Celkem	24,562	154				

Z tabulky 5 je patrné, že testační kritérium F přesáhlo kritickou hodnotu  $F_{krit.}$ . Dále bylo třeba provést Scheffého metodu vícenásobného porovnávání.

Tabulka 6 Faktor ANOVA protokolu Chopin S

<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
90%	31	4,812	0,155226	0,000961
86%	31	6,9005	0,222597	0,001927
80%	31	10,641	0,343258	0,004461
70%	31	21,456	0,692129	0,021132
60%	31	35,773	1,153968	0,083392

Pro výpočet je třeba využít hodnoty z tabulek 5 a 6.

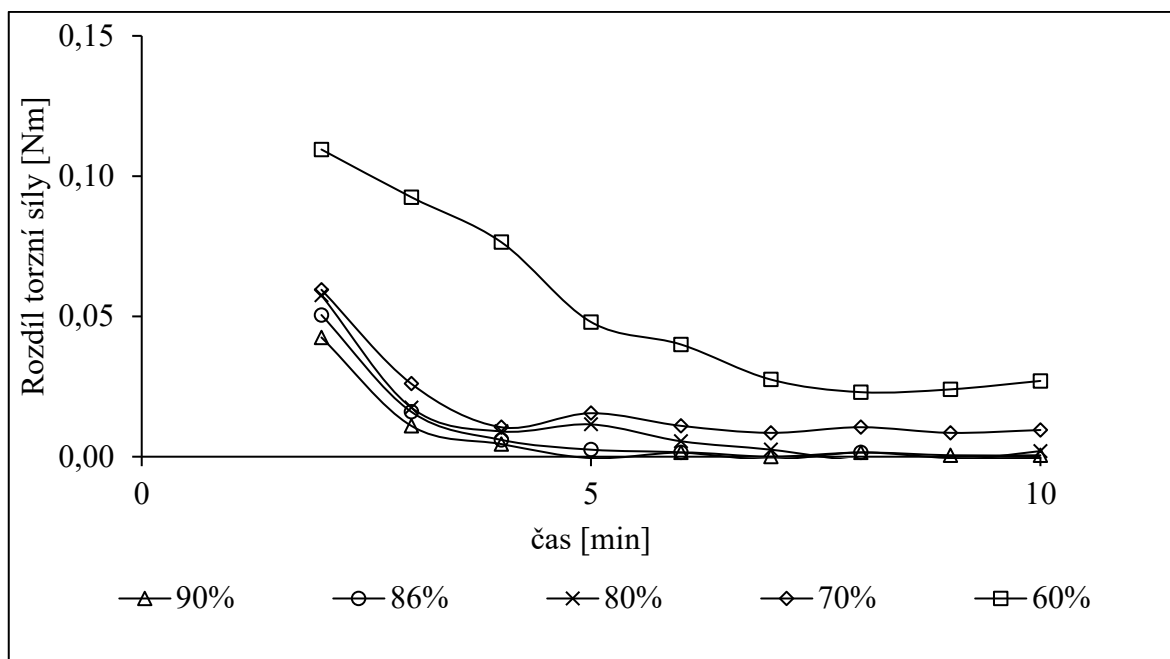


Obrázek 10 Výsledky Scheffého metody vícenásobného porovnávání vlivu přídavku vody protokolu Chopin S

Po porovnání všech testů Scheffého metodou vícenásobného porovnávání, které lze vidět na obrázku 10, bylo zjištěno. Se spolehlivostí 95 % není rozdíl významný rozdíl vlivu přídavku vody mezi těsty s 90% a 86% přídavkem vody, jak lze vidět na obrázku 10. Během hodnocení ve farinografickém režimu byl nalezen významný rozdíl mezi zbylými těsty, který byl způsoben přídavkem vody.

#### 8.1.4 Vliv doby hnětení

Pro zjištění vlivu doby hnětení byl zvolen jiný postup hodnocení, neboť předchozí postupy nehodnotili velikost poklesu po každé minutě. Naopak hodnotili pokles konzistence za celou dobu testování. Tento postup byl sestaven na zjištění, že se konzistence těsta snižuje od první minuty hnětení. V první minutě hnětení těsta dosahovala nejvyššího torzní síly, jak lze vidět na obrázku 5. Postup byl, že hodnota torzní síly v čase  $t$  se odečetla od hodnoty torzní síly v čase  $t-1$ . Odečtené hodnoty byly zaneseny do grafu.



Obrázek 11 Hodnocení vlivu doby hnětení

Z předešlých hodnocení korelační analýzy a rychlosti změny konzistence protokolu Chopin S vyplynulo, že největší pokles konzistence je jednoznačně u těsta s 60% přídavkem vody. Na grafu na obrázku 11 lze vidět, že nejstrměji konzistence klesala do 8. minuty hnětení. Poté se pokles zpomalil. U zbylých testovaných těst konzistence nejrychleji klesala do 3. minuty hnětení. Po těchto dobách již konzistence zůstávala téměř neměnná. Což nejspíše znamená, že hnětení již nemělo významný vliv na těsto.

## 8.2 Závěr protokolu Chopin S

Z většiny článků, kde se autoři zabývají rýžovou moukou je patrné, že zkoumají vaznost mouky pomocí Farinografické metody, která má optimální hodnotu 500 FU, pro Mixolab 1,1 Nm protokolu Chopin S. Výjimkou není ani článek: Reologické, texturní a smyslové vlastnosti bezlepkových chléb na bázi rýžové a pohankové mouky od autorů Torbica, Hadnadev a Dapčević z roku 2010. Ačkoliv se autoři zabývali různými poměry směsí pohankové a rýžové mouky, jakožto jeden z kontrolních vzorků použili těsto čistě z rýžové mouky. Dle jimi naměřené vaznosti těsta odpovídalo mnou měřenému těstu s 60% přídavkem vody. Tito autoři podrobili své vzorky zkoušce dle protokolu Chopin+. Výsledky jejich kontrolního vzorku se velmi podobají výsledkům těsta v této práci [51].

Tabulka 7 Souhrnné výsledky protokolu Chopin S

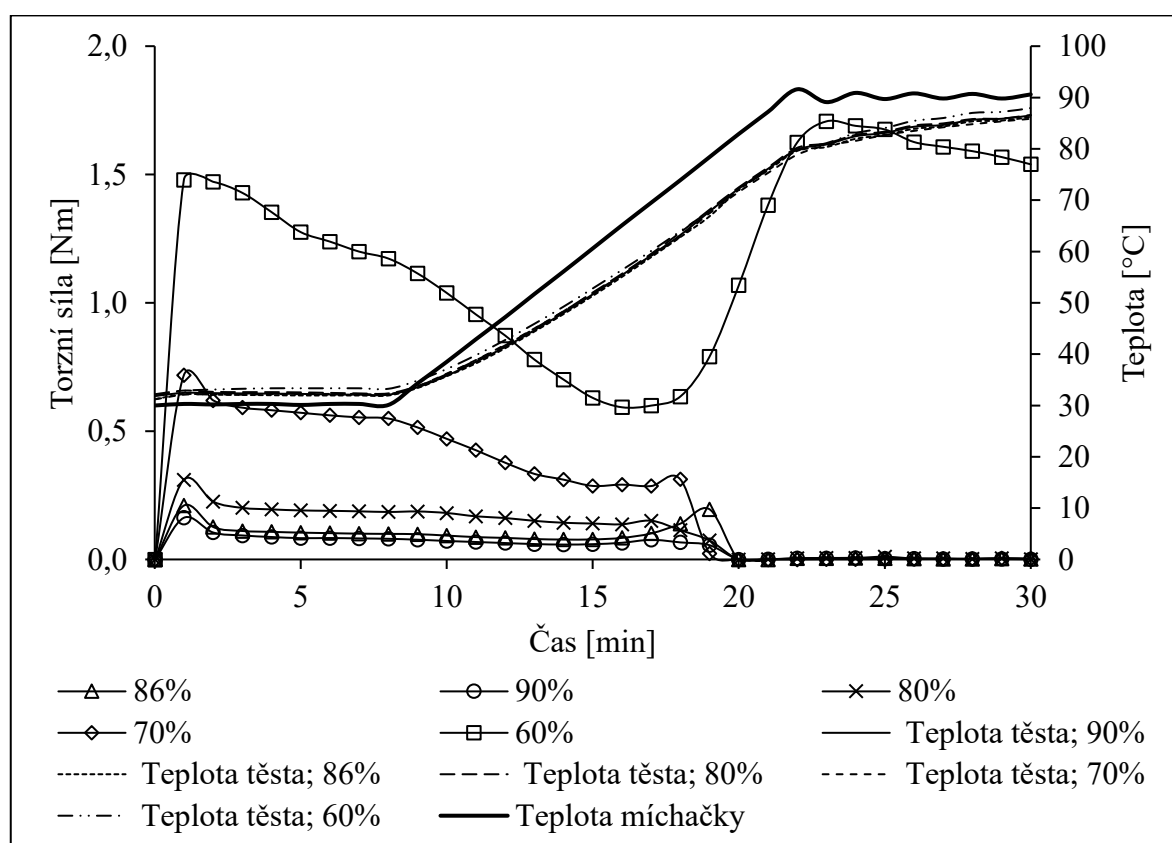
Přídavek vody	90%	86%	80%	70%	60%
Vaznost [%]	83,0±0,1 <sup>a</sup>	79,8±0,1 <sup>a</sup>	74,9±0,1 <sup>ab</sup>	68,25±0,2 <sup>bc</sup>	62,6±0,2 <sup>c</sup>
Vývin [min]	13,0±0,2 <sup>a</sup>	11,3±0,2 <sup>a</sup>	9,1±0,2 <sup>ab</sup>	4,5±0,2 <sup>bc</sup>	1,0±0,1 <sup>c</sup>
Stabilita [min]	1,5±0,1 <sup>a</sup>	1,5±0,1 <sup>a</sup>	1,5±0,1 <sup>a</sup>	1,5±0,1 <sup>a</sup>	16,1±1,3 <sup>b</sup>
Stupeň změknutí [Nm]	0,126±0,003 <sup>a</sup>	0,133±0,003 <sup>a</sup>	0,147±0,006 <sup>a</sup>	0,170±0,009 <sup>a</sup>	0,312±0,001 <sup>b</sup>
MTI [Nm]	0,561±0,002 <sup>a</sup>	0,533±0,001 <sup>a</sup>	0,483±0,003 <sup>a</sup>	0,294±0,001 <sup>b</sup>	0,098±0,002 <sup>c</sup>
CMax [Nm]	0,266±0,002 <sup>a</sup>	0,330±0,001 <sup>a</sup>	0,500±0,005 <sup>ab</sup>	0,941±0,048 <sup>b</sup>	1,762±0,049 <sup>c</sup>
Korelační analýza	-0,452 <sup>a</sup>	-0,542 <sup>a</sup>	-0,536 <sup>a</sup>	-0,955 <sup>b</sup>	-0,958 <sup>b</sup>
Rychlost změny konzistence [Nm/min]	3,26 · 10 <sup>-3a</sup>	3,59 · 10 <sup>-3a</sup>	10,11 · 10 <sup>-3a</sup>	10,11 · 10 <sup>-3a</sup>	16,91 · 10 <sup>-3b</sup>
Vliv vody na těsto [Nm]	0,155 <sup>a</sup>	0,223 <sup>ab</sup>	0,343 <sup>ab</sup>	0,692 <sup>bc</sup>	1,154 <sup>c</sup>

Jak lze vidět z tabulky 20 vaznost těst se zřetelně lišila s měnícím se přídavkem vody. Jak lze vidět z doby vývoje těsta software mixolabu má s touto hodnotou problém vzhledem k její definici. Jak již bylo zmíněno hodnocení stability těsta vychází z hodnocení pro pšeničná těsta. Nemá smysl se touto hodnotou zabývat. Korelační analýza prokázala, že těsto má klesající konzistenci. Následná analýza vlivu doby hnětení odhalila, že k největšímu poklesu konzistence těst s 90%, 86%, 80% a 70% přídavkem vody dochází do 3. minuty hnětení. U těsta s 60% přídavkem vody, dochází k nejstrmějšímu poklesu do 8. minuty. Rychlost změny konzistence je nejvyšší u těsta s 60% přídavkem vody. Rychlost změny konzistence u zbylých těst se zdá podobná dle výpočtů. Vliv přídavku vody do těsta na jeho reologické vlastnosti byl prokázán pomocí ANOVA.

### 8.3 Výsledky Chopin

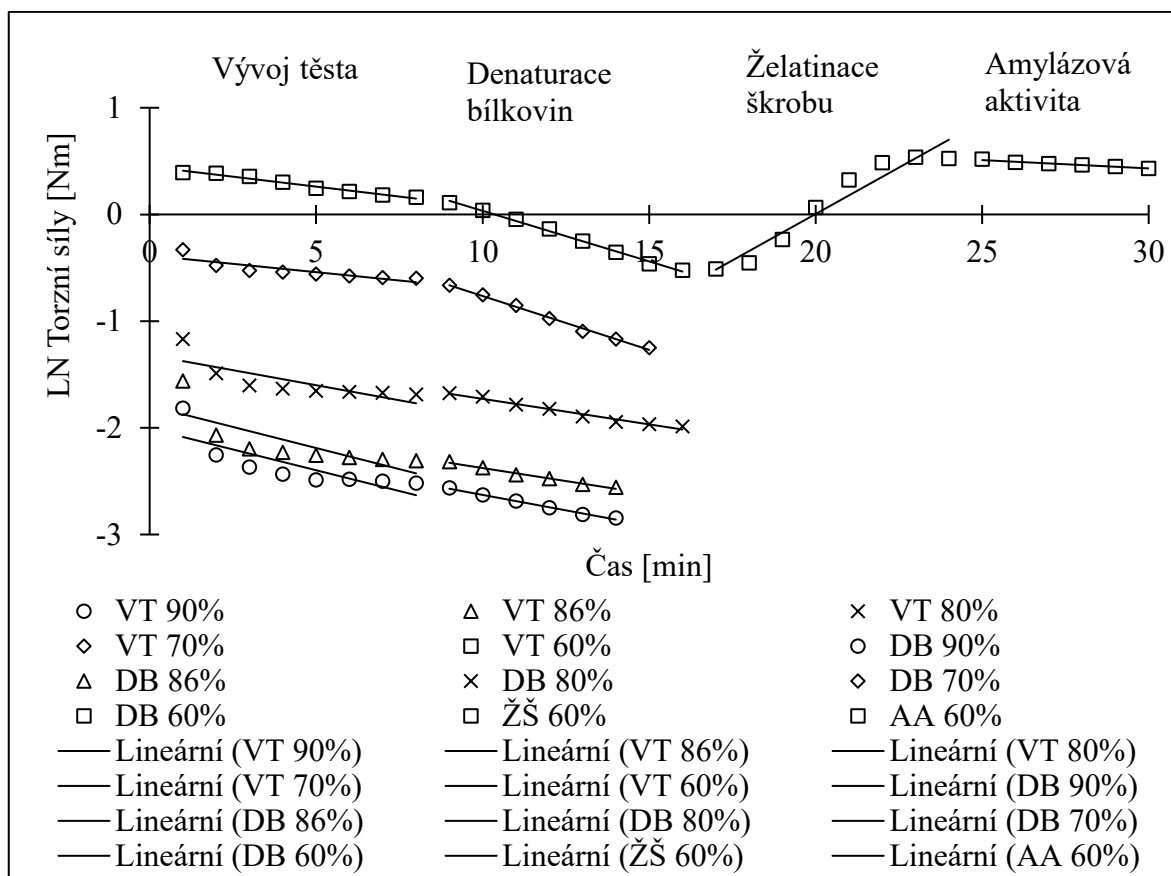
Protokol Chopin měří odpor těsta vůči hnětení při zvyšující se teplotě. Z tvaru křivky software mixolabu dokáže vypočítat hodnoty  $\alpha_m$  (redukce bílkovin),  $\beta_m$  (želatinace škrobu) a  $\gamma_m$  (amylázová aktivita). Aby to byl software schopen vypočítat rozděluje křivku na jednotlivé úseky. Tyto jednotlivé úseky byly vyhodnoceny stejným způsobem jako v předchozím případě.

Jak je na první pohled zřejmé z grafu na obrázku 12 podmínky měření jsou nejspíše nevhodné pro zpracování rýžového těsta. Výsledky všech test vyjímaje 60% přidavku vody byly od 20. minutě neměřitelné. Ovšem měření dle tohoto protokolu byly prováděny 3x, vyjímaje 60% přidavku vody. Bylo to z toho důvodu, že při provádění druhého měření, byly některé výsledky měřitelné. Z tohoto důvodu bylo provedeno ještě třetí potvrzovací měření. Toto měření potvrdilo pokles odporu těst vůči hnětení až na neměřitelné hodnoty. Důvodem neměřitelných hodnot bylo ulpění těsta na hnětací lopatky zařízení.



Obrázek 12 Hodnoty měření dle protokolu Chopin

Jelikož díky záhřevu těsta dochází k záměrnému odlišnému chování, lze křivky rozdělit na jednotlivé úseky. První úsek byl od 1. minuty do 8. minuty měření. 1. minuta reprezentuje počáteční chování těsta během hnětení značeno jako vývoj těsta. V 8. minutě dochází k počátečnímu záhřevu, který způsobuje denaturaci bílkovin. Denaturace bílkovin způsobuje pokles odporu těsta vůči hnětení. Intenzita tohoto poklesu reprezentuje kvalitu přítomné bílkoviny. Tento úsek byl hodnocen stejnou metodou jako v předchozím případě, a to sice linearizací a následně korelační analýzou. Linearizace je znázorněna v grafu na obrázku 13. Strmost lineárních přímků zobrazuje hodnocenou rychlost změny konzistence graficky.



Obrázek 13 Linearizace a rozdělení na fáze protokolu Chopin

### 8.3.1 Korelační analýza vývoje těsta protokolu Chopin

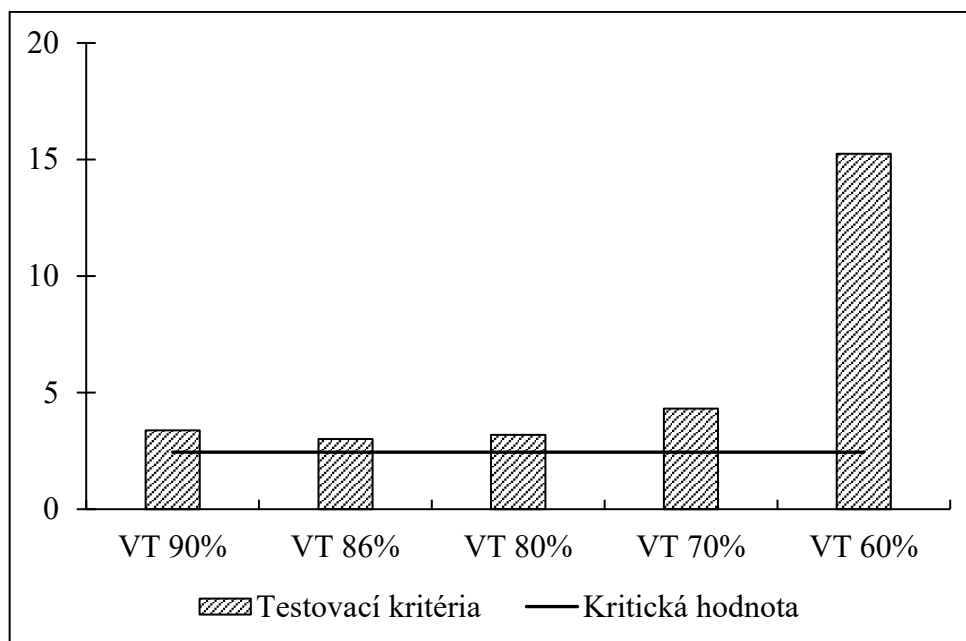
Nulová a alternativní hypotéza byla vyřčena stejná jakožto v předchozím protokolu, neboť podmínky byly stejné.

$H_0$ : Jednotlivá těsta nemají odlišnou konzistenci během fáze vývoje těsta.

$H_1$ : Jednotlivá těsta mají odlišnou konzistenci během fáze vývoje těsta.

Tabulka 8 Výsledky korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin

Přídavek vody	90%	86%	80%	70%	60%
r	-0,810	-0,775	-0,794	-0,870	-0,987
R	0,656	0,601	0,630	0,756	0,975
Testovací kritérium	3,379	3,005	3,195	4,316	15,253
Kritická hodnota	2,447				



Obrázek 14 Výsledky korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin

Jak je patrné z Tabulky 7 nejsilnější korelace je u těsta s 60% přídavkem vody. Nicméně všechna těsta přesáhla kritickou hodnotu, proto se i zde zamítá nulová hypotéza a přijímá alternativa. Korelační analýza výsledků měření protokolu Chopin v první fázi potvrdili výsledky protokolu Chopin S, které vyplynuly z jeho korelační analýzy. Jedinou změnou je výrazně nižší korelační koeficient u těsta se 70% přídavkem vody, nicméně závěr je stejný jakožto v předchozím protokolu, kde probíhalo stejné hodnocení. Se spolehlivostí 95 % mají těsta odlišnou konzistenci během fáze vývoje těsta.

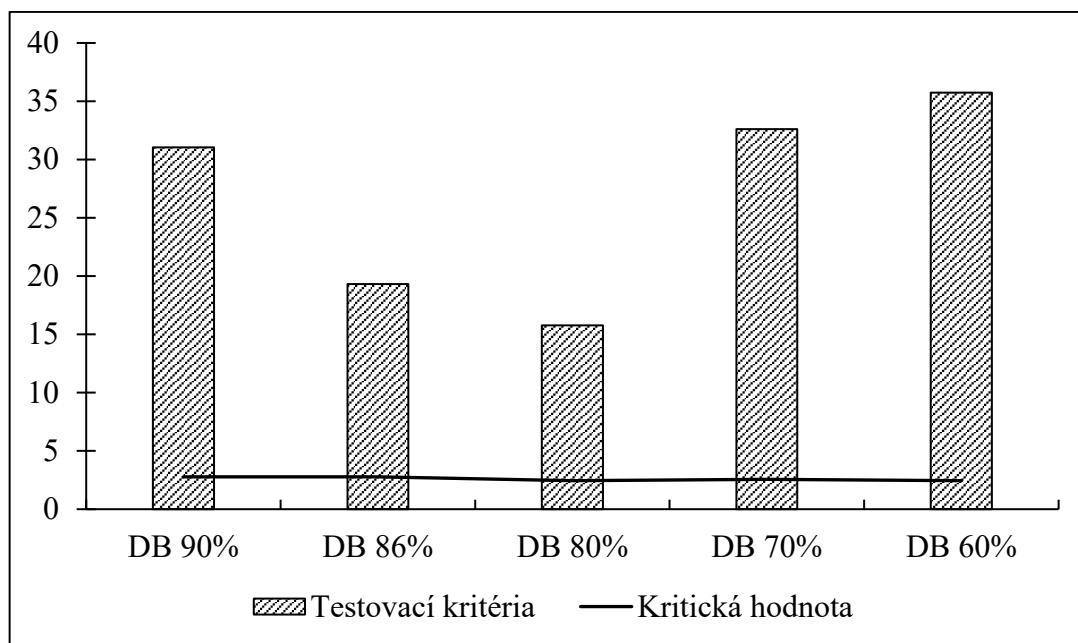
### 8.3.2 Korelační analýza denaturace bílkovin protokolu Chopin

Jako počátek této fáze byla učena 9. minuta. Ovšem konec této fáze se u těst liší. Jako konec této fáze bylo určeno lokální minimum u všech těst.

Tabulka 9 Výsledky korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin

Přídavek vody	90%	86%	80%	70%	60%
Konec fáze [min]	14	14	16	15	16
r	-0,997	-0,992	-0,988	-0,997	-0,998
R	0,994	0,984	0,976	0,994	0,995
Testovací kritérium	31,053	19,320	15,765	32,600	35,725
Kritická hodnota	2,776	2,776	2,447	2,571	2,447





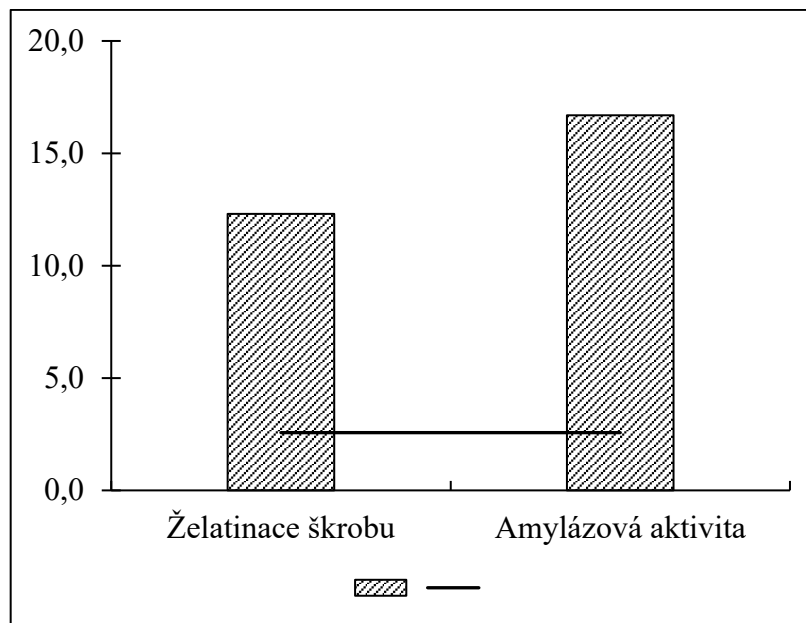
Obrázek 15 Výsledky korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin  
 Jak je patrné z grafu na obrázku 15 i zde testovací kritéria všech test přesáhly kritickou hodnotu. Což znamená, že se spolehlivostí 95 % se nulová hypotéza zamítá a přijímá se alternativa. Byla přijata alternativa. S pravděpodobností 95% došlo u všech test k poklesu konzistence těsta. Pokles v této fázi obvykle znamená denuraci vytvořené bílkovinné matrice vlivem působení tepla.

### 8.3.3 Korelační analýza želatinace škrobu a amylázové aktivity

Jak již bylo zmíněno všechna těsta vyjímaje těsta s 60% přídavkem vody ve 20. minutě již nebyla měřitelná. Nejspíše proto, že podmínky hnětení jsou pro rýžové těsto nevhodné. Nicméně byly vyhodnoceny fáze želatinace škrobu a amylázové aktivity u těsta s 60% přídavkem vody stejnou metodou jako předešlých případech.

Tabulka 10 Výsledky korelační analýzy želatinace škrobu a amylázové aktivity těsta s 60% přídavku vody protokolu Chopin

Přídavek vody 60%	Želatinace škrobu	Amylázová aktivita
Časové rozmezí fází	17 - 23	24 - 30
r	0,984	-0,991
R	0,968	0,982
Testovací kritérium	12,308	16,688
Kritická hodnota	2,571	2,571



Obrázek 16 Výsledky korelační analýzy želatinace škrobu a amylázové aktivity těsta s 60% přidavku vody protokolu Chopin

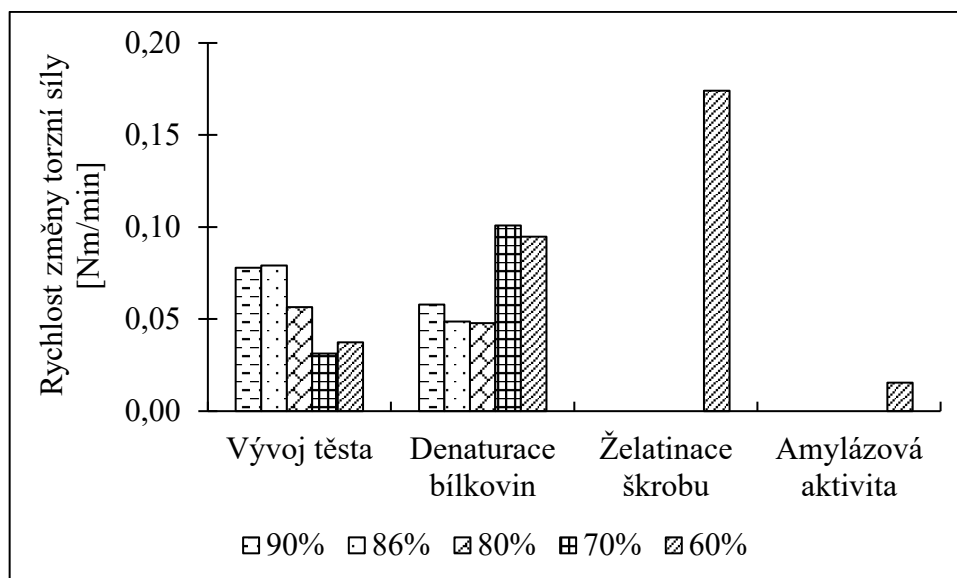
Se spolehlivostí 95 % se zamítají nulové hypotézy fází, jak želatinace škrobu, tak i amylázové aktivity. Přijímají se alternativy.

Želatinace škrobu: S pravděpodobností 95 % existuje rozdíl v konzistenci těsta vlivem působení tepla. Toto zvýšení konzistence lze vysvětlit želatinací škrobu.

Amylázová aktivita: S pravděpodobností 95 % existuje rozdíl v konzistenci těsta vlivem ustáleného působení tepla. Tento pokles konzistence lze vysvětlit amylázovou aktivitou.

#### 8.3.4 Rychlost změny konzistence

Rychlost změny konzistence byla vypočtena obdobně jako u protokolu Chopin S. S tím rozdílem, že byly vypočteny rychlosti dle rozdělení grafů na jednotlivé fáze v závislosti na měnících se podmínkách. Konkrétní rozdělení na jednotlivé fáze se řídí dle lokálních extrémů každé křivky a je vykresleno na Obrázku 13 Linearizace a rozdělení na fáze protokolu Chopin.



Obrázek 17 Rychlost změny konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin

Na obrázku 17 lze vidět graf rychlost změny konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin.

Vývoj těsta:

Není překvapením, že těsta s 90% a 86% se rychlostí vývoj těsta drží blízko u sebe. Jak odhalil protokol Chopin S během hnětení nemění svou konzistenci nijak významně. Překvapující je těsto s 80% přídavkem vody, které vykazuje pokles rychlosti změny konzistence oproti protokolu Chopin S. Ovšem přímky těchto tří těst jsou nejspíše ovlivněny 1. bodem, který je odlehlý. Ovšem vyloučit nelze, neboť se nejedná o náhodu měření. Dle očekávání rychlost změny konzistence těsta s 60% přídavkem vody je vyšší jak u těsta s 70% přídavkem vody. Vyšší rychlost těsta tohoto těsta potvrzuje i měření dle protokolu Chopin S. To, že obě rychlosti jsou až čtyřnásobně u protokolu Chopin vyšší je způsobeno, že u tohoto protokolu byla rychlost vypočtena z průběhu linearizované přímky, jejíž poslední bod byl v 8. minutě.

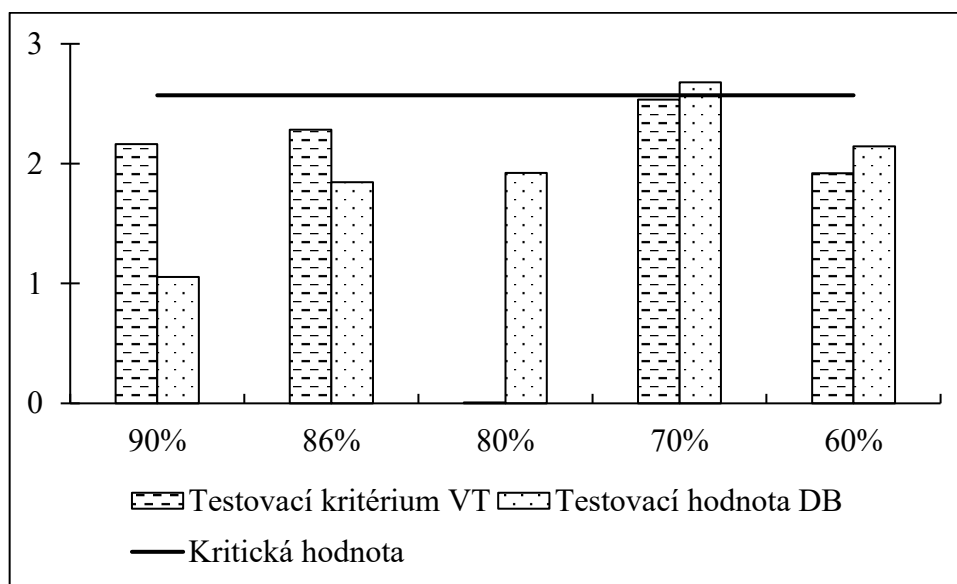
Denaturace bílkovin:

Toto je poslední fáze tohoto protokolu, kde jsou všechny těsta ještě měřitelná. Zdá se, že tři těsta s nejvyššími přídavky vody se od sebe nijak výrazně neliší. Ovšem od nich by se mohli výrazněji lišit zbylá 2 těsta. To odhalí až Grubbsův test na odlehlé hodnoty.

Želatinace škrobu a amylázová aktivita u těsta s 60% přídavkem vody:

Pro následující fáze byla všechna těsta, vyjímaje těsta s 60% přídavkem vody již neměřitelná od 20 minuty. Proto nemá smysl je dále hodnotit. Těsto, které bylo měřitelné není s čím porovnávat. Dle očekávání byla rychlost změny konzistence tohoto těsta ve fázi želatinace

škrobu nejvyšší ze všech fází. Rychlost amylázové aktivity je nejnižší ze všech vypočtených rychlostí. Výpočet byl proveden stejně jako u protokolu Chopin S a to pro fáze vývoje Těsta (VT), tak i Denuraci Bílkovin (DB). Výpočet byl taktéž proveden na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .



Obrázek 18 Výsledky odlehých hodnot rychlostí změny konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin

Vývoj těsta:

U žádného těsta nedošlo k překročení kritické hodnoty, jak lze vidět na obrázku 18. Se spolehlivostí 95 % se přijímá nulová hypotéza a zamítá alternativa. S pravděpodobností 95 % je rychlost změny konzistence ve fázi vývoje u všech těst podobná a výrazně se neliší.

Denaturace bílkovin:

Kritickou hodnotu překročilo těsto se 70% přídavkem vody. Se spolehlivostí 95 % se u tohoto těsta se nulová hypotéza nepřijímá. Přijímá se alternativa. S pravděpodobností 95 % je rychlost změny konzistence těsta se 70% přídavkem vody výrazněji vyšší než u ostatních těst. Mohlo by to značit, že zde došlo k nejrozsáhlejší denaturaci bílkovinné matrice.

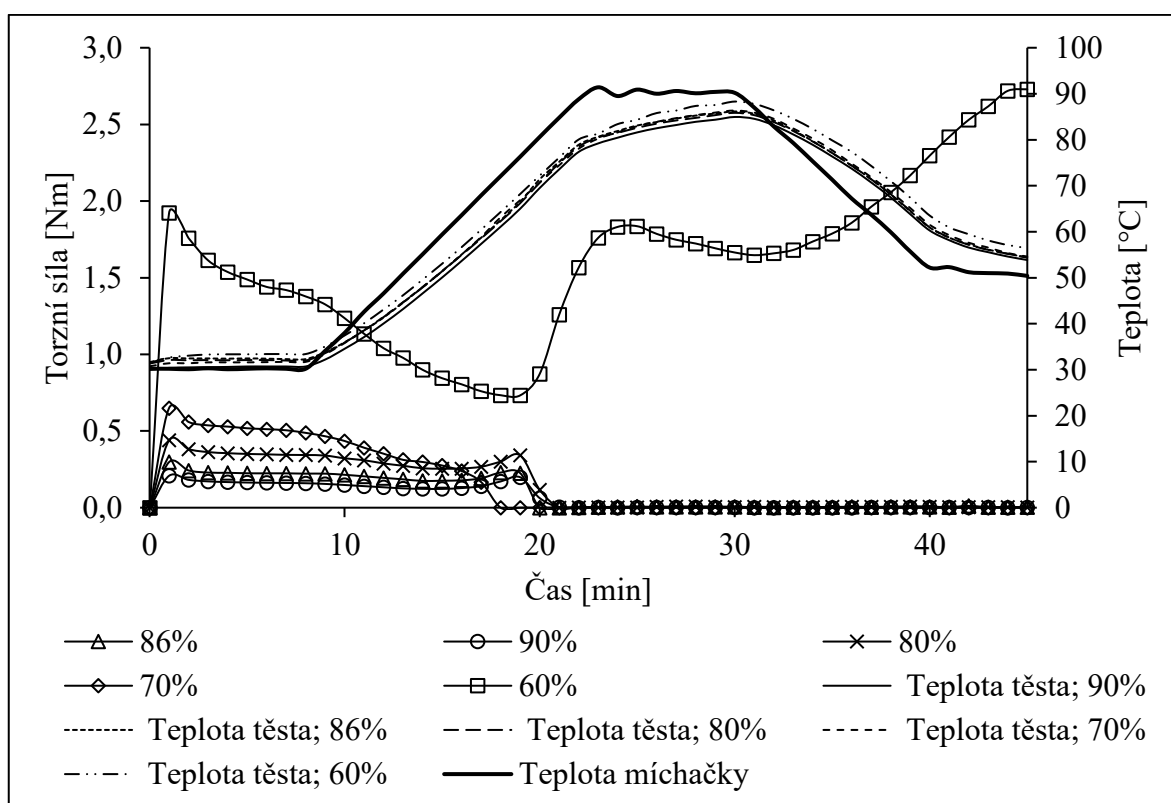
### 8.3.5 Vliv přídavku vody

Vzhledem k zjištění, že podmínky zpracování jsou nevhodné nelze provést analýzu rozptylu ANOVA pro zjištění vlivu přídavku vody.

## 8.4 Výsledky Chopin+

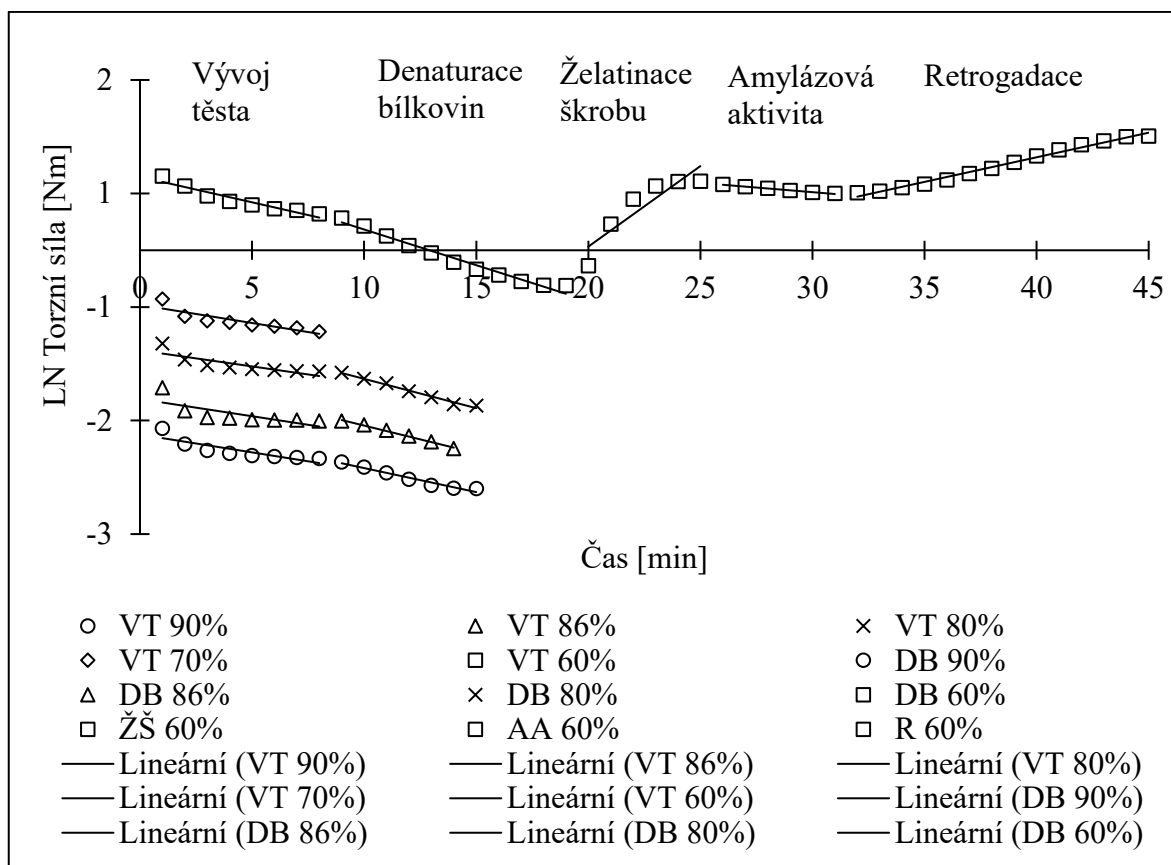
Jak již bylo zmíněno protokol Chopin+ je obdobou protokolu Chopin. Je rozšířen o fázi chlazení. Křivky byly vyhodnoceny stejně, jako v předešlém protokolu. Fáze chlazení byla hodnocena stejně jako ostatní fáze.

Na obrázku 19 je patrné ve fázi vývoje těsta byla všechna těsta měřitelná. Ovšem ve druhé fázi odpor těsta vůči hnětení se 70% přídavkem vody klesl téměř na nulu. Proto toto těsto bylo z hodnocení vyřazeno. Od fáze želatinace škrobu byla vyřazena z hodnocení všechny těsta vyjímaje 60% přídavku vody, neboť byly neměřitelná.



Obrázek 19 Hodnoty měření dle protokolu Chopin+

Pro vyhodnocení byl graf opět rozdělen na jednotlivé úseky. Tyto úseky, jak je vidět na Obrázku 19 byly linearizovány a proloženy přímkou pomocí metody nejmenších čtverců.



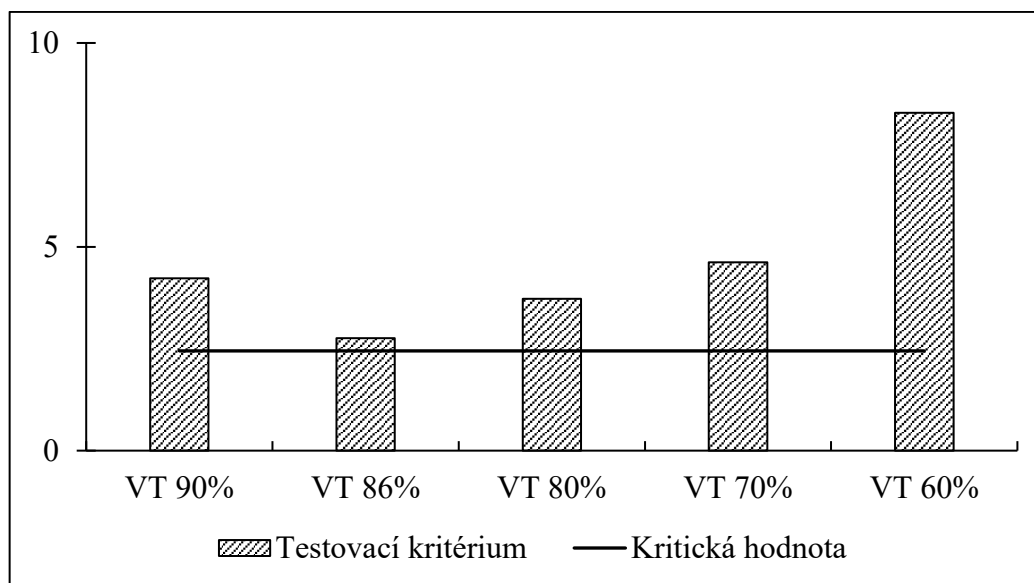
Obrázek 20 Linearizace a rozdělení na fáze protokolu Chopin+

#### 8.4.1 Korelační analýza fáze vývoje těsta protokolu Chopin+

Nulová a alternativní hypotéza byla vyřčena stejná jakožto v předchozím protokolu, neboť podmínky byly stejné.

Tabulka 11 Výsledky korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin+

Přídavek vody	VT 90%	VT 86%	VT 80%	VT 70%	VT 60%
r	-0,865	-0,748	-0,835	-0,883	-0,959
R	0,749	0,560	0,698	0,780	0,920
Testovací kritérium	4,230	2,763	3,723	4,616	8,284
Kritická hodnota	2,447				



Obrázek 21 Grafické znázornění korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin+

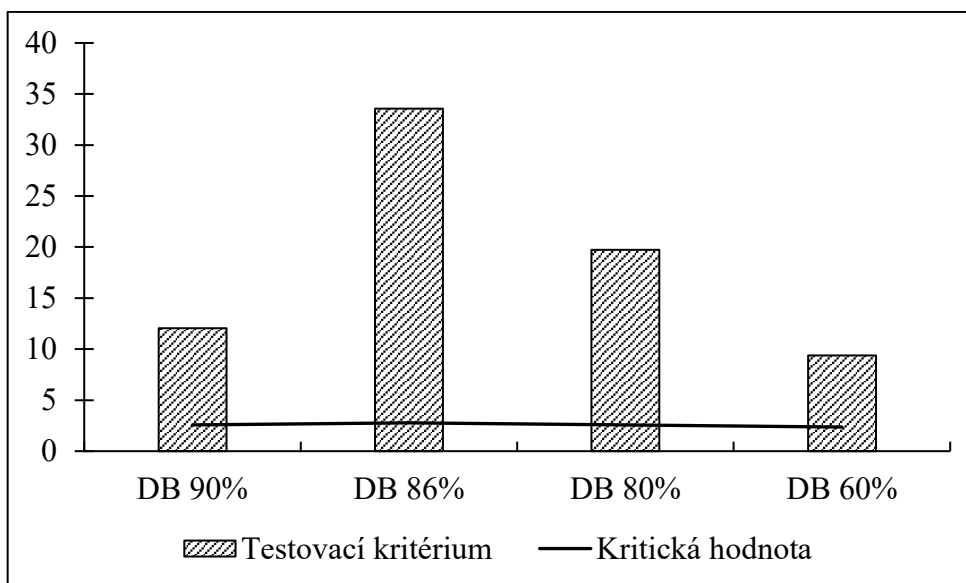
Všechna těsta překročila kritickou hodnotu. Nulová hypotéza byla zamítnuta a přijímá se alternativa. Se spolehlivostí 95 % u všech těst došlo k poklesu konzistence. Ten lze vysvětlit zabudováním plynových pórů do těsta.

#### 8.4.2 Korelační analýza fáze denaturace bílkovin protokolu Chopin+

Jako počátek této fáze byla učena 9. minuta. Ovšem konec této fáze se u těst liší. Jako konec této fáze bylo určeno lokální minimum u všech těst. Jak již bylo zmíněno, těsto se 70% přídatkem vody bylo vyřazeno.

Tabulka 12 Výsledky korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin+

Přídavek vody	DB 90%	DB 86%	DB 80%	DB 60%
Konec fáze [min]	15	14	15	19
r	-0,980	-0,997	-0,992	-0,987
R	0,960	0,995	0,985	0,974
Testovací kritérium	12,041	33,555	19,727	14,890
Kritická hodnota	2,571	2,776	2,571	2,262



Obrázek 22 Grafické znázornění korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin+

Jak lze vidět na grafu v obrázku 22 těsta, která nebyla vyloučena z hodnocení překročila kritickou hodnotu. Nulová hypotéza byla tedy zamítnuta a přijata alternativa. Se spolehlivostí 95 % došlo k poklesu konzistence měřených těst. V této fázi to značí rozpad bílkovinné matrice díky, kterému se uvolnila voda pro další fázi.

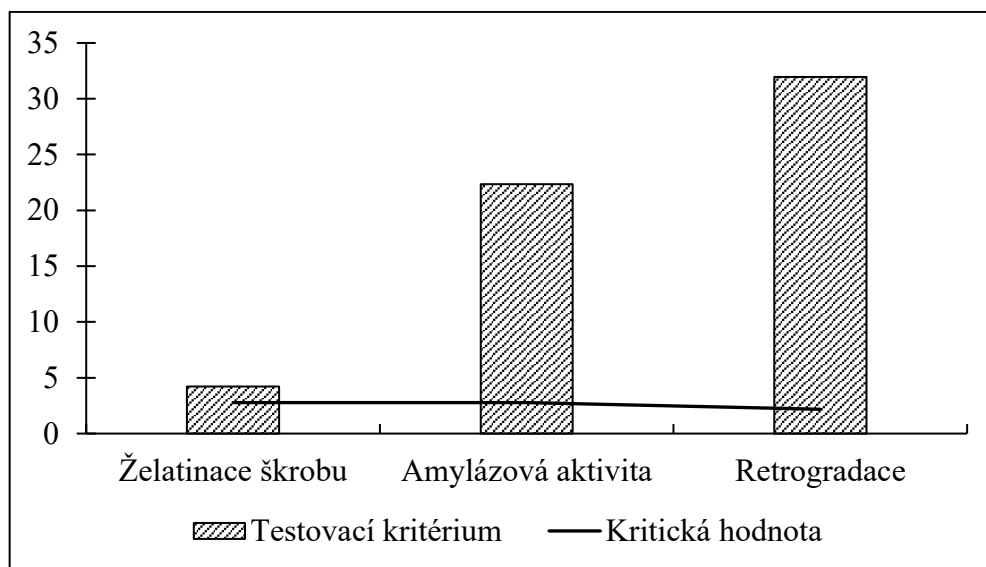
#### 8.4.3 Korelační analýza želatinace škrobu, amylázové aktivity a retrogradace těsta s 60% přídavkem vody

Jak již bylo zmíněno, tak všechna těsta vyjímaje těsta s 60% přídavkem vody byla ve zbylých fázích neměřitelná. Proto jsou zde hodnoceny zbylé fáze 60% přídavku vody.

Tabulka 13 Výsledky korelační analýzy zbylých fází těsta s 60% přídavkem vody protokolu Chopin+

Přídavek vody 60%	Želatinace škrobu	Amylázová aktivita	Retrogradace
Časové rozmezí fází	20–25	26–31	32–45
r	0,904	-0,996	0,994
R	0,817	0,992	0,988
Testovací kritérium	4,227	22,353	31,952
Kritická hodnota	2,776	2,776	2,179





Obrázek 23 Grafické znázornění korelační fáze analýzy želatinace škrobu, amylázové aktivity a retrogradace protokolu Chopin+

Fáze želatinace škrobu:

Nulová hypotéza této fáze se zamítá a přijímá se alternativa. Se spolehlivostí 95 % těsto vykazuje zvýšení odporu těsta proti hnětení vlivem zvyšující se teploty. Toto prudké zvýšení konzistence lze vysvětlit želatinací škrobu. Využívá se voda z rozpadu bílkovinné matrice z předchozí fáze.

Fáze amylázové aktivity:

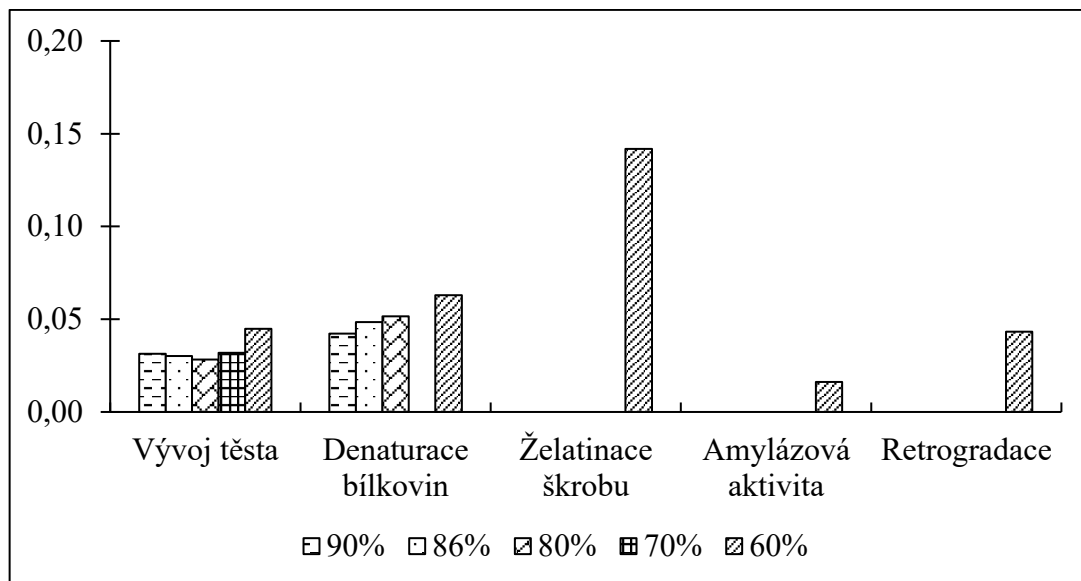
Nulová hypotéza této fáze se zamítá a přijímá se alternativa. Se spolehlivostí 95 % těsto vykazuje snížení odporu těsta nižší rychlostí záhřevu. Toto snížení lze vysvětlit rozkladem amylózy způsobenou aktivitou přítomných amyláz.

Fáze retrogradace:

Nulová hypotéza této fáze se zamítá a přijímá se alternativa. Se spolehlivostí 95 % těsto vykazuje zvýšení odporu těsta vůči hnětení vlivem chlazení. Tento nárůst lze vysvětlit retrogradací škrobu. Vytváří se škrobová matrice.

#### 8.4.4 Rychlost změny konzistence těsta dle protokolu Chopin+

Jednotlivé fáze rozdělující křivky jsou vykresleny v grafu na obrázku 18 Linearizace a rozdělení na jednotlivé fáze protokolu Chopin+.



Obrázek 24 Rychlost změna konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin+

Popis k jednotlivým fázím

Vývoj těsta:

V této fázi se zdá, že všechny rychlosti vývoje těsta se drží velmi blízko sebe, jak lze vidět v grafu, který je na obrázku 24. Rychlost je dokonce nižší u těst s 90%, 86% a 70% přídavkem vody. U dvou nejnižších přídavků vody do těst se zdá být podobná jako v předchozím protokolu.

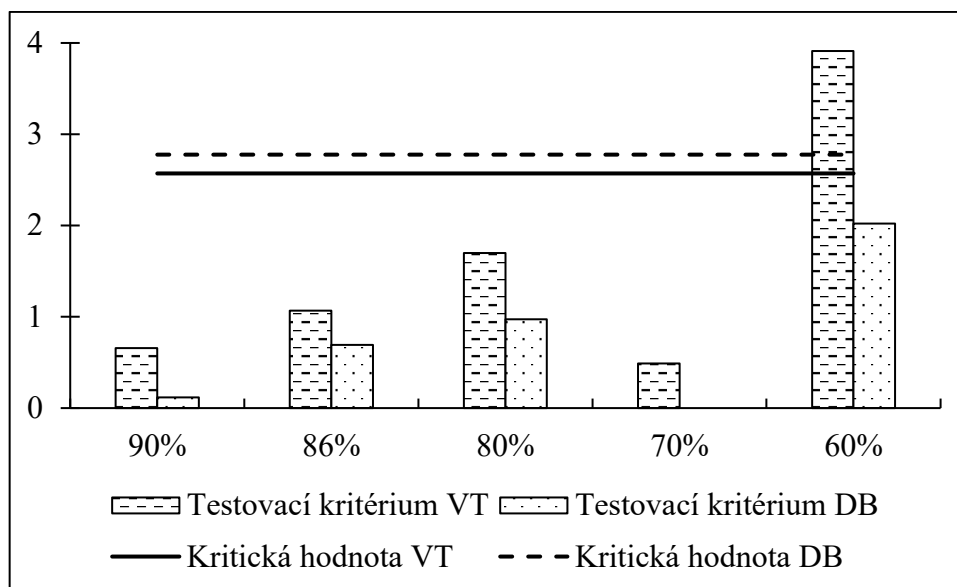
Denaturace bílkovin:

Jak již bylo zmíněno těsto se 70% přídavkem vody bylo z hodnocení vyloučeno kvůli jeho neměřitelnosti v druhé fázi. Zbylá těsta se zdají, že vykazují podobnou rychlost změny konzistence. Těsto s 60% přídavkem vody vykazuje nižší rychlost oproti předešlému protokolu. Nejspíše to bude způsobeno delší dobou ukončení této fáze.

Želatinace škrobu, denaturace bílkovin a retrogradace těsta s 60% přídavkem vody:

Ve zbylých fázích bylo měřitelné pouze těsto s nejnižším přídavkem vody. Opět není překvapující, že rychlost změny konzistence ve fázi želatinace byla nejvyšší a rychlost fáze amylázové aktivity nejnižší. Jsou velmi podobná jako u předchozího protokolu Chopin. Součástí protokolu je i fáze chlazení jak již bylo zmíněno. V této fázi dochází k retrogradaci škrobu a tím vytvoření sacharidové matrice.

Výpočet byl proveden stejný jakožto v případě předchozího protokolu.



Obrázek 25 Výsledky odlehlých hodnot rychlosti změn konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin+

Vývoj těsta:

Jak lze vyčíst z grafu, který je na obrázku 25 těsto s 60% přídavkem vody přesáhlo jako jediné kritickou hodnotu. U zbylých těst se přijímá nulová hypotéza a alternativa se zamítá. Se spolehlivostí 95 % u těchto čtyř těst není významný rozdíl v rychlosti vývoje těsta. Ovšem u těsta s 60% přídavkem vody se nulová hypotéza nepřijímá. Přijímá se alternativa. Se spolehlivostí 95 % je rychlost snížení konzistence vyšší než u zbylých těst v této fázi.

Denaturace bílkovin:

Žádné z testovacích kritérií těst nepřekročilo kritickou hodnotu. U všech těst se přijímá nulová hypotéze. Se spolehlivostí 95 % není v rychlosti změny konzistence u hodnocených těst významný rozdíl ve fázi denaturace bílkovin.

#### 8.4.5 Vliv přídavku vody

Vzhledem k zjištění, že podmínky zpracování jsou nevhodné nelze provést analýzu rozptylu ANOVA pro zjištění vlivu přídavku vody.

## 8.5 Závěr protokolů Chopin a Chopin+

Tabulka 14 Souhrnné výsledky protokolu Chopin

	Přídavek vody	90%	86%	80%	70%	60%
Korelační analýza	Vývoj těsta	-0,810 <sup>a</sup>	-0,775 <sup>a</sup>	-0,794 <sup>a</sup>	-0,870 <sup>a</sup>	-0,987 <sup>b</sup>
	Denaturace bílkovin	-0,997 <sup>a</sup>	-0,992 <sup>a</sup>	-0,988 <sup>a</sup>	-0,997 <sup>a</sup>	-0,998 <sup>a</sup>
	Želatinace škrobu	N	N	N	N	0,984
	Amylázová aktivita	N	N	N	N	-0,991
Rychlost změny konzistence [Nm/min]	Vývoj těsta	7,79 · 10 <sup>-2 a</sup>	7,91 · 10 <sup>-2 a</sup>	5,65 · 10 <sup>-2 a</sup>	3,12 · 10 <sup>-2 a</sup>	3,74 · 10 <sup>-2 a</sup>
	Denaturace bílkovin α	5,78 · 10 <sup>-2 a</sup>	4,87 · 10 <sup>-2 a</sup>	4,78 · 10 <sup>-2 a</sup>	10,1 · 10 <sup>-2 b</sup>	9,48 · 10 <sup>-2 a</sup>
	Želatinace škrobu β	N	N	N	N	17,4 · 10 <sup>-2</sup>
	Amylázová aktivita γ	N	N	N	N	1,55 · 10 <sup>-2</sup>

N – neměřitelné hodnoty

Tabulka 15 Souhrnné výsledky protokolu Chopin+

	Přídavek vody	90%	86%	80%	70%	60%
Korelační analýza	Vývoj těsta	-0,865 <sup>a</sup>	-0,748 <sup>b</sup>	-0,835 <sup>a</sup>	-0,883 <sup>a</sup>	-0,959 <sup>c</sup>
	Denaturace bílkovin	-0,980 <sup>a</sup>	-0,997 <sup>a</sup>	-0,992 <sup>a</sup>	N	-0,987 <sup>a</sup>
	Želatinace škrobu	N	N	N	N	0,904
	Amylázová aktivita	N	N	N	N	-0,996
	Retrogradace	N	N	N	N	0,994
Rychlost změny konzistence [Nm/min]	Vývoj těsta	3,14 · 10 <sup>-2 a</sup>	3,20 · 10 <sup>-2 a</sup>	2,83 · 10 <sup>-2 a</sup>	3,19 · 10 <sup>-2 a</sup>	4,49 · 10 <sup>-2 a</sup>
	Denaturace bílkovin	4,23 · 10 <sup>-2 a</sup>	4,85 · 10 <sup>-2 a</sup>	5,16 · 10 <sup>-2 a</sup>	N	6,29 · 10 <sup>-2 a</sup>
	Želatinace škrobu	N	N	N	N	14,19 · 10 <sup>-2</sup>
	Amylázová aktivita	N	N	N	N	1,63 · 10 <sup>-2</sup>
	Retrogradace	N	N	N	N	4,34 · 10 <sup>-2</sup>

N – neměřitelné hodnoty

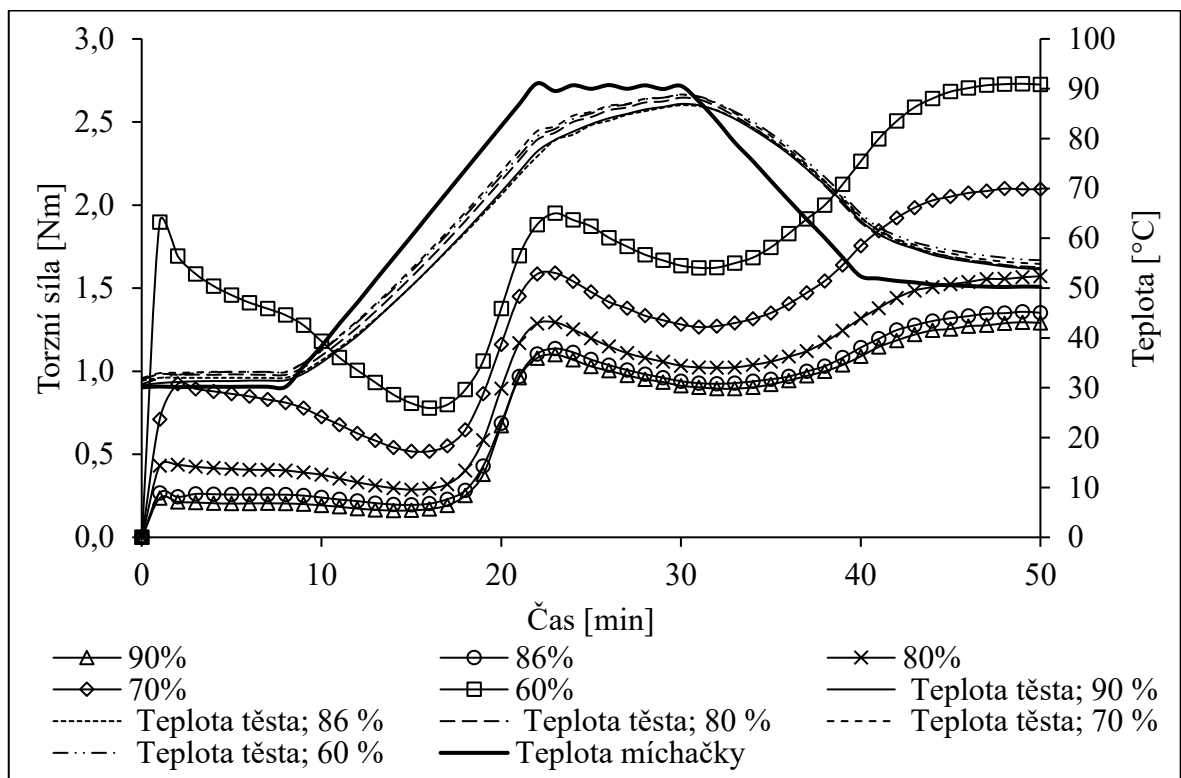
Ve článku: Vlastnosti pečení rýžových chlebů obohacenými proteiny se autoři sice zabývali hlavně přídavkem proteinů z různých zdrojů a přídavkem hydrokoloidů nicméně zabývali se i různými přídavky vody čistě do rýžového těsta. Autoři pracovali s přídavkem zahřáté vody na 65 °C a za nižšího teplotního gradientu fáze želatinace škrobu, nicméně potvrzují domněnku zkoumanou v této práci, že množství přidané vody skutečně ovlivňuje reologické

vlastnosti těsta. Jak z jejich, tak i z této práce vyplývá následující trend. Se zvyšujícím se přídavkem vody se snižuje odpor těsta vůči hnětení. Jak lze vidět v tabulkách 21 a 22 [52].

## 8.6 Výsledky Rice1

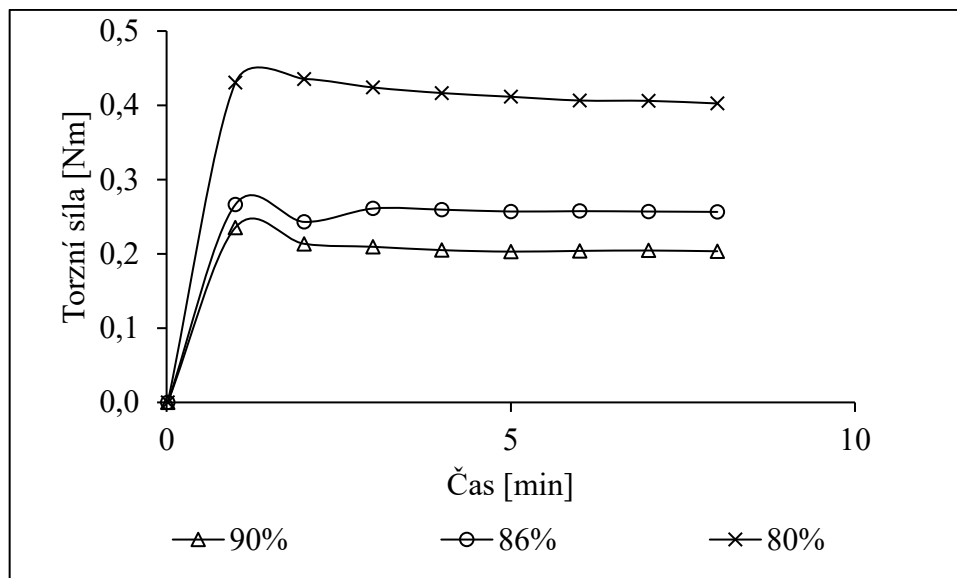
Protokol Rice1 pracuje při vyšší otáčkách a také je doba měření 50 minut oproti protokolu Chopin+. Prozatím byly všechny protokoly vyvinuty pro zjišťování vlastností pšeničného těsta. Tento protokol by měl vhodně měřit vlastnosti rýžového těsta.

Jak lze vidět na Obrázku 26 zvýšení otáček nejspíše zajistilo měřitelné výsledky všech přídavků vody. Dále lze vidět, že na začátku měření těsta se 70% přídavkem vody došlo k vývoje těsta až ve druhé minutě. Z tohoto důvodu byla tato hodnota považována za počáteční hodnotu i během vyhodnocení. K tomuto pomalejšímu vývoje těsta došlo v průběhu obou měření.



Obrázek 26 Hodnoty měření dle protokolu Rice1

Další podezřelou hodnotou je 2. minuta u těsta s 86% přídavkem vody jak lze vidět na Obrázku 25 jež je zvětšeninou části grafu Obrázku 24. Tvarem křivky první fáze se zcela odlišuje od tvaru stejné fáze u zbylých protokolů. Navíc k tomuto poklesu došlo pouze v jednom ze dvou měření. Hodnotu je třeba otestovat zda-li se nejedná o náhodu.



Obrázek 27 Přiblížení grafu hodnot měření dle protokolu Rice1

Testování fáze vývoje těsta s 86% přídavkem vody na odlehlé hodnoty. Byly testovány obě měření v této fázi pomocí Grubbsova testu na odlehlé hodnoty následovně. Průměr byl vypočten pomocí funkce =PRŮMĚR() v programu excel značeno  $\mu$ . Směrodatná odchylka výběru byla spočtena pomocí funkce =SMODCH.VÝBĚR.S(). Kritická hodnota byla určena dle kvantilů Studentova rozdělení na hladině významnosti 5 %.

Ukázkový výpočet testovacího kritéria hodnoty 1. minuty 1. měření těsta s 86% přídavkem vody:

$$T = \frac{|x - \mu|}{\sigma} \quad (3)$$

T Testovací kritérium

x Testovaná hodnota

$\mu$  Průměr

$\sigma$  Směrodatná odchylka výběru

$$T = \frac{|0,256 - 0,260|}{0,014}$$

$$T = 0,723$$

Kritická hodnota:

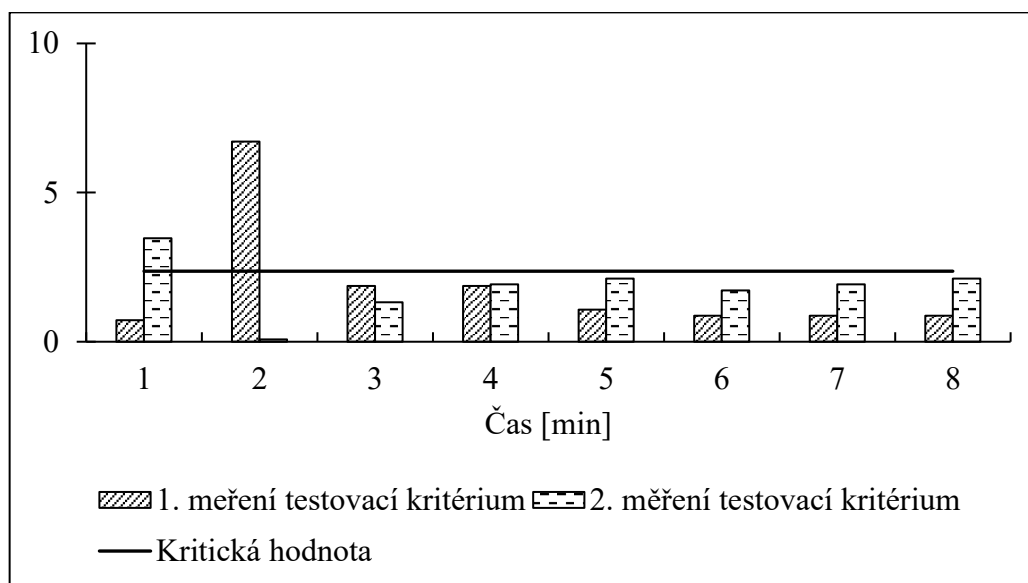
$$T_{krit.} = 2,364$$

Srovnání:

$$0,723 < 2,364$$

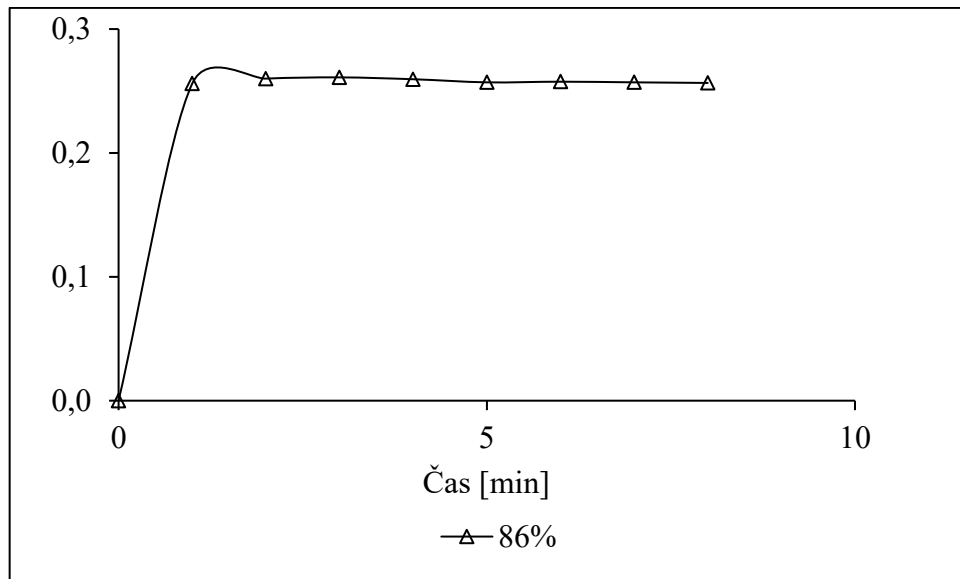
$$T < T_{krit.}$$

Testované kritérium se nachází pod kritickou hodnotou. Se spolehlivostí 95 % testovaná hodnota patří do zkoušeného výběru. Zbytek vypočtených testovacích kritérií bylo zaneseno do grafu, který je na obrázku 28.

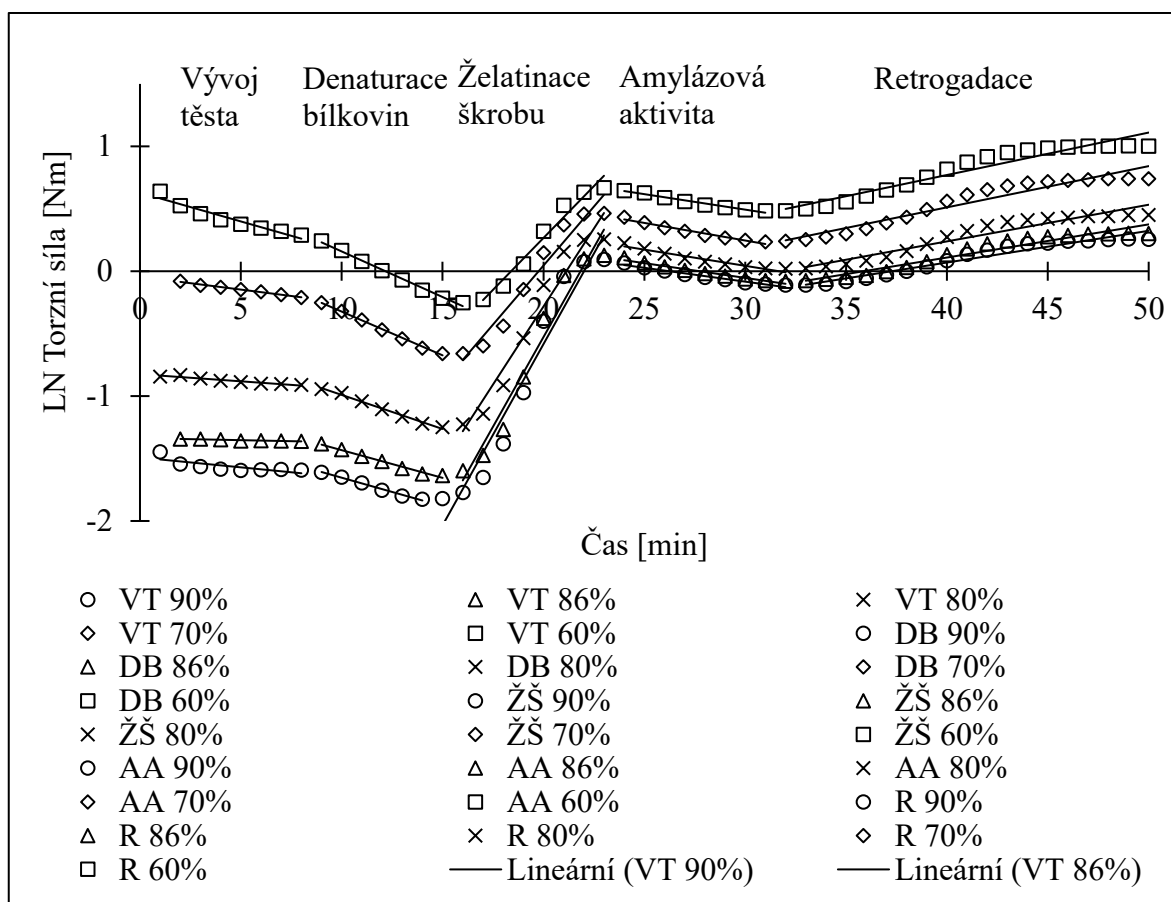


Obrázek 28 Grubbsův test na odlehlé hodnoty obou měření pro těsto s 86%  
přídavkem vody

Jak je patrné z Obrázku 26 tak hodnoty ve 2. minuta 1. měření a 1. minutě 2. měření jsou odlehlé. Lze je z výběru vyloučit s 95 % spolehlivosti. Na obrázku 29 lze vidět jak křivka vypadá po vyloučení hodnot.



Obrázek 29 Křivka po vyloučení odlehých hodnot pro těsto s 86%  
přídavkem vody



Obrázek 30 Linearizace a rozdělení na fáze protokolu Rice1

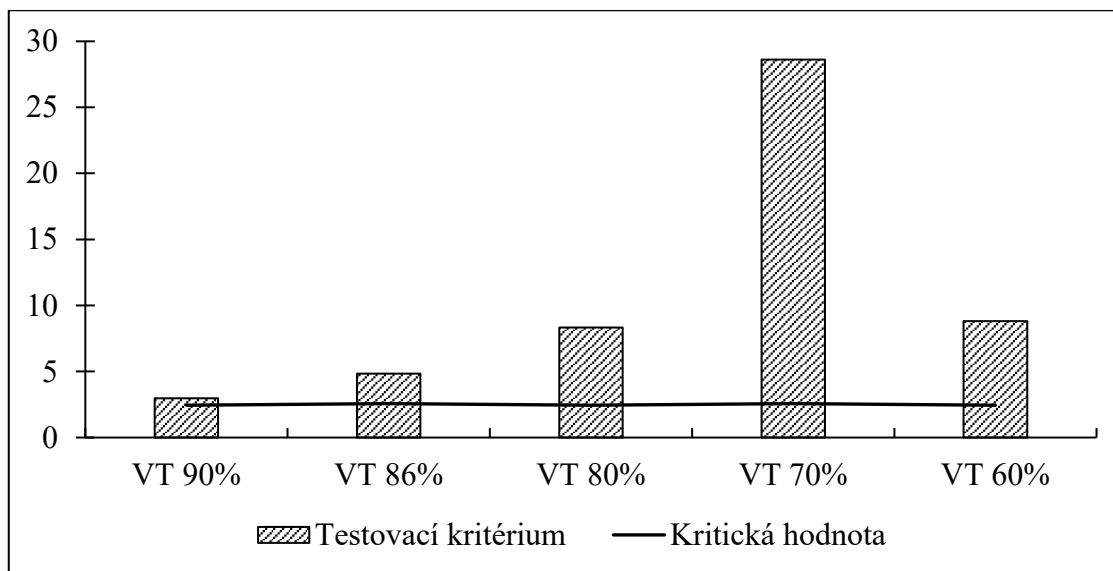


### 8.6.1 Korelační analýza vývoje těsta protokolu Rice1

Jako počátek této fáze byla zvolena nejvyšší hodnota u jednotlivých křivek. Z tohoto důvodu byla u těst s 86% a 70% přídavkem vody jako počáteční hodnota zvolena hodnota odporu těsta ve 2. minutě. Konec této fáze je u všech těst v 8. minutě.

Tabulka 16 Výsledky korelační analýzy fáze vývoje těsta protokolu Rice1

Přídavek vody	VT 90%	VT 86%	VT 80%	VT 70%	VT 60%
Rozmezí fází [min]	1-8	2-8	1-8	2-8	1-8
r	-0,771	-0,893	-0,959	-0,996	-0,963
R	0,594	0,797	0,921	0,993	0,928
Testovací kritérium	2,965	4,848	8,340	28,608	8,803
Kritická hodnota	2,447	2,571	2,447	2,571	2,447



Obrázek 31 Výsledky korelační analýzy fáze vývoje těsta protokolu Rice1

Všechny testovací kritéria těst přesáhla kritickou hodnotu jak lze vyčíst z grafu na obrázku 31. Se spolehlivostí 95 % se nulová hypotéza nepřijímá a přijímá se alternativa. Těsta se liší v konzistenci. Konzistence těst je klesající, což značí zabudování plynových pórů do těst. Oproti těstu obsahujícím lepek má tato část zcela jiný průběh. Tvarem se podobá měření těstu se slabým lepkem. [48]

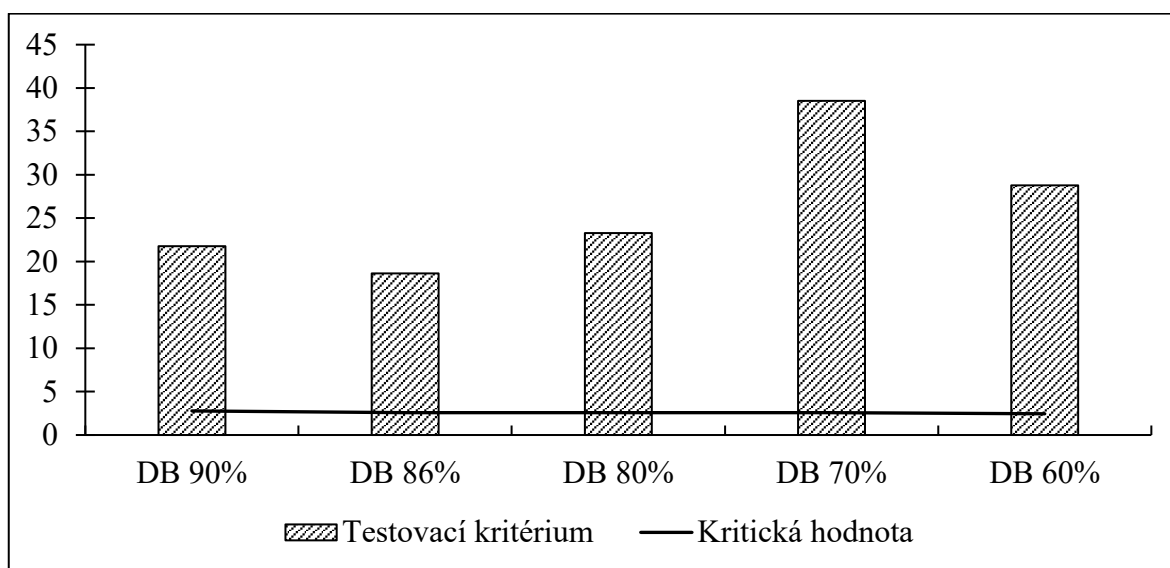
### 8.6.2 Korelační analýza denaturace bílkovin protokolu Rice1

Počátek této fáze je u všech těst v 9. minutě. Jako konec fáze byla u každého těsta zvolena nejnižší hodnota odporu těsta.

Tabulka 17 Výsledky korelační analýzy fáze denaturace bílkovin protokolu

Rice1

Přídavek vody	DB 90%	DB 86%	DB 80%	DB 70%	DB 60%
Rozmezí fází [min]	9-14	9-15	9-15	9-15	9-16
r	-0,996	-0,993	-0,995	-0,998	-0,996
R	0,992	0,986	0,991	0,997	0,993
Testovací kritérium	21,768	18,633	23,280	38,537	28,778
Kritická hodnota	2,776	2,571	2,571	2,571	2,447



Obrázek 32 Výsledky korelační analýzy fáze denaturace bílkovin protokolu Rice1

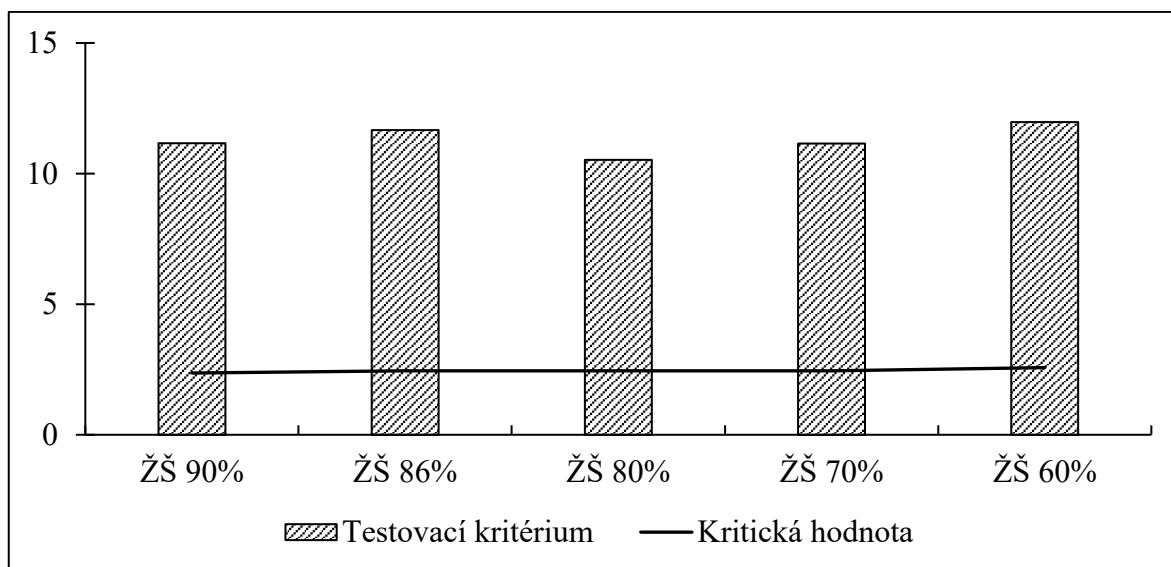
Všechny testovací kritéria těst přesáhla kritickou hodnotu, jak lze vyčíst z grafu na obrázku 30. Se spolehlivostí 95 % se nulová hypotéza zamítá a přijímá se alternativa. Těsta se liší v konzistenci. Konzistence těst je klesající, to značí denaturaci bílkovinné matrice. [48]

### 8.6.3 Korelační analýza želatinace škrobu protokolu Rice1

Dle lokálních extrémů byly určeny počátky a konce fáze želatinace škrobu tohoto protokolu. Ty jsou uvedeny v tabulce 15 společně s výsledky korelační analýzy.

Tabulka 18 Výsledky korelační analýzy fáze želatinace škrobu protokolu Rice1

Přídavek vody	ŽŠ 90%	ŽŠ 86%	ŽŠ 80%	ŽŠ 70%	ŽŠ 60%
Rozmezí fází [min]	15-23	16-23	16-23	16-23	17-23
r	0,973	0,979	0,974	0,977	0,983
R	0,947	0,958	0,949	0,954	0,966
Testovací kritérium	11,157	11,669	10,521	11,155	11,969
Kritická hodnota	2,365	2,447	2,447	2,447	2,571



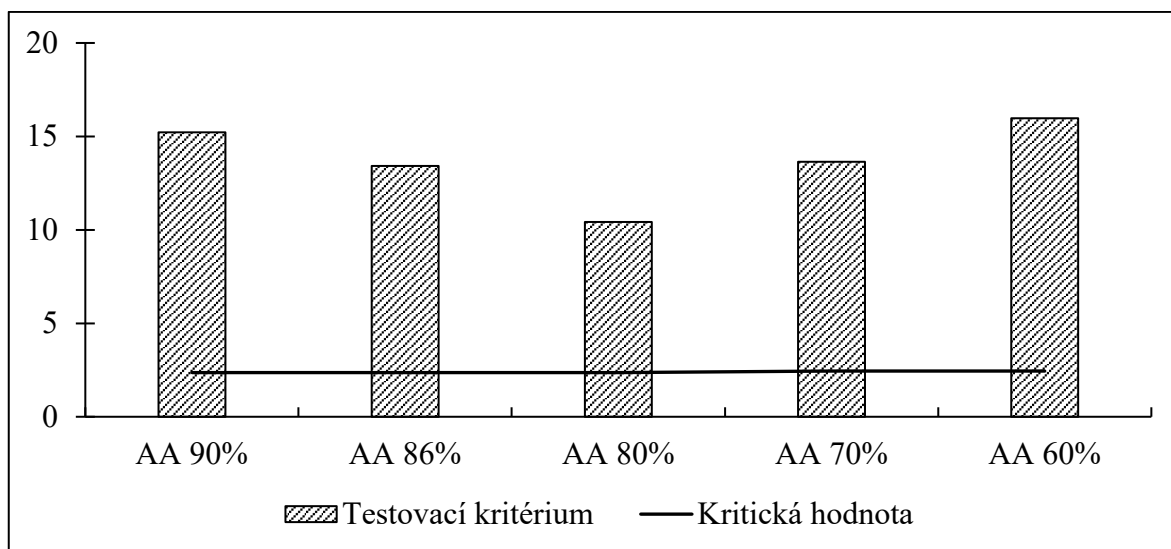
Obrázek 33 Výsledky korelační analýzy fáze želatinace škrobu protokolu Rice1

Všechny testovací kritéria těst přesáhla kritickou hodnotu jak lze vyčíst z grafu na obrázku 33. Se spolehlivostí 95 % se nulová hypotéza zamítá a přijímá se alternativa. Těsta se liší v konzistenci. Konzistence těst je strmě stoupající, což značí želatinaci škrobu. Škrob je hlavní složkou mouky a jeho chování přispívá ke struktuře pečiva zejména při výrobě bezlepkového pečiva v důsledku absence lepkové sítě. [49]

#### 8.6.4 Korelační analýza fáze amylázové aktivity protokolu Rice1

Tabulka 19 Výsledky korelační analýzy fáze amylázové aktivity protokolu Rice1

Přídavek vody	AA 90%	AA 86%	AA 80%	AA 70%	AA 60%
Rozmezí fází [min]	24-32	24-32	24-32	24-31	24-31
r	-0,985	-0,981	-0,969	-0,984	-0,988
R	0,971	0,963	0,939	0,969	0,977
Testovací kritérium	15,215	13,420	10,425	13,641	15,975
Kritická hodnota	2,365	2,365	2,365	2,447	2,447



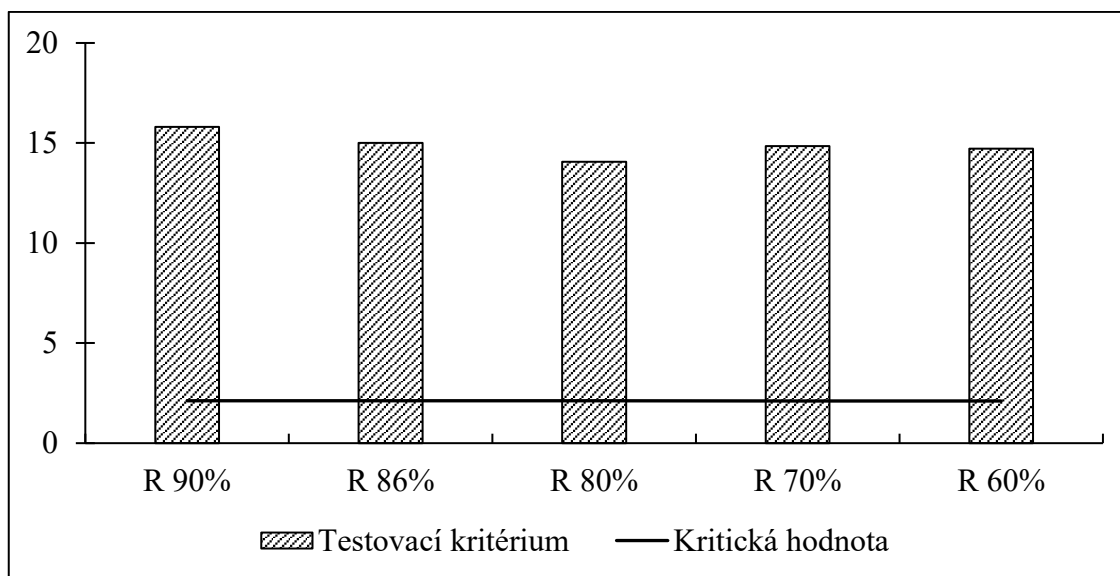
Obrázek 34 Výsledky korelační analýzy fáze amylázové aktivity protokolu Rice1

Všechna testovací kritéria těst přesáhla kritickou hodnotu, jak lze vyčíst z grafu na obrázku 34. Se spolehlivostí 95 % se nulová hypotéza nepřijímá a přijímá se alternativa. Těsta se liší v konzistenci. Konzistence těst je mírně klesající, což značí amylázovou aktivitu. [48]

### 8.6.5 Korelační analýza retrogradace protokolu Rice1

Tabulka 20 Výsledky korelační analýzy fáze retrogradace protokolu Rice1

Přídavek vody	R 90%	R 86%	R 80%	R 70%	R 60%
Rozmezí fází [min]	33-50	33-50	33-50	32-50	32-50
r	0,969	0,966	0,962	0,963	0,963
R	0,940	0,934	0,925	0,928	0,927
Testovací kritérium	15,806	15,011	14,069	14,839	14,720
Kritická hodnota	2,120	2,120	2,120	2,110	2,110

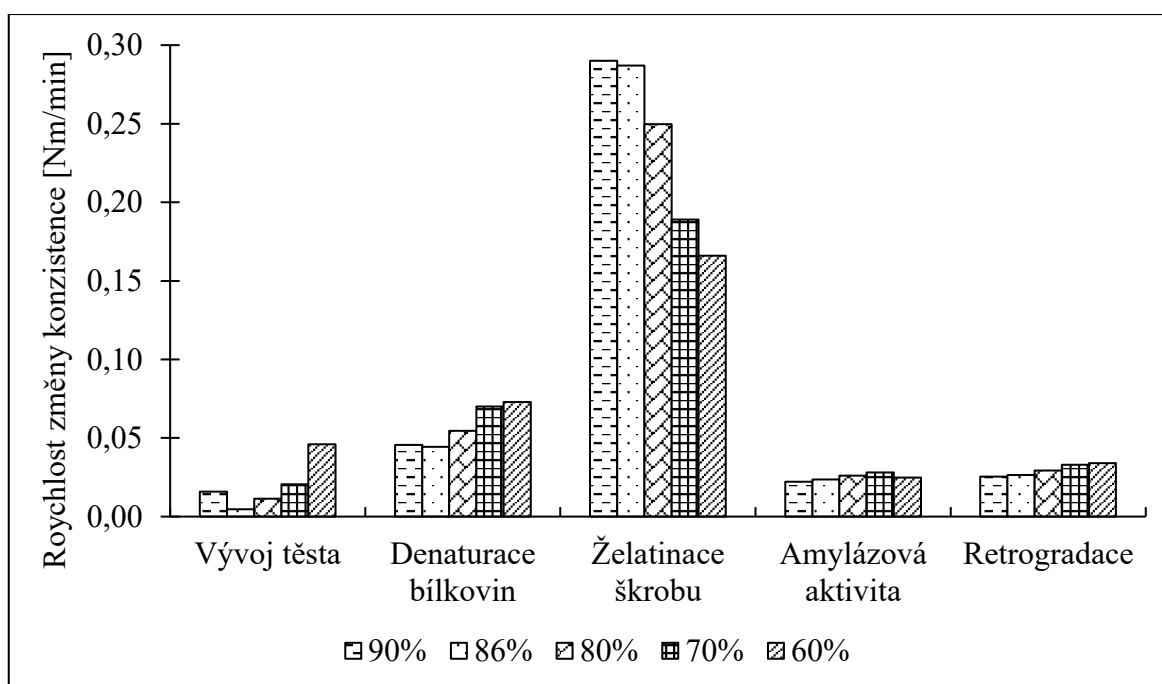


Obrázek 35 Výsledky korelační analýzy fáze retrogradace protokolu Rice1

Všechna testovací kritéria těst přesáhla kritickou hodnotu, jak lze vyčíst z grafu na obrázku 33. Se spolehlivostí 95 % se nulová hypotéza nepřijímá a přijímá se alternativa. Těsta se liší v konzistenci. Konzistence těst je stoupající, to značí retrogradaci. [50]

### 8.6.6 Rychlost změny konzistence těsta dle protokolu Rice1

Jednotlivé fáze rozdělující křivky jsou vykresleny v grafu na obrázku 30 Linearizace a rozdělení na jednotlivé fáze protokolu Rice1.



Obrázek 36 Rychlost změny konzistence jednotlivých fází protokolu Rice1

Vývoj těsta:

V této fázi se zdají být rychlosti změny konzistence u všech těst vyjímaje 60% přidavku vody výrazně nižší. Rychlost změny konzistence tohoto těsta se zdá být podobná, jakožto ve všech předchozích případech.

Denaturace bílkovin:

Těsta se 70% a 60% přidavkem vody se zdají mít vyšší rychlost změny konzistence než v předešlých případech. Zbylá tři těsta mají podobnou rychlost.

Želatinace škrobu:

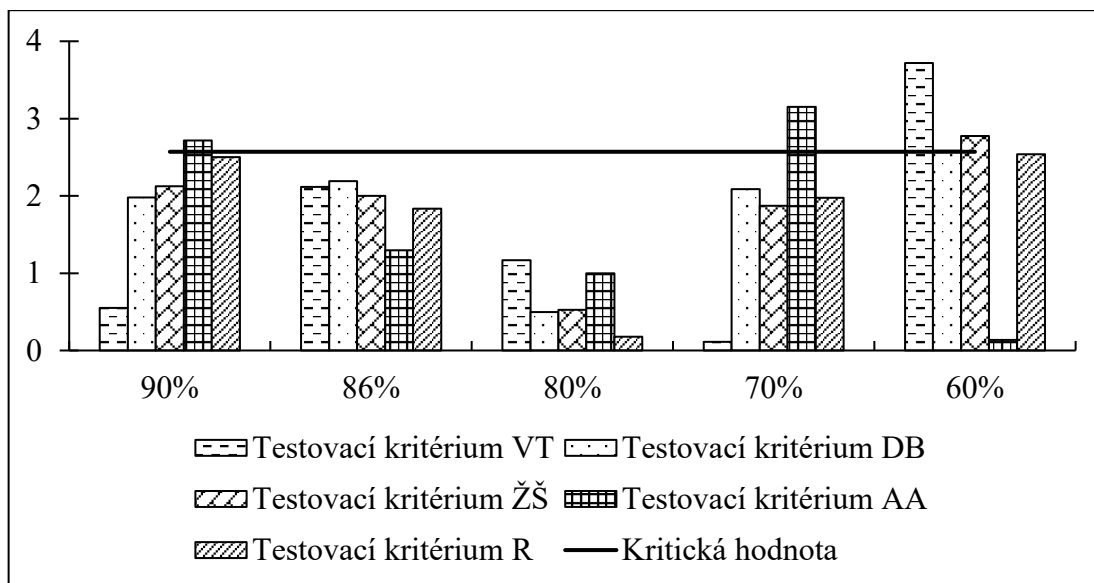
Fáze želatinace škrobu je jednoznačně fází s nejrychlejší změnou konzistence ze všech fází. Zde lze pozorovat nepochybně trend, který říká, čím vyšší přidavek vody, tím rychlejší změna konzistence v této fázi.

Amylázová aktivita:

Rychlost změny konzistence v této fázi se zdá být velmi podobná.

Retrogradace:

Rychlost změny konzistence v této fázi se zdá být velmi podobná.



Obrázek 37 Výsledky odlehklých hodnot rychlosti změny konzistence jednotlivých fází protokolu Rice1

Popis grafu na obrázku 37

Vývoj těsta:

Kritickou hodnotu přesáhlo pouze těsto s 60% přídavkem vody. Se spolehlivostí 95 % se nepřijímá nulová hypotéza, ale přijímá se alternativa. S pravděpodobností 95% má těsto s 60% přídavkem vody výrazně vyšší rychlost změny konzistence těsta ve fázi vývoje těsta. U zbylých těst nikoliv. [48]

Denaturace bílkovin:

Kritickou hodnotu přesáhlo opět pouze těsto s 60% přídavkem vody. Se spolehlivostí 95 % se nepřijímá nulová hypotéza, ale přijímá se alternativa. S pravděpodobností 95% má těsto s 60% přídavkem vody výrazně vyšší rychlost změny konzistence těsta ve fázi denaturace bílkovin. Zdá se, že bílkovinná matrice tohoto těsta denaturuje rychleji než u zbylých testovaných těst. [48]

Želatinace škrobu:

Kritickou hodnotu přesáhlo zase těsto s 60% přídavkem vody. U tohoto těsta se tedy nulová hypotéza nepřijímá, ale přijímá se alternativa. Se spolehlivostí 95% želatinace škrobu probíhá výrazně rychleji u tohoto těsta. Rychlá želatinace škrobu vede k efektivnějšímu uchování plynů. [50]

Amylázová aktivita:

Kritickou hodnotu přesáhly těsta s 90% a 70% přídavkem vody. U těchto těst se nepřijímá nulová hypotéza, ale přijímá se alternativa. Se spolehlivostí 95 % má rychlost změny konzistence, která v této fázi reprezentuje amylázovou aktivitu výrazně vyšší těsto se 70% přídavkem vody a 90% přídavkem vody. [48]

Retrogradace:

Žádné z těst nepřesáhlo kritickou hodnotu. U všech těst se tedy přijímá nulová hypotéza. Se spolehlivostí 95 % je rychlost Retrogradace podobná a výrazně se neliší. [49]

### **8.6.7 Vliv přídavku vody**

Vliv přídavku vody u tohoto protokolu byl hodnocen stejnou metodou jako u protokolu Chopin S.

Tabulka 21 Výsledky ANOVA jeden faktor protokolu Rice1

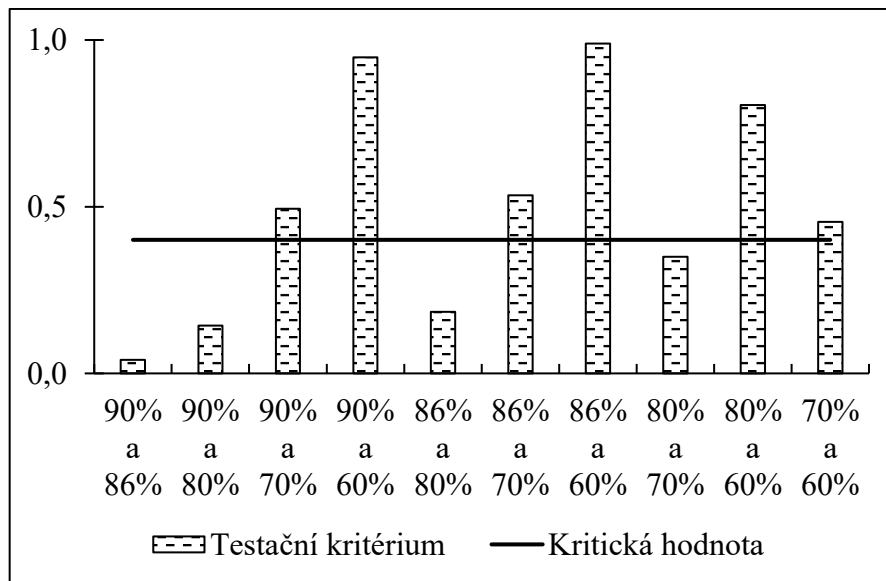
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	35,088	4	8,772	33,95	$1,25 \cdot 10^{-22}$	2,41
Všechny výběry	64,593	250	0,258			
<b>Celkem</b>	<b>99,681</b>	<b>254</b>				

Z tabulky 18 je patrné, že testační kritérium přesáhlo kritickou hodnotu. Je proto nutné provést Scheffého metodu vícenásobného porovnávání. Tato metody byla provedena stejně jako v předchozím případě u protokolu Chopin S.

Tabulka 22 Faktor ANOVA protokolu Rice1

Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
90%	51	38,703	0,759	0,199
86%	51	36,617	0,718	0,196
80%	51	46,021	0,902	0,221
70%	51	63,883	1,253	0,286
60%	51	87,061	1,707	0,389

V tabulce 19 jsou hodnoty nezbytné pro provedení Scheffého metody vícenásobného porovnávání.



Obrázek 38 Výsledky Scheffého metody vícenásobného porovnávání vlivu přídatku vody protokolu Rice1

Jak lze vyčíst z grafu na obrázku 37 zde je více testů, které jsou pod kritickou hodnotou. Mezi testy s 90%, 86%, 80% přídatkem vody a 80%, 70% přídatkem vody se přijímá nulová hypotéza a alternativa se zamítá. Se spolehlivostí 95 % není mezi těmi testy statisticky významný rozdíl vzhledem k přídatku vody. U zbylých porovnávaných dvojic



testační kritérium přesáhlo kritickou hodnotu. Což znamená, že se spolehlivostí 95 % je mezi nimi rozdíl vzhledem k přidávku vody.

## 8.7 Závěr protokolu Rice1

Tabulka 23 Souhrnné výsledky protokolu Rice1

	Přídavek vody	90%	86%	80%	70%	60%
Korelační analýza	Vývoj těsta	-0,771 <sup>a</sup>	-0,893 <sup>b</sup>	-0,959 <sup>c</sup>	-0,996 <sup>c</sup>	-0,963 <sup>c</sup>
	Denaturace bílkovin	-0,996 <sup>a</sup>	-0,993 <sup>a</sup>	-0,996 <sup>a</sup>	-0,998 <sup>a</sup>	-0,996 <sup>a</sup>
	Želatinace škrobu	0,973 <sup>a</sup>	0,979 <sup>a</sup>	0,974 <sup>a</sup>	0,977 <sup>a</sup>	0,983 <sup>a</sup>
	Amylázová aktivita	-0,985 <sup>a</sup>	-0,981 <sup>a</sup>	-0,969 <sup>a</sup>	-0,984 <sup>a</sup>	-0,988 <sup>a</sup>
	Retrogradace	0,969 <sup>a</sup>	0,966 <sup>a</sup>	0,969 <sup>a</sup>	0,964 <sup>a</sup>	0,963 <sup>a</sup>
Rychlost změny konzistence [Nm/min]	Vývoj těsta	1,58·10 <sup>-2a</sup>	0,47·10 <sup>-2a</sup>	1,14·10 <sup>-2a</sup>	2,05·10 <sup>-2a</sup>	4,60·10 <sup>-2a</sup>
	Denaturace bílkovin	4,56·10 <sup>-2a</sup>	4,44·10 <sup>-2a</sup>	5,45·10 <sup>-2a</sup>	7,00·10 <sup>-2a</sup>	7,30·10 <sup>-2a</sup>
	Želatinace škrobu	29,01·10 <sup>-2a</sup>	28,70·10 <sup>-2a</sup>	24,97·10 <sup>-2ab</sup>	18,89·10 <sup>-2bc</sup>	16,60·10 <sup>-2c</sup>
	Amylázová aktivita	2,22·10 <sup>-2a</sup>	2,36·10 <sup>-2a</sup>	2,60·10 <sup>-2a</sup>	2,82·10 <sup>-2a</sup>	2,48·10 <sup>-2a</sup>
	Retrogradace	2,54·10 <sup>-2a</sup>	2,65·10 <sup>-2a</sup>	2,94·10 <sup>-2a</sup>	3,30·10 <sup>-2a</sup>	3,40·10 <sup>-2a</sup>
Vliv přidavku vody (hodnoceno jako průměr)		0,759 <sup>a</sup>	0,718 <sup>a</sup>	0,902 <sup>a</sup>	1,253 <sup>b</sup>	1,707 <sup>c</sup>

### Rychlost změny konzistence

Při srovnávání rychlosti změny konzistence, jak lze vidět v Tabulce 23 byl odhalen zajímavý trend. Do těsta s nejnižším přidavkem vody bylo nejspíše zabudováno největší množství pórů, které by se během kypření a pečení zvětšili. Ovšem toto zvětšení bílkovinná matrice rýžového těsta nevydrží [53].

Nejspíše by bylo vhodné co nejrychleji získat sacharidovou matici, která snad vydrží tento tlak během pečení. Ovšem získání velkého množství pórů dle měření poskytuje těsto s 60% přidavkem vody. Čímž se ovšem naráží na jistý problém. Čím rychleji proběhla fáze

denaturace bílkovin, tím pomalejší byla želatinace škrobu. Rychlá denaturace bílkovin by mohla značit nedostatečnou hydrataci bílkovin, které vytvořili matici. Proto při denuraci nemohlo být uvolněno dostatečné množství vody, která je potřebná během želatinace [54].

Tabulka 24 Počáteční a konečné teploty jednotlivých fází protokolu Rice 1

Těsto		90%	86%	80%	70%	60%
Vývoj těsta	Začátek f.	32,2 <sup>bc</sup>	31,0 <sup>a</sup>	32,8 <sup>c</sup>	33,0 <sup>c</sup>	31,9 <sup>b</sup>
	Konec f.	32,1 <sup>ab</sup>	31,5 <sup>a</sup>	32,6 <sup>b</sup>	33,2 <sup>bc</sup>	33,2 <sup>bc</sup>
Denaturace bílkovin	Začátek f.	33,5 <sup>ab</sup>	32,9 <sup>a</sup>	34,1 <sup>bc</sup>	35,1 <sup>c</sup>	35,0 <sup>c</sup>
	Konec f.	47,7 <sup>a</sup>	50,4 <sup>ab</sup>	52,2 <sup>b</sup>	53,8 <sup>bc</sup>	57,1 <sup>c</sup>
Želatinace škrobu	Začátek f.	51,2 <sup>a</sup>	54,0 <sup>ab</sup>	55,9 <sup>b</sup>	57,5 <sup>b</sup>	60,8 <sup>bc</sup>
	Konec f.	80,4 <sup>ab</sup>	79,8 <sup>a</sup>	81,2 <sup>b</sup>	82,5 <sup>c</sup>	82,0 <sup>bc</sup>
Amylázová aktivita	Začátek f.	82,0 <sup>a</sup>	81,4 <sup>a</sup>	83,4 <sup>b</sup>	84,6 <sup>c</sup>	84,0 <sup>bc</sup>
	Konec f.	85,9 <sup>a</sup>	85,6 <sup>a</sup>	86,5 <sup>a</sup>	88,3 <sup>b</sup>	88,5 <sup>b</sup>
Retrogradace	Začátek f.	84,1 <sup>a</sup>	84,0 <sup>a</sup>	84,5 <sup>a</sup>	87,0 <sup>b</sup>	87,2 <sup>b</sup>
	Konec f.	53,9 <sup>a</sup>	53,8 <sup>a</sup>	54,2 <sup>ab</sup>	54,9 <sup>bc</sup>	55,6 <sup>c</sup>

Jak lze vidět v Tabulce 24 počáteční teploty želatinace škrobu u jednotlivých těst se značně liší. Lze zde pozorovat nepřímou úměru mezi počáteční teplotou želatinace a množstvím vody v těstě. Nízká želatinační teplota je tedy užitečnou charakteristikou pro predikci dobré výroby chleba [55].

Výsledky vlivu vody na konzistenci těsta jsou uvedeny v tabulce 23. Potvrzuje pozorování výsledků autorů (Xie L. a spol. 2011) s autory (Hoe S. a spol. 2014). (Xie L. a spol. 2011) využil při svém výzkumu těsto , kde byl 70% přírůstek vody a křivky mixolabu dosahovaly nižších lokálních extrémů oproti autorovi (HOE s. a spol. 2014), kteří využívali těsto s 60% přírůstkem vody za stejných podmínek [56, 57].

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjištění zda-li odlišné množství vody využitě pro tvorbu těsta ovlivní jeho reologické vlastnosti. To bylo jednoznačně potvrzeno. Množství přidané vody byly záměrně voleny vždy menší než navážka mouky. Byl pozorován trend nepřímé úměry mezi konzistencí těsta a množstvím přidané vody. Čím byl přídavek vody menší, tím bylo těsto tužší a drobivější. Nicméně se zdá, že těsto se 60% přídavkem vody vykazuje na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  významný pokles konzistence. Dále bylo prokázáno, že vhodnější rychlost otáček během měření je 120 ot./min než 80 ot./min. Dle hodnocení rychlosti změny konzistence protokolu Rice1 bylo prokázání, že denaturace bílkovin probíhá nejrychleji nejspíše u těst se 70% a 60% přídavku vody. Ovšem u těchto dvou těst byla rychlost želatinace škrobu nejnižší. Zatím, co u těst s nejvyššími přídavky vody byl trend přesně opačný. Což je nejspíše způsobeno množstvím uvolněné vody ve fázi denaturace bílkovin. U těst s 90%, 86%, 80% a 70% na základě změny konzistence bylo zjištěno, že dostačující doba hnětení jsou nejspíše 2 - 3 minuty. U těsta s 60% přídavkem vody bude dostačující doba hnětení nejspíše 8 – 10 minut.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MONDAL, Arpita a A.K. DATTA. Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering* [online]. 2008, 86(4), 465-474 [cit. 2020-04-24]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877407005869>
- [2] SCHIRALDI, A a D FESSAS. The role of water in dough formation and bread quality [online]. 2012, (229), 352-369 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: [http://apps.webofknowledge.com.proxy.k.utb.cz/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&qid=13&SID=D5OJw4a9VK2kr7Xw9Hw&page=1&doc=7](http://apps.webofknowledge.com.proxy.k.utb.cz/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=13&SID=D5OJw4a9VK2kr7Xw9Hw&page=1&doc=7)
- [3] Fetouhi, A., Benatallah, L., Nawrocka, A. et al. Investigation of viscoelastic behaviour of rice-field bean gluten-free dough using the biophysical characterization of proteins and starch: a FT-IR study. *J Food Sci Technol* 56, 1316–1327 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03602-2>
- [4] DE LA HERA, Esther, Manuel GOMEZ a Cristina M. ROSELL. Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2013, 98(1), 421-427 [cit. 2020-04-24]. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.06.002. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861713005973>
- [5] VELÍŠEK Jan a Jana HAJŠLOVÁ. *Chemie potravin. Rozš. a přeprac. 3. vyd.* Tábor: OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-17-6.
- [6] PETR Jiří a kolektiv. *Počasí a výnosy.* 1987. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- [7] Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M. & Juszczak, L. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29, 68– 74.
- [8] Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M. & Juszczak, L. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29, 68– 74.
- [9] ELIASSON, Ann-Charlotte, Björn BERGENSTÅHL, Lars NILSSON a Malin SJÖÖ. From Molecules to Products: Some Aspects of Structure–Function Relationships in Cereal Starches. *Cereal Chemistry Journal* [online]. 2013, 90(4), 326-334 [cit. 2020-03-04].

DOI: 10.1094/CCHEM-08-12-0107-FI. ISSN 0009-0352. Dostupné z:  
<http://doi.wiley.com/10.1094/CCHEM-08-12-0107-FI>

[10] MARQUEZ-ESCALANTE, Jorge A., Agustín RASCÓN-CHU, Alma CAMPAMADA, Karla G. MARTÍNEZ-ROBINSON a Elizabeth CARVAJAL-MILLAN. Influence of carboxymethylation on the gelling capacity, rheological properties, and antioxidant activity of feruloylated arabinoxylans from different sources. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2019, 137(5) [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1002/app.48325. ISSN 0021-8995. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.48325>

[11] Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., & O'Mahony, J. A. (2017). Composition and protein profile analysis of rice protein ingredients. *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, 18–26.

[12] Salah, K., Olkhovatov, E.A. & Aïder, M. Effect of canola proteins on rice flour bread and mathematical modelling of the baking process. *J Food Sci Technol* 56, 3744–3753 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03842-2>

[13] GALLAGHER, Eimear. *Gluten-free food science and technology*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2009. ISBN 9781405159159

[14] Guerra, N. P., Torrado-Agrasar, A., López-Macías, C., Martínez-Carballo, E., García-Falcón, S., Simal-Gándara, J., & Pastrana-Castro, L. M. (2009). Use of Amylolytic Enzymes in Brewing. *Beer in Health and Disease Prevention*, 113–126. doi:10.1016/b978-0-12-373891-2.00010-9

[15] MANCEBO, Camino M., Mario M. MARTÍNEZ, Cristina MERINO, Esther DE LA HERA a Manuel GÓMEZ. Effect of oil and shortening in rice bread quality: Relationship between dough rheology and quality characteristics. *Journal of Texture Studies* [online]. 2017, 48(6), 597-606 [cit. 2020-03-10]. DOI: 10.1111/jtxs.12270. ISSN 00224901. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/jtxs.12270>

[16] TORRES, M.D., A. RAYMUNDO a I. SOUSA. Influence of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> on mechanical and structural properties of gels from chestnut and rice flours. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2014, 102, 30-37 [cit. 2020-03-10]. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.11.018. ISSN 01448617. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171301151X?via%3Dihub>

- [17] Sahagún, M., Gómez, M. Assessing Influence of Protein Source on Characteristics of Gluten-Free Breads Optimising their Hydration Level. *Food Bioprocess Technol* 11, 1686–1694 (2018). <https://doi-org.proxy.k.utb.cz/10.1007/s11947-018-2135-0>
- [18] Huang, V. T., & Kaletunc, G. (2003). Utilization of rheological properties in product and process development. In G. Kaletunc & K. J. Breslauer (Eds.), *Characterization of cereals and flours: properties, analysis and applications* (pp. 351–368). New York: Marcel Dekker.
- [19] RÓŻYŁO, Renata, Dariusz DZIKI, Urszula GAWLIK-DZIKI, Grażyna CACAK-PIETRZAK, Antoni MIŚ a Stanisław RUDY. Physical properties of gluten-free bread caused by water addition. *International Agrophysics* [online]. 2015, 29(3), 353-364 [cit. 2020-03-16]. DOI: 10.1515/intag-2015-0042. ISSN 2300-8725. Dostupné z: <http://archive.sciendo.com/INTAG/intag.2015.29.issue-3/intag-2015-0042/intag-2015-0042.pdf>
- [20] CHEN, Long, Yaoqi TIAN, Qunyi TONG, Zipei ZHANG a Zhengyu JIN. Effect of pullulan on the water distribution, microstructure and textural properties of rice starch gels during cold storage. *Food Chemistry* [online]. 2017, 214, 702-709 [cit. 2020-04-15]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.122. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814616311554>
- [21] Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., & O'Mahony, J. A. (2017). Composition and protein profile analysis of rice protein ingredients. *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, 18–26.
- [22] SAHI, S.S. Interfacial Properties of the Aqueous Phases of Wheat Flour Doughs. *Journal of Cereal Science* [online]. 1994, 20(2), 119-127 [cit. 2020-04-15]. DOI: 10.1006/jcrs.1994.1052. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521084710526>
- [23] TOLSTOGUZOV, Vladimir. Thermodynamic aspects of dough formation and functionality. *Food Hydrocolloids* [online]. 1997, 11(2), 181-193 [cit. 2020-04-15]. DOI: 10.1016/S0268-005X(97)80025-2. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X97800252>
- [24] TOLSTOGUZOV, V. Foods as dispersed systems. Thermodynamic aspects of composition-property relationships in formulated food. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. 2000, 61(2), 397-409 [cit. 2020-04-16]. DOI:

10.1023/A:1010109232049. ISSN 14182874. Dostupné z:  
<http://link.springer.com/10.1023/A:1010109232049>

[25] LEE, Eun-Jung, Seung-Taik LIM a Hyun-Jung CHUNG. Retrogradation behavior of rice flour/starch gel using response surface methodology. *Food Science and Biotechnology* [online]. 2015, 24(3), 891-894 [cit. 2020-04-16]. DOI: 10.1007/s10068-015-0115-y. ISSN 1226-7708. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10068-015-0115-y>

[26] MALLAWARACHCHI, Samavath. MODELING AND OPTIMIZATION OF MASHING PROCESS IN BEER PRODUCTION WITH RICE ADJUNCT. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* [online]. 2019, 9(1), 104-110 [cit. 2020-04-16]. DOI: 10.15414/jmbfs.2019.9.1.104-110. ISSN 13385178. Dostupné z: [https://www.jmbfs.org/issue/august\\_septmeber\\_2019\\_vol-9\\_no1/jmbfs\\_154\\_mallawarachchi/?issue\\_id=5954&article\\_id=18](https://www.jmbfs.org/issue/august_septmeber_2019_vol-9_no1/jmbfs_154_mallawarachchi/?issue_id=5954&article_id=18)

[27] FÖSTE, Maike, Christoph VERHEYEN, Mario JEKLE a Thomas BECKER. Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies. *Food Chemistry* [online]. 2020, 306 [cit. 2020-04-16]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125451. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814619315663>

[28] TABILO-MUNIZAGA, Gipsy a Gustavo V. BARBOSA-CÁNOVAS. Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering* [online]. 2005, 67(1-2), 147-156 [cit. 2020-03-24]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877404003401>

[29] DOBRASZCZYK, B.J a M.P MORGENSTERN. Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science* [online]. 2003, 38(3), 229-245 [cit. 2020-03-23]. DOI: 10.1016/S0733-5210(03)00059-6. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521003000596>

[30] Kuktaite, R., Larsson, H., & Johansson, E. (2007). The influence of dough mixing time on wheat protein composition and gluten quality for four commercial flour mixtures. In Buck, H. T., Nisi, J. E., Salomón. N. (Ed.) *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer, Dordrecht, 543–548.

[31] BUREŠOVÁ Iva, Stanislav KRÁČMAR, Petra DVOŘÁKOVÁ a Tomáš STŘEDA. The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science* [online]. 2014, 60(2), 271-275 [cit.

2020-03-24]. DOI: 10.1016/j.jcs.2014.07.001. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521014001246>

[32] FU, Lei, Ji-chun TIAN, Cai-ling SUN a Chun LI. RVA and Farinograph Properties Study on Blends of Resistant Starch and Wheat Flour. *Agricultural Sciences in China* [online]. 2008, 7(7), 812-822 [cit. 2020-04-13]. DOI: 10.1016/S1671-2927(08)60118-2. ISSN 16712927. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1671292708601182>

[33] YOUNG, Linda S. *The ICC handbook of cereals, flour, dough & product testing: methods and applications*. Lancaster: DEStech Publiction, 2009, s. 498. ISBN 978-1-932078-99-2.

[34] CAUVAIN, Stanley P. a L. S. YOUNG. *The ICC Handbook of Cereals, Flour, Dough & Product Testing: Methods and Applications*. DEStech Publications, Inc., 2009, 498 s., ISBN 978-1-932078-99-2.

[35] HRUŠKOVÁ, M., ŠMEJDA, P. Wheat flour dough alveograph characteristics predicted by NIRSystems 6500. In *Czech Journal of Food Sciences*. 2003. s. 28-33.

[36] Ozturk, S., Kahraman, K., Tiftik, B., & Koksel, H. (2008). Predicting the cookie quality of flours by using Mixolab®. *European Food Research and Technology*, 227, 1549–1554.

[37] Marco, C., & Rosell, C. M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, 227, 1205–1213.

[38] Mixolab®. (2008). *Mixolab® user's manual*. Villeneuve la Garenne, France: Tripette & Renaud Chopin.

[39] Brites, C., Trigo, M. J., Santos, C., Collar, C., & Rosell, C. M. (2010). Maize-based gluten-free bread: Influence of processing parameters on sensory and instrumental quality. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 707–715.

[40] Eliasson, A. C., & Gudmundsson, M. (1996). Starch: Physicochemical and functional aspects. In A. C. Eliasson (Ed.), *Carbohydrates in food*. New York, USA: Marcel Dekker.

[41] PAVLÍK, Tomáš a Ladislav DUŠEK. *Biostatistika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-782-6.



- [42] MA, Jie, Fujita KAORI, Lei MA, Mengnan GAO, Chunxia DONG, Jiamin WANG a Guangzhong LUAN. The effects of extruded black rice flour on rheological and structural properties of wheat-based dough and bread quality. Institute of Food Science + Technology [online]. 2019, 54(5), 1729-1740 [cit. 2020-04-24]. DOI: 10.1111/ijfs.14062. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijfs.14062>
- [43] ODVÁRKO, Oldřich. Matematika pro gymnázia. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2008. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 978-80-7196-357-8.
- [44] HENDL, Jan. Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. Praha: Portál, 2004. ISBN 80-7178-820-1.
- [45] POLÁK, Josef. Přehled středoškolské matematiky. 10. vydání. Praha: Prometheus, 2015. ISBN 978-80-7196-458-2.
- [46] Dobraszczyk, B. J., & Morgenstern, M. P. (2003). Rheology and breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229–245.
- [47] Zounis, S., & Quail, K. J. (1997). Predicting test bakery requirements from laboratory mixing tests. *Journal of Cereal Science*, 25, 185–196.
- [48] Rosell, C.M., Collar, C. & Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21, 452–462.
- [49] Heo, S., Lee, S.M., Shim, J.-H., Yoo, S.-H. & Lee, S. (2013). Effect of dry- and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles. *Journal of Food Engineering*, 116, 213–217.
- [50] Torbica, A., Hadnađev, M. & Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24, 626–632.
- [51] TORBICA, Aleksandra, Miroslav HADNAĐEV a Tamara DAPČEVIĆ. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids* [online]. 2010, 24(6-7), 626-632 [cit. 2020-04-12]. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2010.03.004. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X10000494>
- [52] MARCO, Cristina a Cristina M. ROSELL. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology* [online]. 2008,

227(4), 1205-1213 [cit. 2020-04-12]. DOI: 10.1007/s00217-008-0838-6. ISSN 1438-2377.  
Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00217-008-0838-6>

[53] Salah, K., Olkhovatov, E.A. & Aïder, M. Effect of canola proteins on rice flour bread and mathematical modelling of the baking process. *J Food Sci Technol* 56, 3744–3753 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03842-2>

[54] KANG, Tae-Young, Kee Hyuk SOHN, Mi-Ra YOON, Jeom-Sig LEE a Sanghoon KO. Effect of the shape of rice starch granules on flour characteristics and gluten-free bread quality. *Institute of food science + technology* [online]. 2015, 50(8), 1743-1749 [cit. 2020-04-14]. DOI: 10.1111/ijfs.12835. ISSN 09505423. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/ijfs.12835>

[55] Nishita, K.D., Roberts, R.L. & Bean, M.M. (1976). Development of a yeast-leavened rice-bread formula. *Cereal Chemistry*, 53, 626– 635.

[56] XIE, Lihong, Neng CHEN, Shaoqing TANG, Ju LUO, Guiai JIAO a Peisong HU. Use of Mixolab in Predicting Rice Quality. *Cereal Chemistry Journal* [online]. 2011, 88(4), 333-337 [cit. 2020-04-14]. DOI: 10.1094/CCHEM-06-10-0090. ISSN 0009-0352. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1094/CCHEM-06-10-0090>

[57] HEO, Soojung, Soyoung JEON a Suyong LEE. Utilization of *Lentinus edodes* mushroom  $\beta$ -glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2014, 55(2), 627-631 [cit. 2020-04-14]. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.10.002. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643813003459>

[58] PAULY, Anneleen, Bram PAREYT, Ellen FIERENS a Jan A. DELCOUR. Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp. *durum*) Kernel Hardness: II. Implications for End-Product Quality and Role of Puroindolines Therein. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2013, 12(4), 427-438 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1111/1541-4337.12018. ISSN 15414337. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/1541-4337.12018>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Nm	Newton metr
MTI	Stupeň mechanické odolnosti
C <sub>max</sub>	nejvyšší odpor těsta vůči hnětené
H <sub>0</sub>	Nulová hypotéza
H <sub>1</sub>	Alternativa
%	procento
$\alpha$	Hladina významnosti
$\beta$	Síla testu
r	Pearsonův koeficient
R	Koeficient determinace
LN	Přirozený logaritmus
n	Počet dvojic
N	Neměřitelná hodnota
T <sub>s</sub>	Torzní síla [Nm]
t	čas [min]
k	směrnice přímky [Nm]
q	úsek na ose Torzní síly [Nm/min]
k	rychlost změny konzistence [Nm/min]
$\mu$	průměr
$\sigma$	směrodatná odchylka
T	Testovací kritérium
T <sub>krit.</sub>	Kritická hodnota
$\mu$	průměr
k	počet úrovní
S <sub>R</sub>	součet čtverců odchylek od celkového průměru

$F_{\alpha}$	kritická hodnota
$i, j$	výběr
ot./min	Otáčky za minutu
°C	Stupeň Celsia
$\alpha_m$	Redukce bílkovin vypočteno softwarem mixolabu
$\beta_m$	Želatinace škrobu vypočteno softwarem mixolabu
$\gamma_m$	Amylázová aktivita vypočteno softwarem mixolabu
VT	Vývoj těsta
DB	Denaturace bílkovin
ŽŠ	Želatinace škrobu
AA	Amylázová aktivita
R	Retrogradace

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vzorová křivka výstupu měření na Mixolabu [38, 39] .....	23
Obrázek 2 Grafické znázornění parametrů protokolu Chopin [38] .....	36
Obrázek 3 Grafické znázornění parametrů protokolu Chopin+ [38] .....	37
Obrázek 4 Grafické znázornění parametrů protokolu Rice1[38].....	38
Obrázek 5 Hodnoty měření dle protokolu Chopin S .....	39
Obrázek 6 Linearizace hodnot protokolu Chopin S.....	40
Obrázek 7 Výsledky měření dle protokolu Chopin S .....	41
Obrázek 8 Rychlost změny konzistence protokolu Chopin S.....	41
Obrázek 9 Výsledky odlehlých hodnot rychlosti změny konzistence protokolu Chopin S.	42
Obrázek 10 Výsledky Scheffého metody vícenásobného porovnávání vlivu přídatku vody protokolu Chopin S .....	43
Obrázek 11 Hodnocení vlivu doby hnětení .....	44
Obrázek 12 Hodnoty měření dle protokolu Chopin.....	46
Obrázek 13 Linearizace a rozdělení na fáze protokolu Chopin.....	47
Obrázek 14 Výsledky korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin.....	48
Obrázek 15 Výsledky korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin .....	49
Obrázek 16 Výsledky korelační analýzy želatinace škrobu a amylázové aktivity těsta s 60% přídatku vody protokolu Chopin .....	50
Obrázek 17 Rychlost změny konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin.....	51
Obrázek 18 Výsledky odlehlých hodnot rychlostí změny konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin .....	52
Obrázek 19 Hodnoty měření dle protokolu Chopin+ .....	53
Obrázek 20 Linearizace a rozdělení na fáze protokolu Chopin+.....	54
Obrázek 21 Grafické znázornění korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin+ .....	55
Obrázek 22 Grafické znázornění korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin+ .....	56
Obrázek 23 Grafické znázornění korelační fáze analýzy želatinace škrobu, amylázové aktivity a retrogradace protokolu Chopin+ .....	57
Obrázek 24 Rychlost změna konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin+.....	58
Obrázek 25 Výsledky odlehlých hodnot rychlosti změny konzistence jednotlivých fází protokolu Chopin+ .....	59
Obrázek 26 Hodnoty měření dle protokolu Rice1 .....	61
Obrázek 27 Přiblížení grafu hodnot měření dle protokolu Rice1 .....	62
Obrázek 28 Grubbsův test na odlehlé hodnoty obou měření pro těsto s 86% přídatkem vody .....	63
Obrázek 29 Křivka po vyloučení odlehlých hodnot pro těsto s 86% přídatkem vody .....	64

Obrázek 30 Linearizace a rozdělení na fáze protokolu Rice1 .....	64
Obrázek 31 Výsledky korelační analýzy fáze vývoje těsta protokolu Rice1 .....	65
Obrázek 32 Výsledky korelační analýzy fáze denaturace bílkovin protokolu Rice1 .....	66
Obrázek 33 Výsledky korelační analýzy fáze želatinace škrobu protokolu Rice1 .....	67
Obrázek 34 Výsledky korelační analýzy fáze amylázové aktivity protokolu Rice1 .....	68
Obrázek 35 Výsledky korelační analýzy fáze retrogradace protokolu Rice1 .....	69
Obrázek 36 Rychlost změny konzistence jednotlivých fází protokolu Rice1 .....	69
Obrázek 37 Výsledky odlehých hodnot rychlosti změny konzistence jednotlivých fází protokolu Rice1.....	70
Obrázek 38 Výsledky Scheffého metody vícenásobného porovnávání vlivu přídatku vody protokolu Rice1.....	72

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1a Metody měření reologických vlastností těst .....	20
Tabulka 2 Přídavky vody a navážky rýžové mouky vypočtené softwarem mixolabu .....	27
Tabulka 3 Možné výsledky statistického testování zvolených hypotéz [41].....	29
Tabulka 4 Výsledky korelační analýzy protokolu Chopin S .....	40
Tabulka 5 Výsledky ANOVA jeden faktor protokolu Chopin S.....	42
Tabulka 6 Faktor ANOVA protokolu Chopin S .....	43
Tabulka 7 Souhrnné výsledky protokolu Chopin S .....	45
Tabulka 8 Výsledky korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin .....	47
Tabulka 9 Výsledky korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin.....	48
Tabulka 10 Výsledky korelační analýzy želatinace škrobu a amylázové aktivity těsta s 60% přídavku vody protokolu Chopin .....	49
Tabulka 11 Výsledky korelační analýzy vývoje těsta protokolu Chopin+ .....	54
Tabulka 12 Výsledky korelační analýzy denaturace bílkovin protokolu Chopin+ .....	55
Tabulka 13 Výsledky korelační analýzy zbylých fází těsta s 60% přídavkem vody protokolu Chopin+ .....	56
Tabulka 14 Souhrnné výsledky protokolu Chopin .....	60
Tabulka 15 Souhrnné výsledky protokolu Chopin+ .....	60
Tabulka 16 Výsledky korelační analýzy fáze vývoje těsta protokolu Rice1 .....	65
Tabulka 17 Výsledky korelační analýzy fáze denaturace bílkovin protokolu Rice1 .....	66
Tabulka 18 Výsledky korelační analýzy fáze želatinace škrobu protokolu Rice1 .....	66
Tabulka 19 Výsledky korelační analýzy fáze amylázové aktivity protokolu Rice1.....	67
Tabulka 20 Výsledky korelační analýzy fáze retrogradace protokolu Rice1 .....	68
Tabulka 21 Výsledky ANOVA jeden faktor protokolu Rice1 .....	72
Tabulka 22 Faktor ANOVA protokolu Rice1 .....	72
Tabulka 23 Souhrnné výsledky protokolu Rice1 .....	73
Tabulka 24 Počáteční a konečné teploty jednotlivých fází protokolu Rice1 .....	74

