

Vliv kvality suroviny a podmínek extruze na kvalitu extrudovaných výrobků

Bc. Miroslav Lichnovský

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav analýzy a chemie potravin
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav LICHNOVSKÝ**
Osobní číslo: **T10517**
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**

Téma práce: **Vliv kvality suroviny a podmínek extruze na kvalitu extrudovaných výrobků**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

- 1. Charakteristika extruzní technologie**
- 2. Technologické vlastnosti surovin**
- 3. Technologie výroby přímo expandovaných výrobků**

II. Praktická část

- 1. Materiál a metodika**
- 2. Výsledky a diskuse**
- 3. Závěr**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. KENT, N. L., EVERS, A. D. Technology of cereals: an introduction for students of food science and agriculture. 4th ed. Pergamon, 1994. ISBN 0-08-040833-8. Chapter 11. Breakfast cereals and other products of extrusion cooking, s. 244-258
2. COLLADO, S. L., CORKE, M. Starch properties functionalities and. In KALETUNC, G. and BRESLAUER, K. Characterization of cereals and flour, properties, analysis and application. New York, Basel, 2003, s. 473-500.
3. DELCOUR, J.A., HOSENEY R. C. Principles of Cereal Science and Technology. AACC International Press St. Paul. 2010, 280s. ISBN 978-1-891127-63-2

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Iva Burešová, Ph.D.

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

6. ledna 2012

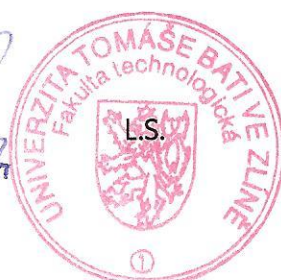
Termín odevzdání diplomové práce:

21. května 2012

Ve Zlíně dne 15. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo popsat a zhodnotit vliv chemického složení a fyzikálních vlastností kukuřičné mouky a krupice i podmínek extruze na kvalitu extrudovaných výrobků. V teoretické části je popsána konstrukce extruderu a faktory ovlivňující extruzní proces, v praktické části byly laboratorně stanoveny obsahy hlavních chemických složek a zhodnocen jejich vliv na texturu a objemovou hmotnost extrudátu. Vztahy mezi jednotlivými parametry byly statisticky vyhodnoceny. Bylo zjištěno, že vyšší obsah vody a bílkovin a větší granulace suroviny, významně zvyšuje objemovou hmotnost extrudátů. Vyšší obsah bílkovin zlepšuje elasticitu těsta a umožňuje větší expanzi produktů.

Klíčová slova: extruze, kukuřičná krupice, mazovatění, textura, objemová hmotnost

ABSTRACT

The aim of diploma thesis was to describe and evaluate the influence of the raw material chemical composition and physical characteristics and extrusion conditions on the extruded products quality. In the theoretical part the extruder design and the factors affecting the process were described. In the practical part the content of the main chemical components was determined by laboratory analysis and the evaluation of their effects on the texture and bulk density of the extrudates was made. The relationships between parameters were statistically evaluated. It was found the higher water and protein content and higher granulation of the raw material significantly increased bulk density of the extrudates. Higher protein content enhanced the dough elasticity and allows greater expansion of the products.

Keywords: Extrusion, corn grits, gelatination, texture, bulk density,

Za ochotu, odborné vedení a cenné rady chci poděkovat vedoucí diplomové práce paní Mgr. Ivě Burešové, Ph.D.

Děkuji Panu Lubomíru Pavlicovi za odborné rady, pomoc při extruzi pokusných vzorků přístup k interním materiálům firmy a vedení firmy POEX a. s. Velké Meziříčí za možnost použít její extruzní linky pro výrobu vzorků extrudátů.

Dále děkuji panu Ing. Petru Doležalovi z firmy Bühler AG za přístup k odborným publikacím.

Děkuji vedení firmy MLÝN HERBER spol. s r.o. v Opavě - Vávrovicích za poskytnutý materiál k výrobě vzorků extrudátu a za jeho laboratorní rozbory.

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

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 11 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 HISTORIE SNÍDAŇOVÝCH CEREÁLÍ | 13 |
| 2 EXTRUZE | 14 |
| 3 KONSTRUKCE EXTRUDERU | 15 |
| 3.1 JEDNOŠNEKOVÝ EXTRUDER | 15 |
| 3.2 DVOUŠNEKOVÝ EXTRUDER..... | 17 |
| 3.2.1 Výhody extruzního procesu vedeném na dvoušnekovém extruderu | 17 |
| 3.2.2 Specifická mechanická energie (SME) a specifická tepelná energie (STE) . | 18 |
| 3.2.3 Koncepce toku materiálu šnekem extruderu | 19 |
| 4 PŘÍMO EXPANDOVANÉ PRODUKTY | 21 |
| 4.1 EXTRUZNÍ VAŘENÍ..... | 22 |
| 4.2 PODMÍNKY NA MATRICI – EXPANZE | 22 |
| 4.3 KOEXTRUDOVANÉ VÝROBY | 23 |
| 5 NEPŘÍMO EXPANDOVANÉ VÝROBKY | 24 |
| 6 VSTUPNÍ SUROVINY PRO EXTRUZI | 25 |
| 7 VLIV VSTUPNÍCH SUROVIN NA EXTRUZNÍ PROCES | 26 |
| 7.1 ŠKROB | 26 |
| 7.2 BÍLKOVINY | 27 |
| 7.3 TUKY..... | 27 |
| 7.4 CUKR A SŮL | 27 |
| 7.5 VLÁKNINA | 27 |
| 7.6 VITAMINY | 28 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 29 |
| 8 CÍL PRÁCE | 30 |
| 9 MATERIÁL A METODY | 31 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 9.1 | POUŽITÝ MATERIÁL..... | 31 |
| 9.2 | VÝROBA EXTRUDÁTU | 32 |
| 9.3 | LABORATORNÍ ROZBORY | 32 |
| 9.4 | OBJEMOVÁ HMOTNOST EXTRUDÁTU | 33 |
| 9.5 | ANALÝZA TEXTURY VÝROBKU..... | 33 |
| 9.6 | ANALÝZA STRUKTURY VÝROBKU..... | 33 |
| 9.7 | STATISTICKÁ ANALÝZA | 34 |
| 10 | VÝSLEDKY A DISKUSE..... | 35 |
| 10.1 | HODNOCENÍ PARAMETRŮ EXTRUDÁTU | 35 |
| 10.1.1 | Vliv granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu | 35 |
| 10.1.2 | Vliv obsahu vody v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu | 36 |
| 10.1.3 | Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu | 36 |
| 10.1.4 | Vliv obsahu tuku v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu | 37 |
| 10.1.5 | Vliv obsahu popela v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu..... | 37 |
| 10.1.6 | Vliv granulace surovin na soudržnost extrudátu..... | 38 |
| 10.1.7 | Vliv obsahu vody v surovinách na soudržnost extrudátu | 38 |
| 10.1.8 | Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na soudržnost extrudátu..... | 39 |
| 10.1.9 | Vliv obsahu tuku v surovinách na soudržnost extrudátu..... | 39 |
| 10.1.10 | Vliv obsahu popela v surovinách na soudržnost extrudátu | 40 |
| 10.1.11 | Vliv granulace surovin na tvrdost extrudátu..... | 40 |
| 10.1.12 | Vliv obsahu vody v surovinách na tvrdost extrudátu..... | 41 |
| 10.1.13 | Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na tvrdost extrudátu..... | 41 |
| 10.1.14 | Vliv obsahu tuku v surovinách na tvrdost extrudátu | 42 |
| 10.1.15 | Vliv obsahu popela v surovinách na tvrdost extrudátu | 42 |
| 10.1.16 | Vliv obsahu vody a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu .. | 43 |
| 10.1.17 | Vliv obsahu tuku a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu... | 44 |
| 10.1.18 | Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu | 44 |
| 10.1.19 | Vliv obsahu popela a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů | 45 |
| 10.1.20 | Vliv obsahu dusíkatých látek a vody v surovině na objemovou hmotnost extrudátu | 46 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 10.1.21 | Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku v surovině na objemovou hmotnost extrudátu | 47 |
| 10.1.22 | Vliv obsahu popela a dusíkatých látek v surovině na objemovou hmotnost extrudátu | 47 |
| 10.1.23 | Vliv obsahu vody a granulace surovin na soudržnost extrudátu..... | 48 |
| 10.1.24 | Vliv obsahu tuku a granulace surovin na soudržnost extrudátu | 49 |
| 10.1.25 | Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na soudržnost extrudátu | 50 |
| 10.1.26 | Vliv obsahu popela a granulace surovin na soudržnost extrudátu..... | 50 |
| 10.1.27 | Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na soudržnost extrudátů | 51 |
| 10.1.28 | Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku na soudržnost extrudátů..... | 52 |
| 10.1.29 | Vliv obsahu popela a dusíkatých látek na soudržnost extrudátů | 53 |
| 10.1.30 | Vliv obsahu vody a granulace surovin na tvrdost extrudátů..... | 53 |
| 10.1.31 | Vliv obsahu tuku a granulace surovin na tvrdost extrudátu | 54 |
| 10.1.32 | Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na tvrdost extrudátu | 55 |
| 10.1.33 | Vliv obsahu popela a granulace surovin na tvrdost extrudátu | 56 |
| 10.1.34 | Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na tvrdost extrudátu | 56 |
| 10.1.35 | Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku na tvrdost extrudátu | 57 |
| 10.1.36 | Vliv obsahu popela a tuku na tvrdost extrudátu | 58 |
| 10.2 | VYHODNOCENÍ DIGITÁLNÍ ANALÝZY FOTOGRAFIÍ ŘEZŮ EXTRUDÁTŮ..... | 58 |
| 10.3 | DISKUSE | 60 |
| 10.3.1 | Granulační frakce 100–300 μm suchá a 100–300 μm nakropená..... | 60 |
| 10.3.2 | Granulační frakce 300–500 μm suchá a 300–500 μm nakropená..... | 60 |
| 10.3.3 | Granulační frakce 300–1350 μm suchá a 300–1350 μm nakropená | 60 |
| 10.3.4 | Granulační frakce 800–1350 μm suchá a 800–1350 μm nakropená..... | 61 |
| 11 | ZÁVĚR | 62 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 64 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 67 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 69 |
| | SEZNAM TABULEK | 71 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 72 |

ÚVOD

Cereální výrobky kryjí podstatnou část denního energetického příjmu, zvláště celozrnné mouky a výrobky z nich hrají důležitou roli ve snaze o zvyšování kvality potravin. Ve vyspělé společnosti jsou nižší nároky na fyzický výkon zohledněny nižšími doporučenými denními dávkami energeticky vydatných potravin. Je také kladen důraz na krytí těchto energetických potřeb z rostlinných zdrojů na úkor živočišných nasycených tuků a jednoduchých cukrů.

Celozrnné mouky jsou důležitým zdrojem nutričních a zdravotně významných látek. Pro zachování vysoké biologické hodnoty cereálních surovin je nutné používat při jejich zpracování technologie, které minimalizují negativní dopady výrobních procesů na jejich kvalitu. Významnou skupinou těchto cereálních výrobků jsou potraviny určené k přímé spotřebě potraviny tzv. ready to eat cereals. (RTE) Nejrozšířenější technologií výroby těchto cereálií je extruze.

Technologické možnosti strojní výroby dnes umožňují realizaci konstrukčně náročných extruzních celků. Vedle hojně využívaných jednošnekových extruderů se stále více uplatňují v potravinářském průmyslu moderní dvoušnekové extrudery. Variabilita procesních možností je dána především širokým spektrem zpracovávaných surovin. Vysoký stupeň kontroly a regulace extruzního procesu umožňuje zachovat a zlepšovat nutriční hodnotu vstupních surovin.

Práce je zaměřena na hodnocení vlivu kvality surovin a podmínek extruze na kvalitu extrudovaných výrobků. Pro extruzi byly vybrány čtyři granulační frakce kukuřičných mlýnských výrobků. Extruze hodnocených vzorků extrudátů, byla provedena v reálném provozu výrobního podniku. Hodnocen byl vliv granulace kukuřičné krupice, vlhkosti obsahu tuku, bílkovin a popela na tvar, texturu (soudržnost a tvrdost) a objemovou hmotnost extrudátu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE SNÍDAŇOVÝCH CEREÁLÍÍ

Historie výroby celozrnných cereálií sahá do USA druhé poloviny 19 století. V roce 1863 Dr. James Cealeb Jackson v sanatoriu Dansville New York, připravil jídlo z vlhčených otrub pod názvem „Granula“. Tato cereální snídaně byla dietním opatřením ve snaze řešit v té době časté gastrointestinální problémy Američanů spojených s nadužíváním masa a živočišných produktů chudých na vlákninu. Většího úspěchu dosáhli bratři Kellogovi. Dr. John Harvey Kellog působící v lázeňském sanatoriu Battlecreek v Michigenu vyvinul 1887 suchar – „biskvit“ z ovsa, pšenice a kukuřice s názvem „Granola“. Průlomem v popularitě cereálních snídaní byl v roce 1894 vznik technologického procesu výroby kukuřičných lupínků a cereálních vloček, které se postupně rozšířily do celého světa. Ve čtyřicátých letech 20. století se stalo pufování a extruze důležitou technologií zpracování cereálií [1].

V roce 1797 Josef Barman získal patent na výrobu oloveného potrubí vytlačováním (extruzí). První šnekové extrudery byly vyvinuty a použity při tváření plastů. V potravinářství byl poprvé jednošnekový extruder použit v polovině třicátých let 20. století v USA jako kontinuální těstářenský lis. Na konci třicátých let použila poprvé firma Cereal Mills extruder pro výrobu RTE cereálií z předvařeného cereálního těsta. Na konci čtyřicátých let 20. století byla intenzivně vyvíjena technologie varných extruderů pro potravinářské i krmivářské využití. Klíčový technologický průlom vedoucí k rozšíření technologie varné extruze byl extruder firmy Wenger v té době nazývaný Wenger mixér MFg, pracující s technologií high temperature-short time (HTST). Zpracovávající vstupní suroviny při vysoké teplotě krátkou dobu. U nás se začala uplatňovat varná extruze především díky aktivitám Výzkumného ústavu mlýnsko-pekářenského. První extrudery byly dovezeny v roce 1972 a byly na nich vyráběny především kukuřičné křupky. Po roce 1990 vstoupily na náš trh s tímto sortimentem zahraniční potravinářské firmy a vzniklo také mnoho tuzemských nových výrobců, kteří si s podporou moderních technologií vybudovali významné postavení v tomto segmentu potravinářského trhu. Intenzivně se vyvíjí extruzní technologie také pro krmivářské aplikace [2,3,4].

2 EXTRUZE

Extruzní technologie jsou využívány v mnoha průmyslových oborech od tváření kovů, plastů, stavebních materiálů, potravinářství až po farmacii. Extruze je proces, který spojuje několik technologických operací, při nichž je extrudovaný materiál míchán, stlačován, hněten, vystaven střížným silám, zahříván, tvarován a formován. Původně byly vyvinuty pro dopravu a tvarování tekutých forem zpracovávaných surovin. Používají se pro zpracování obilovin a bílkovin v potravinářském a krmivářském sektoru. Extruze je proces, který spojuje několik technologických operací, při nichž je extrudovaný materiál míchán, stlačován, hněten, vystaven střížným silám, zahříván, tvarován a formován. Technologické operace zahrnují dopravu, míchání, stříhání, dělení, ohřev, ochucování a sterilizaci. Mohou být použity při poměrně nízkých teplotách při výrobě těstovin, nebo nepřímo expandovaných výrobků „pelet“. Jinou možností je využití varné extruze při velmi vysokých teplotách, k výrobě přímo expandovaných snídaňových obilovin a plátkových chlebů [5,6].

Leszek Moscicki [6] dělí extrudery:

1. Podle metody vytváření mechanické energie a její přeměny v teplo
 - autogenní – zdrojem tepla je tření částic způsobené rotací šneku ve vysokých otáčkách
 - izotermické – vytápěné nebo chlazené
 - polytropické – smíšené, kombinace předchozích způsobů
2. Podle množství vyprodukované energie:
 - nízkotlaké – produkují relativně malou smykovou rychlost
 - vysokotlaké – produkují velké množství mechanické energie a vysokou smykovou rychlost

3 KONSTRUKCE EXTRUDERU

3.1 Jednošnekový extruder

U jednošnekového extruderu je nutné vstupní suroviny a případná aditiva smíchat před extruderem, kvůli jeho nízké míchačí schopnosti. Typický jednošnekový extruder má proto zásobník vstupních surovin. Vlhkost a teplota vstupních surovin může být upravena prekondicionováním. Vstupní suroviny jsou dále dopravovány plnicím šnekem s možností regulace otáček, který zajišťuje kontinuální přísun materiálu. Vlastní extruder se skládá z drážkovaného tubusu – statoru, šneku, matrice a nože. Drážkování je podélné nebo spirálové. Jeho účelem je zvýšit stříhový účinek a částečně řídit tok materiálu v tubusu. Šnek ve své první části materiál míchá a především dopravuje. V druhé části dochází vlivem zvětšujícího se průměru hřídele šneku ke zmenšení prostoru mezi hřídelí a pláštěm extruderu. Materiál je stlačován za současného působení vysokého tlaku stříhových a smykových sil a vlivem nuceného transportu šnekem dochází k ohřevu a plastifikaci materiálu. Vzniklé těsto (tavenina) je vedeno za vysokého tlaku k matrici s jednou nebo více extruzními tryskami. Po průchodu tryskou expanduje vodní pára do normálního atmosférického tlaku a materiál se rozpíná podle své elasticity a objemu páry. Ztrátou vlhkosti a teploty tuhne do struktury tuhé pěny [7,8,9].

Faktory ovlivňující extruzní proces

Extruder se skládá ze šneku, který se otáčí v drážkovaném tubusu ze slitin tvrdých kovů, nebo z nerezové oceli odolné vůči opotřebení třením. Poměr délky šneku a jeho průměru je obvykle 2 : 1 až 25 : 1. Stoupání závitů šneku, jejich hloubka, počet a vůle mezi šnekem a tubusem jsou parametry, které ovlivňují charakter procesů a jejich intenzitu v extruderu podle technologických požadavků. Otáčky šneku jsou hlavním faktorem ovlivňující výkon extruderu. Mají vliv na dobu průchodu materiálu extruderem, množství tepla vzniklého třením a rychlost jeho přenosu na materiál. Obvykle se užívají otáčky rozsahu 150 až 600 ot·min⁻¹. Komprese je dosaženo hlavně zpětným tlakem vytvořeným matricí zvětšením průměru šnekové hřídele nebo pomocí zúžení tubusu spolu s konstantní případně zmenšenou hloubkou závitů. Nejeftektivnější nástroj řízení extruzního procesu u jednošnekového extruderu je tedy regulace otáček šneku extruderu a množství dávkované vstupní suroviny [10,11,12].

Změna v dávkování surovin při konstantních otáčkách šneku extruderu, ale také změna otáček šneku při konstantním dávkování vstupní suroviny změní v extruderu významně dopravní podmínky. Vlivem vyššího plnění šneku extruderu při jeho konstantních otáčkách stoupá dopravní účinnost, klesá množství specifické mechanické energie. Klesá také teplota zpracovávaného těsta a důsledkem těchto změn je nižší expanze extrudované suroviny. Zvýšení otáček šneku extruderu při konstantním dávkování vstupních surovin se projeví opačně. Zvyšuje se množství specifické mechanické energie a teplota těsta s důsledkem zvýšení expanze [10,11,12].

Reologické vlastnosti surovin, které mají významný vliv na texturu a barvu výrobku:

- druh vstupních surovin
- vlhkost vstupních surovin
- fyzikální stav vstupních surovin
- chemické složení vstupních surovin, zejména obsah škrobu, bílkovin tuku a cukru
- pH navlhčených surovin

Extruzní proces ovlivňují také provozní parametry:

- teplota
- tlak
- průměr trysek v matrici
- smyková rychlost [12].

3.2 Dvoušnekový extruder

Dvoušnekové potravinářské extrudery jsou konstrukčně mnohem složitější a také univerzálnější z hlediska variability výrobních procesů. Mohou zpracovávat široké spektrum surovin včetně viskózních nebo tvrdých materiálů a to s nižšími energetickými nároky ve srovnání s klasickými potravinářskými technologiemi. Nevýhodou je složitá konstrukce a vyšší pořizovací náklady. V současnosti se v potravinářství nejvíce používají spolurotující dvoušnekové extrudery. Vyznačují se dobrou účinností dopravy, míchání, plastifikace a extruze. V tubusu dvoušnekového extruderu je vytvořen prostor ve tvaru ležaté osmičky pro uložení šneků extruderu. Závity šneku se vzájemně prolínají a vedle efektivního posunu materiálu vpřed mají také samočistící účinek. Tok materiálu je kontinuální a nedochází k jeho zpětným tokům [13].

3.2.1 Výhody extruzního procesu vedeném na dvoušnekovém extruderu

Jednou z hlavních výhod dvoušnekového extruderu je velká variabilita výrobních procesů. Široké spektrum potravinářských aplikací je dáno možností zpracovávat ve dvoušnekovém extruderu velmi lepivé, vlhké a mastné materiály, které není jednošnekový extruder schopen zpracovat [14,15].

- výkon je nezávislý na dávkování vstupních surovin
- nerovnoměrnost v dodávce materiálu je vyrovnávána z objemu jednoho ze dvou spolurotujících šneků
- spolurotace přispívá k lepšímu prostupu tepla a umožňuje jeho lepší regulaci
- sekce pracující s vysokým tlakem před extruzí je kratší a omezuje tak opotřebení extruderu
- není omezen granulací, může zpracovávat mouky ve směsích s většími granulacními rozdíly surovin. Jedenošnekový extruder je omezen možností zpracovávat pouze určité granulacní spektrum vstupních surovin [15].

Velká pracovní variabilita je dána také možností nastavit segmenty šneku extruderu. Na drážkovém hřídeli je možné konfigurovat konstrukčně specifické segmenty šneku a účinně tak ovládat procesy působící na vstupní surovinu [15].

3.2.2 Specifická mechanická energie (SME) a specifická tepelná energie (STE)

Specifickou mechanickou energii (SME) způsobuje tření mezi pohybujícím se šnekem a statickým tubusem extruderu. Největší tření je vytvářeno stříhem produktu přes vrchol závitu způsobené zpětným tlakem (obr. 1). Množství tepla (STE) vzniklého v extruderu ovlivňuje rozsah mazovatění škrobu a denaturaci bílkovin. To má vliv na viskozitu a elasticitu těsta v extruderu a rozsah expanze extrudátu. Jednotka SME je kWh/t; Wh/kg [16].

SME dána vztahem:

$$SME \text{ [kWh/t]} = \frac{2 \cdot \Pi}{60 \text{ [s/min]}} \cdot \frac{\text{otáčky šneku [1/min]} \cdot \text{točivý moment [kNm]}}{\text{propustnost [t/h]}}$$

SME zvyšuje teplotu produktu podle rovnice:

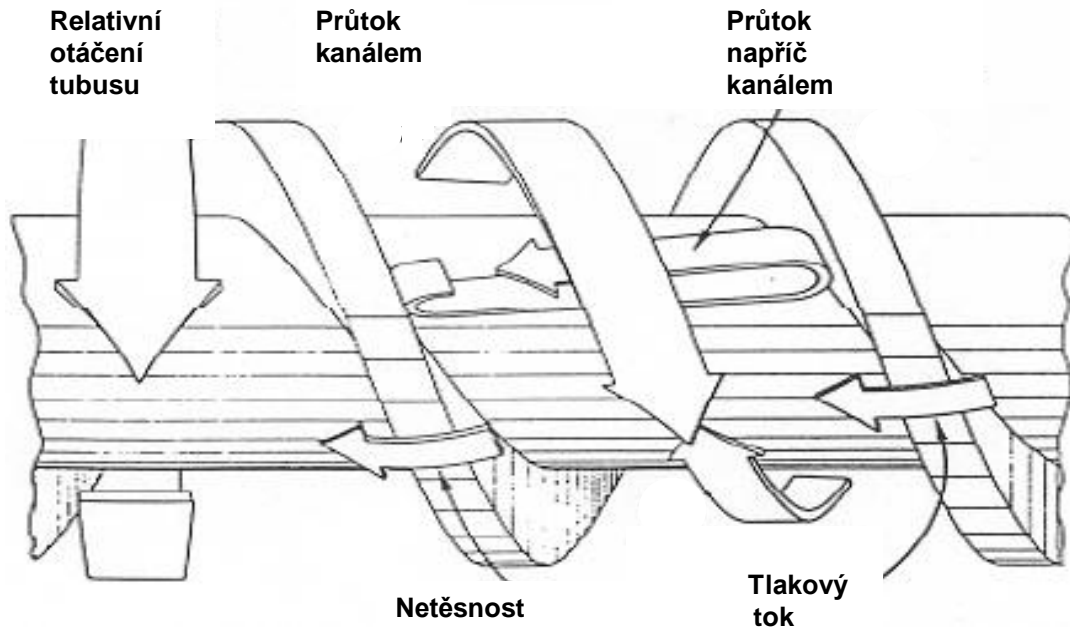
$$\Delta t \text{ [}^\circ\text{C]} = \frac{100 \cdot SME \text{ [kWh/t]}}{(m_s \cdot c_s) + (m_w + m_{wa}) \cdot c_w} \cdot \frac{3600 \text{ [s/h]}}{1000 \text{ [kg/t]}}$$

SME ovlivňuje želatinaci a dextrinaci škrobu a texturizaci bílkovin.

Množství specifické tepelné energie (STE) dodané materiálu je dáno vztahem:

$$STE \text{ [kWh/t]} = m \cdot \Delta t \cdot c = \frac{\Delta t \cdot (m_s \cdot c_s) + (m_w + m_{wa}) \cdot c_w}{100} \cdot \frac{1000 \text{ [kg/t]}}{3600 \text{ [s/h]}} = \frac{[kJ/kg]}{3.6}$$

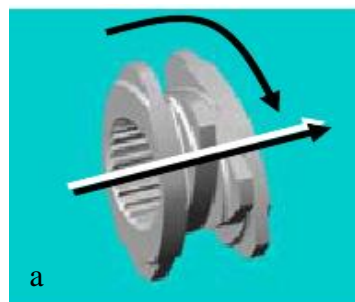
3.2.3 Koncepce toku materiálu šnekem extruderu



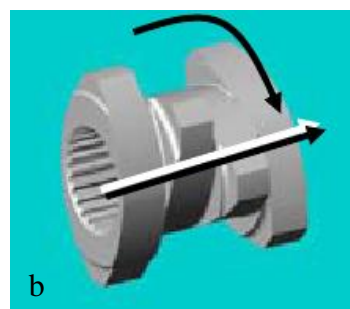
Obr. 1. Pohyb materiálu v extruderu [15].

Míchací šnekové elementy

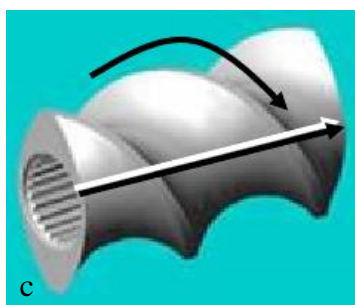
Poměr délky a průměru šneku L/D ovlivňuje variabilitu extruzního procesu. L je celková délka extruzního šneku, D je průměr extruzního šneku. Vyšší hodnota L/D umožňuje delší dobu zádrže materiálu v extruderu, nebo vyšší výkon při stejné době zádrže materiálu. Vyšší poměry L/D se používají při výrobě nepřímě expandovaných produktů, kde je nutné těsto před extruzí chladit a to vyžaduje delší dobu zádrže těsta v extruderu. V průběhu extruzního procesu je vstupní surovina zpracovávána několika různými způsoby, které jsou ovlivněny především tvarem jednotlivých šnekových elementů extruzního šneku a jejich vzájemnou konfigurací. Jsou to především: distribuční míchání, které zajišťuje dobré šíření částic materiálu v celém objemu tubusu extruderu (obr. 2a) a disperzní míchání při kterém je snižována velikost soudržných částic, jako struktury pevných materiálů nebo kapénky tekutých látek (obr. 2b). Dále doprava materiálu, pro kterou se používá vysoké stoupání závitů s menším průměrem šnekové hřídele (obr. 2c). Zvýšení tlaku, kterého se dosahuje menším stoupáním závitů a větším průměrem šnekové hřídele (obr. 2d) [17].



Obr. 2. Distribuční element



Disperzní element

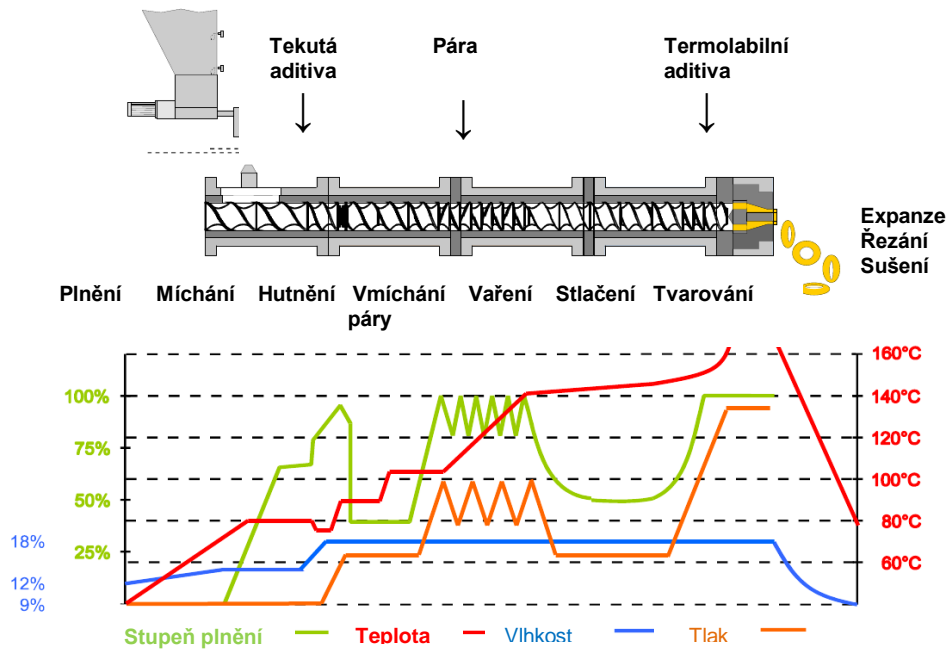


Dopravní element



Tlakový element [16].

4 PŘÍMO EXPANDOVANÉ PRODUKTY



Obr. 3. Extruzní proces přímo expandovaných cereálií [16].

Výrobky jsou tvarovány a expandovány přímo na extruzní matrici. Obvykle se dále neupravují, kromě sušení, chlazení a případné povrchové úpravy. Řežou se přímo na matrici nebo následně na řezačce. Varný proces je krátký, délka v rozmezí 12–16 L/D.

Kategorie výrobků:

- přímo expandované sníadaňové obiloviny,
- přímo expandované řezané na matrici,
- přímo expandované následně dělené,
- koextrudované následně dělené,
- koextrudované řezané [17].

4.1 Extruzní vaření

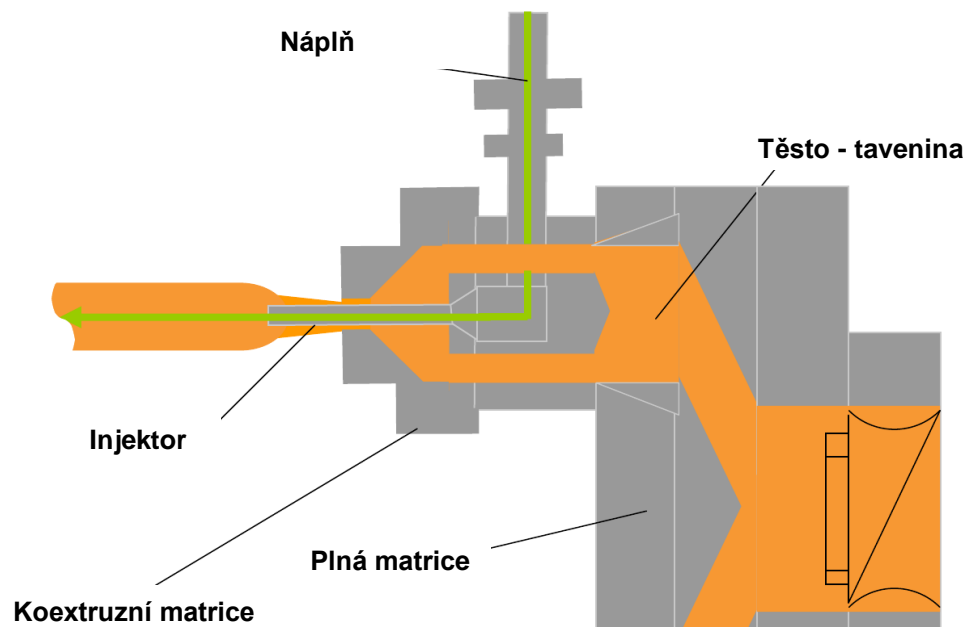
Při tomto procesu dochází k působení vysoké teploty po krátkou dobu HTST. Provádí se na jednošnekových nebo dvoušnekových extruderech při teplotách přesahujících 200 °C a tlaku přes 20 MPa. Dochází při něm k mnoha fyzikálně-chemickým změnám zpracovávaného materiálu, které závisí především na chemickém složení vstupních surovin, parametrech extruzního procesu a konstrukci extruderu (obr. 3) [18,19].

4.2 Podmínky na matrici – expanze

Působením specifické mechanické energie a specifické tepelné energie se vstupní suroviny v jednošnekovém i dvoušnekovém extruderu stávají plastickými a jsou za zvýšeného tlaku a teploty dopraveny k matrici, kde prochází jednou nebo více tryskami do prostředí s normálním atmosférickým tlakem. Expanze začíná těsně před výstupem taveniny z trysky v momentě, kdy doposud vysoký tlak klesne na hodnotu, při které se začne odpařovat voda a dochází ke vzniku bublin (nukleaci). Následuje vlastní expanze páry a tím k zvětšení objemu taveniny (těsta). Maximum expanze je dovršeno v bodě, kdy je tlak uvnitř expandované taveniny v rovnováze s tlakem vzduchu okolního prostředí. Vlivem dalšího ochlazování dochází k poklesu tlaku a objemu páry v tavenině a tím k částečnému smrštění taveniny a zmenšení jejího objemu. Dalším odparem vody a poklesem teploty se tavenina zpevňuje, až získá při teplotě okolního prostředí strukturu tuhé pěny [12,20,21,22].

4.3 Koextrudované výroby

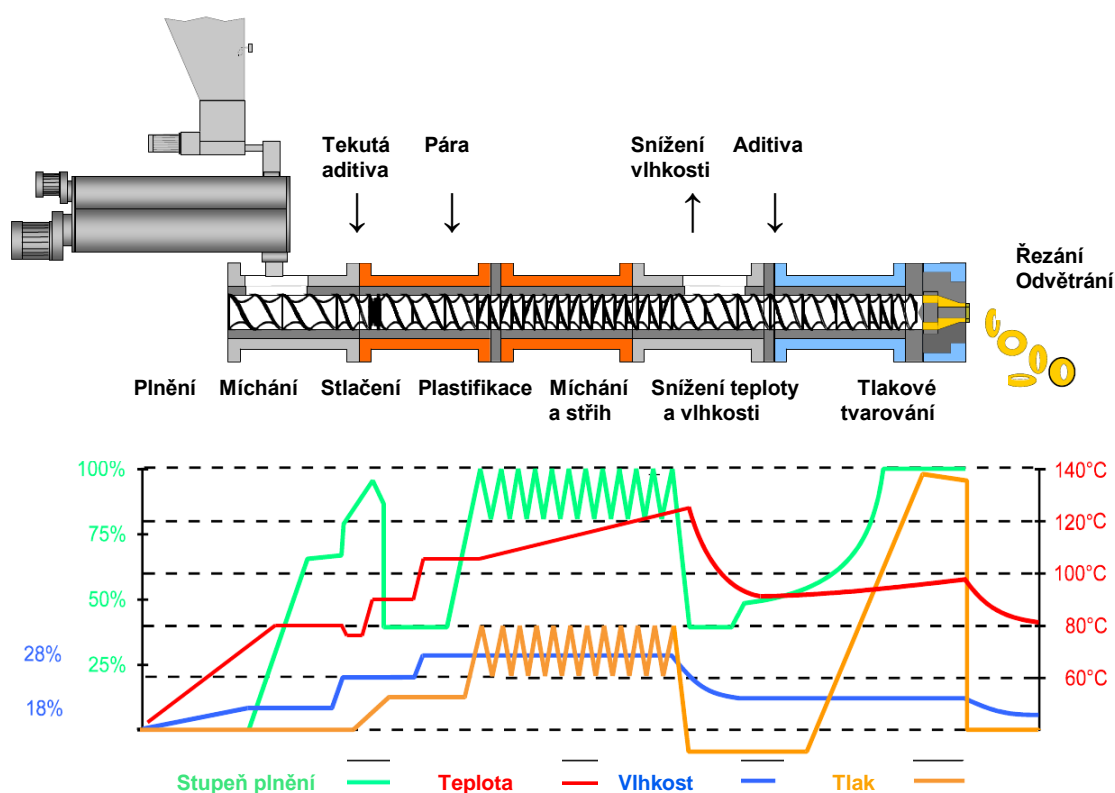
Obal koextrudovaných výrobků tvoří extrudát z přímo expandovaných vstupních surovin, do něhož je injektorem přímo v extruzní trysce plněna náplň. Tento extruzní systém umožňuje kontinuální výrobu přímo expandovaného obalu výrobku s náplní v průběhu jednoho procesního kroku. Koextruzní tryska je osazena injektorem náplně který formuje okolo proudící taveniny do tvaru dutého válce a zároveň ji plní náplní (obr. 4) [12,23,24].



Obr. 4. Schéma koextruzní matrice [23].

5 NEPŘÍMO EXPANDOVANÉ VÝROBKY

Ve srovnání s přímo expandovanými výrobky probíhá výrobní proces nepřímo expandovaných výrobků při vyšší vlhkosti 25–35 % a nižším množství specifické mechanické energie. Délka výrobního procesu 20–35 L/D umožňuje snížení vlhkosti a teploty před vlastní extruzí. Na rozdíl od přímo expandovaných výrobků, které jsou vyráběny v jednom procesním kroku a jsou po extruzi připraveny ke spotřebě, je u nepřímo expandovaných výrobků výstupem extruze polotovár, který se dále zpracovává (obr. 5). Nepřímo expandované výrobky „pelety“ se vyrábějí z obilovin (rýže, pšenice, kukuřice) nebo z brambor. Peleta má již tvar hotového výrobku, ale objem získá až při následné tepelné úpravě, většinou smažením nebo moderním způsobem pomocí vysokorychlostního působení horkého vzduchu [25,26].



Obr. 5. Extruzní proces nepřímo expandovaných cereálií [16].

6 VSTUPNÍ SUROVINY PRO EXTRUZI

Základní surovinou pro extruzní vaření jsou obiloviny, botanicky trávy (*Gramineae*) většina z čeledi lipnicovité (*Poaceae*), kukuřice, pšenice, žito, rýže, oves, ječmen, proso, čirok. Dále pseudoobiloviny amarant čeleď laskavcovité (*Amaranthaceae*), quinoa-merlík chilský, čeleď laskavcovité, podčeleď merlíkovité (*Cenopodoideae*), pohanka čeleď rdesnovité (*Polygonaceae*) [3,4].

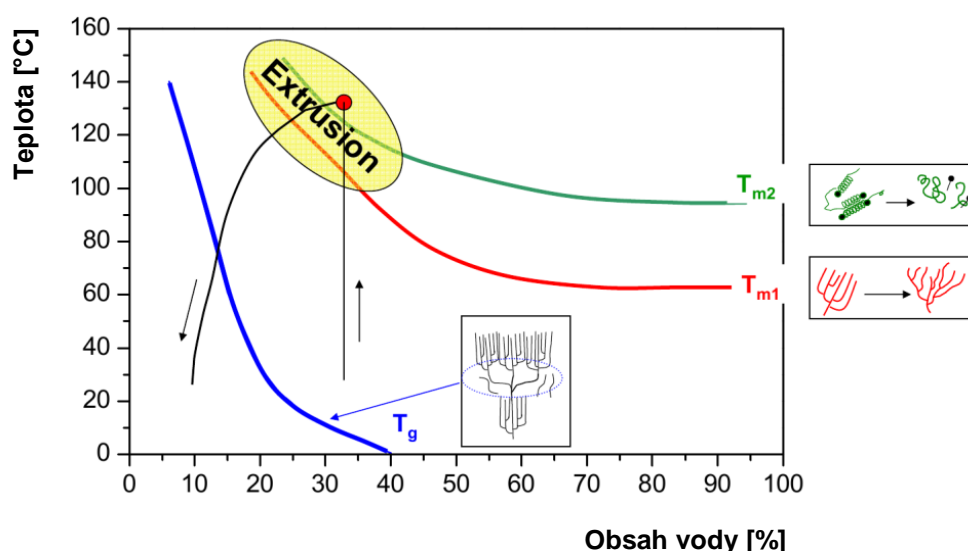
Chemicky obiloviny obsahují 55–75 % škrobu. Tento polymer glukosy je složen z lineární amorfni amylosy a větveného amylopektinu. Obalové a podobalové vrstvy obsahují neškrobové polysacharidy celulosu a hemicelulosu. Obsah bílkovin v obilovinách 9–13 %. Nejvíce bílkovin obsahuje amarant 19 % dále oves 13 %, pšenice 12 %, ječmen 11 %, kukuřice 9 % a rýže 7 %. Obsah tuku se pohybuje v rozmezí od 1,5 % u rýže do 7 % u ovsa. Z vitamínů jsou nejvíce zastoupeny vitaminy skupiny B a vitamín A. Obsah minerálních látek v zrně se pohybuje v rozmezí 1,25–25 % a je udáván jako obsah popela, což je zbytek získaný spálením rostlinného materiálu [27,28].

7 VLIV VSTUPNÍCH SUROVIN NA EXTRUZNÍ PROCES

Na vlastnosti extrudovaných výrobků, tvar, texturu a objemovou hmotnost má rozhodující vliv obsah a vzájemný poměr chemických látek ve vstupní surovině [29].

7.1 Škrob

Extruzní vaření je unikátní v tom, že dochází k mazovatění, při vlhkosti 12 až 22 % na rozdíl od jiných potravinářských aplikací. Při teplotě mazovatění T_g , dochází k transformaci amorfního a krystalického škrobu. Při dalším zvýšení teploty se uvolňují vazby krystalického amylopektinu při teplotě T_{m1} . Amylosové komplexy se rozvolňují při teplotě T_{m2} (Obr. 6) [30,31,39].



Obr. 6. Stavový diagram pšeničného škrobu [16].

Mazovatění je zvyšováno působením tepla, tlaku a smykových sil. Ovlivňuje ho také přítomnost dalších látek zejména bílkovin, tuků, cukrů, soli a vlákniny. Během mazovatění dochází ke snížení molekulové hmotnosti amylosy a amylopektinu, přičemž výraznější je snížení molekulové hmotnosti u amylopektinu. Stupeň mazovatění, obsah bílkovin a tuku ve vzájemné interakci ovlivňují elasticitu i viskozitu těsta a tím objemovou hmotnost, texturu a tvar hotového výrobku. Stupeň mazovatění škrobu je možné ovlivňovat

konfigurací segmentů šneku extruderu. Extruzní proces, vedle vlivu na škrob, výrazně redukuje obsah oligosacharidů stachiosy a rafinosy v luštěninových produktech [32,33,34].

7.2 Bílkoviny

Bílkoviny jsou rovnoměrně rozptýleny v kontinuální škrobové polymerové matici. Rozpustné a nerozpustné bílkoviny ovlivňují distribuci vody v matici, její makromolekulární strukturu, konformaci a následně ovlivňují viskozitu extrudované taveniny. Přispívají ke vzniku rozsáhlé sítě pomocí vazebných i nevazebných interakcí. Při vysokých teplotách a se zvyšujícím se podílem bílkovin tvoří intermolekulární sulfidické vazby, elektrostatické a hydrofobní interakce. Extruzní proces zvyšuje stravitelnost bílkovin denaturací [34].

7.3 Tuky

Obecně se pro výrobu přímo expandovaných produktů nepoužívají suroviny s obsahem tuku vyšším než 10%, protože zvyšují skluz tubusu extruderu a komplikují extruzi. Obsah tuku do 2,5 % snižuje viskozitu těsta, čímž se zvyšuje expanze extrudátu. Olej působí jako mazivo mezi částicemi suroviny, šnekem a tubusem extruderu. Drobné kapky oleje pod 1,5 μm jsou rozptýlené v kontinuální fázi škrobu a snižují vnitřní tření mezi částicemi suroviny [12,15,16].

7.4 Cukr a sůl

Cukr a sůl dávají chuť konečnému výrobku, ale také ovlivňují technologické vlastnosti těsta. V závislosti na koncentraci zvyšují plasticitu, ale omezují elasticitu v závislosti na koncentraci. Přispívají také k dosažení kulového tvaru hotového extrudátu. Redukující cukry reagují s volnými aminokyselinami a způsobují barevné změny [26,36].

7.5 Vlákna

Vliv neškrobových polysacharidů je dán především velikostí jejich částic a množstvím. Drobné částice otrub se podílí na vzniku bublinek – nukleaci při expanzi. Větší množství a větší granulace otrub snižuje elasticitu těsta a tlumí expanzi [9,37].

7.6 Vitaminy

Ztráty vitamínů závisí především na podmínkách extruze. Z lipofilních vitamínů jsou nejcitlivější vitamíny A a B. Z hydrofilních jsou to vitamíny C a thiamin B₁, jehož ztráta je až 30 %. U ostatních vitamínů skupiny B jsou ztráty do 10 % [34].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo prokázat a vyhodnotit vliv chemického složení a fyzikálních vlastností kukuřičné mouky a krupice na kvalitu extrudovaných výrobků. Cíle práce bylo dosaženo řešením šesti dílčích cílů:

- Zvolit rozmezí granulačních frakcí kukuřičné krupice a parametry hodnocení
- Připravit vzorky kukuřičné krupice s různým obsahem vody
- Provést laboratorní rozbory
- V provozních podmínkách výrobního podniku vyrobit vzorky extrudátu
- Analyzovat vzorky podle stanových parametrů
- Statisticky zjistit a vyhodnotit vztahy mezi jednotlivými parametry
- Diskutovat získané výsledky a formulovat závěry

9 MATERIÁL A METODY

Byl hodnocen vliv granulace a vlhkosti vstupní suroviny na kvalitu extrudátu. Předpokladem bylo, že surovina s nižší granulací bude expandovat méně při nižším obsahu tuku a extrudát bude mít nižší objemovou hmotnost. Naopak vyšší granulace suroviny s vyšším obsahem bílkovin budou expandovat do požadovaného kulového tvaru. Dalším ověřovaným předpokladem bylo, že vlhkost bude ovlivňovat objemovou hmotnost, tvar a texturu výrobků.

9.1 Použitý materiál

Práce byla provedena na kukuřičné mouce a krupici z Mlýna Herber, provoz Holasovice. Hodnoceny byly čtyři granulační frakce kukuřičné krupice o dvou různých vlhkostech (tab. 1).

Tab. 1. Granulace a chemické složení kukuřičných frakcí.

| GRANULACE | 100–300 [μm] | | 300–500 [μm] | | 800–1350 [μm] | | 300–1350 [μm] | |
|------------------|--------------|-------|--------------|------|---------------|-------|---------------|------|
| ŠKROB [%] | 86,4 | | 84,7 | | 81,2 | | 82,6 | |
| AMYLOSA [%] | 26 | | 26 | | 30 | | 27 | |
| NL [%] | 6,7 | | 8 | | 9,4 | | 8,9 | |
| N [%] | 1,07 | | 1,28 | | 1,51 | | 1,43 | |
| VLHKOST [%] | 15,17 | 12,07 | 14,73 | 12,1 | 14,27 | 11,49 | 14,48 | 11,7 |
| TUK [%] | 1,84 | 3,95 | 1,68 | 4,2 | 1,94 | 5,26 | 1,49 | 4,91 |
| PEPEL [%] | 0,54 | 1,2 | 0,62 | 1,34 | 0,59 | 1,41 | 0,69 | 1,44 |
| 1180 [μm] | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 24 | 24,7 | 17 | 15 |
| 853 [μm] | 0,8 | 0,4 | 0 | 0 | 42 | 50,8 | 31 | 31,5 |
| 600 [μm] | 2,9 | 7,9 | 12,3 | 13 | 30 | 22,6 | 34 | 33,6 |
| 446 [μm] | 8,6 | 20,2 | 34,2 | 33,8 | 2,5 | 1,2 | 7,4 | 9,1 |
| 366 [μm] | 2,5 | 8,8 | 16,4 | 15,8 | 0,5 | 0 | 2,6 | 3,3 |
| 257 [μm] | 12 | 14,6 | 25,8 | 26 | 0 | 0 | 4,2 | 4,8 |
| 119 [μm] | 66,9 | 39,9 | 10,4 | 10,1 | 0 | 0 | 2,9 | 2,7 |
| Propad sítím [%] | 5,4 | 7,5 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

9.2 Výroba extrudátu

Vzorky byly vyrobeny na jednošnekovém extruderu SCHAFF 9250. Teplota před matricí 100 °C. Výkon extruderu byl nastaven na 165 kg·h⁻¹. Průtok zvlhčovače – přídavek vody byl nastaven na 2,4 l·h⁻¹. Průměr extruzních trysek byl 3 mm. Otáčky šneku extruderu 460 ot·min⁻¹. Po extruzi byly vzorky zchlazeny na teplotu místnosti a zataveny do PET folie.

9.3 Laboratorní rozbor

- Stanovení obsahu vody v surovině

Toto stanovení bylo u mouky a krupic provedeno dle ČSN-56 0512-7. Obsah vody je zde definován jako úbytek hmotnosti vzorku, ke kterému dojde sušením za podmínek specifikovaných touto normou. Zkušební vzorky byly sušeny v elektrické sušárně při teplotě 130 °C až 133 °C po dobu 60 minut. Zbytek byl po vysušení a vychladnutí v exsikátoru zvážen.

- Stanovení obsahu popela v surovině

Obsah popela byl stanoven v souladu s ČSN ISO 2171 jako zbytek získaný po spálení při (900±25 °C) za předepsaných podmínek. Zkušební vzorky byly spalovány v oxidační atmosféře při teplotě (900±25 °C), dokud nedošlo k úplnému rozkladu organických látek. Po vychladnutí v exsikátoru byly získané zbytky zváženy. Stanovení se provádělo v peci MLW typ ML 312 11.

- Granulace mouky a krupic

Granulace kukuřičné krupice není stanovena ČSN. Pro určení granulačního spektra byla zvolena síta v rozsahu (1180–119 μm). Prosévání 50 g vzorku trvalo 300 sekund při 180 otáčkách/minutu. Po stanovení se zvažily přepady sít a propad spodního síta. Výsledky byly vyjádřeny v hmotnostních procentech.

- Stanovení obsahu amylosy v surovině

Obsah amylosy byl stanoven pomocí Amylose / Amylopectin Assay Procedure K-AMYL 07/11 for the Measurement of the Amylose and Amylopectin Contents of Starch od společnosti Megazyme International, Ireland

- Stanovení obsahu bílkovin v surovině

Obsah dusíku byl proveden dle-ICC STANDARD No. 167 na analyzátoru pro stanovení dusíku a proteinu LECO FP-528. Obsah dusíkatých látek byl stanoven pomocí přepočtového faktoru 6,25.

- Stanovení obsahu tuku v surovině

Stanovení obsahu tuku bylo provedeno dle ČSN-56 05 12

9.4 Objemová hmotnost extrudátu

Extrudát byl volně vsypán do odměrného válce o objemu 500 ml tak, aby extrudát nepřesahoval rysku udávající objem 500 ml. Hmotnost odměřeného množství extrudátu byla zjištěna na vahách s přesností na 0,1 g. Průměrná objemová hmotnost byla vypočtena ze dvou opakovaných měření a vyjádřena v jednotkách $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$.

9.5 Analýza textury výrobku

Vzorky extrudátu byly rozbaleny bezprostředně před testováním. Hodnoty rozborovaných parametrů byly zjištěny analyzátozem textury TA.XT plus. Hodnoceny byly parametry soudržnost a tvrdost.

9.6 Analýza struktury výrobku

Analýza struktury výrobku byla provedena modifikovaným postupem podle Matousek et al. (2011), pro měření velikosti pórů polymerních pěn s otevřenými buňkami. Byly připraveny řezy extrudátů vyrobené z jednotlivých hodnocených surovin. Plocha řezu byla kontrastně zbarvena, a tak odlišena struktura stěn vnitřní porézní struktury. Celková plocha Černých vnitřních stěn a žlutých dutin byla digitálně analyzována na přesně definované bílé ploše. U každé skupiny vzorků byly zjišťovány parametry: celková plocha řezů zrn, průměrná plocha řezu zrna, vzájemný poměr pórů a stěn, plochy řezu extrudátů a plochy pórů.

9.7 Statistická analýza

Statistická analýza získaných dat byla provedena programem Statistica 9.0 společnosti StatSoft, Inc. Průkaznost vlivu jednotlivých sledovaných parametrů na kvalitu extrudátu byla zjišťována jednofaktorovou analýzou variance. Průkaznost vlivu dvou faktorů současně pomocí dvoufaktorové analýzy variance. Průkaznost rozdílu byla testována na hladině významnosti 0,05.

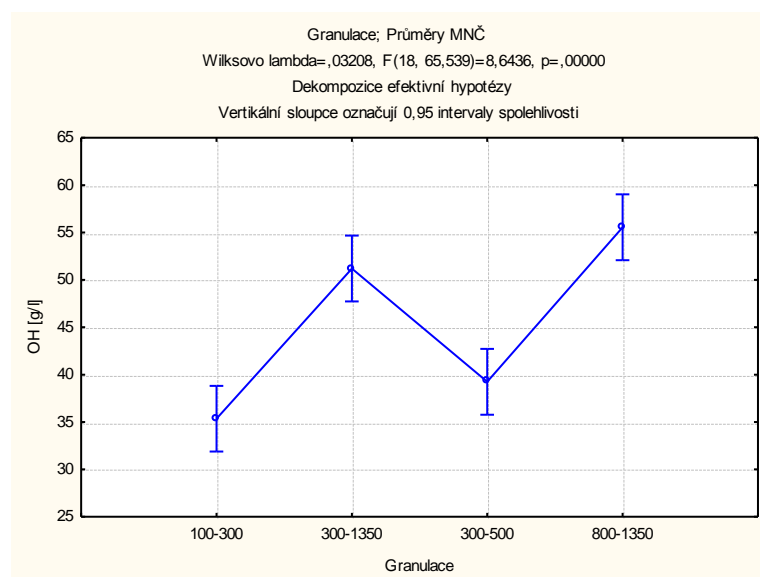
10 VÝSLEDKY A DISKUSE

Pokusnou extruzí čtyř granulačních frakcí o dvou rozdílných vlhkostech, bylo vyrobeno osm vzorků extrudátů. Vzorky byly hodnoceny podle zvolených parametrů.

10.1 Hodnocení parametrů extrudátu

10.1.1 Vliv granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu

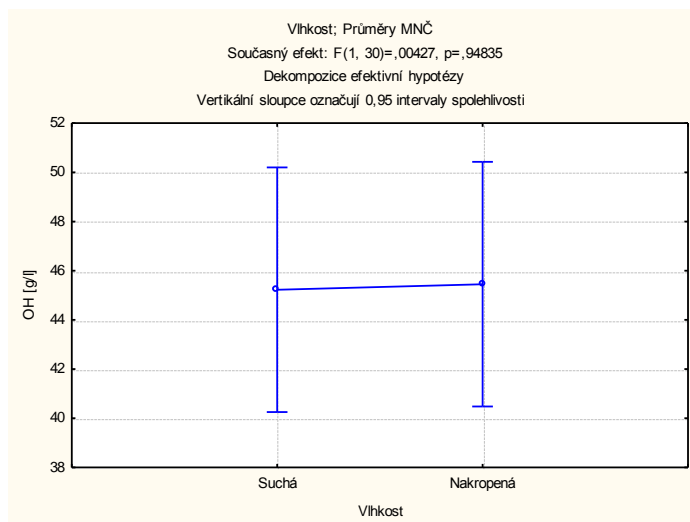
Suroviny granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm statisticky průkazně zvyšovaly objemovou hmotnost (51 g/l;55 g/l) extrudátů, proti surovinám granulací 100–300 μm a 300–500 μm (35 g/l;39 g/l), (obr. 7).



Obr. 7. Vliv granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.2 Vliv obsahu vody v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu

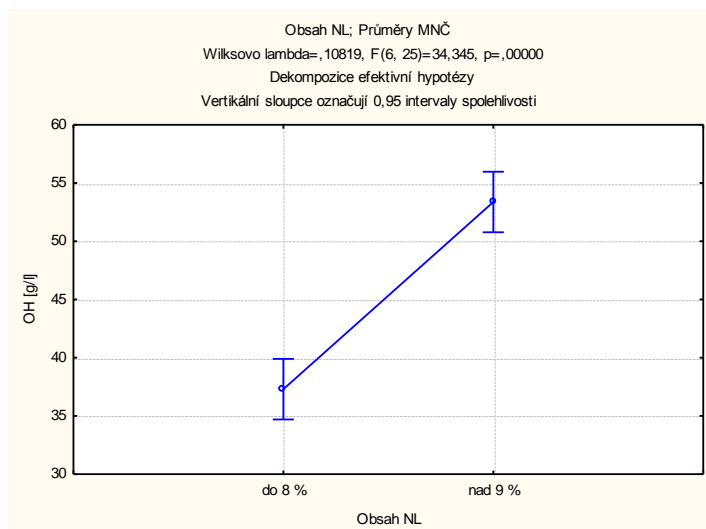
Objemová hmotnost byla vyšší u výrobků ze suché suroviny (45,5 g/l) než objemová hmotnost u výrobků z nakropené suroviny (45,2 g/l). Rozdíl nebyl statisticky průkazný (obr. 8).



Obr. 8. Vliv obsahu vody v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.3 Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu

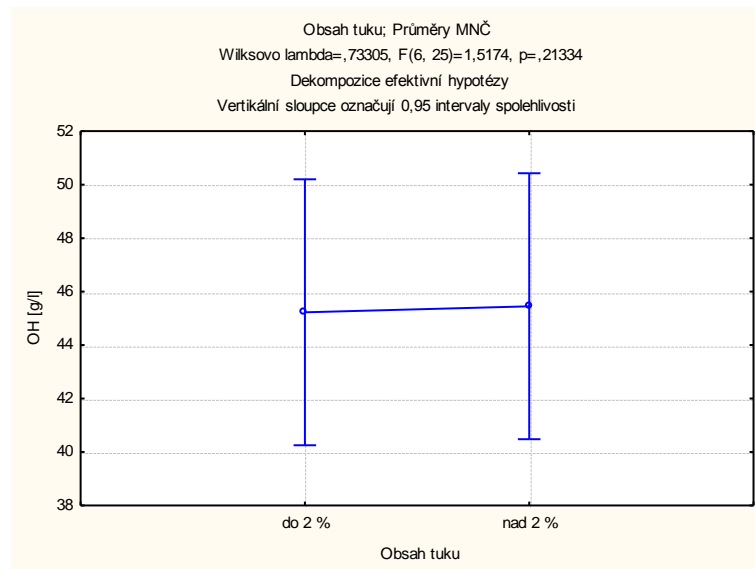
Obsah bílkovin nad 9 % v sušině suroviny průkazně zvyšoval objemovou hmotnost (obr. 9). Zatímco extrudát vyrobený ze suroviny s obsahem bílkovin do 8,0 % měl objemovou hmotnost (37,3 g/l), extrudát vyrobený ze suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % měl objemovou hmotnost o (16,4 g/l) vyšší (obr. 9).



Obr. 9. Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.4 Vliv obsahu tuku v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu

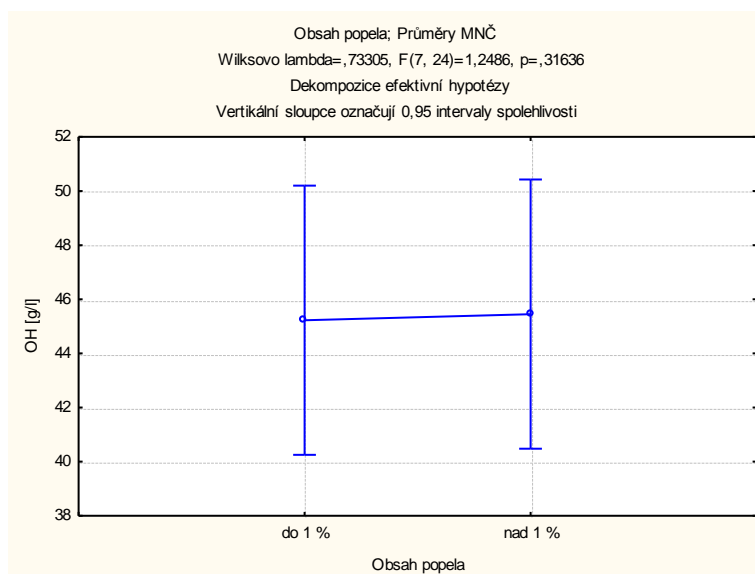
Rozdíly v průměrných hodnotách objemové hmotnosti extrudátů vyrobených ze suroviny s obsahem tuku do 2 % a nad 2 % se průkazně nelišily (obr. 10).



Obr. 10. Vliv obsahu tuku v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.5 Vliv obsahu popela v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu

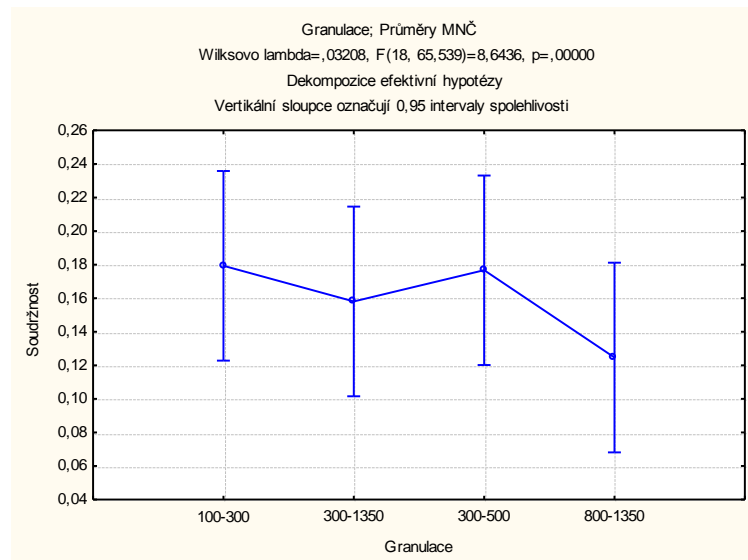
Obsah popela neměl průkazný vliv na hodnoty objemové hmotnosti (obr. 11).



Obr. 11. Vliv obsahu popela v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.6 Vliv granulace surovin na soudržnost extrudátu

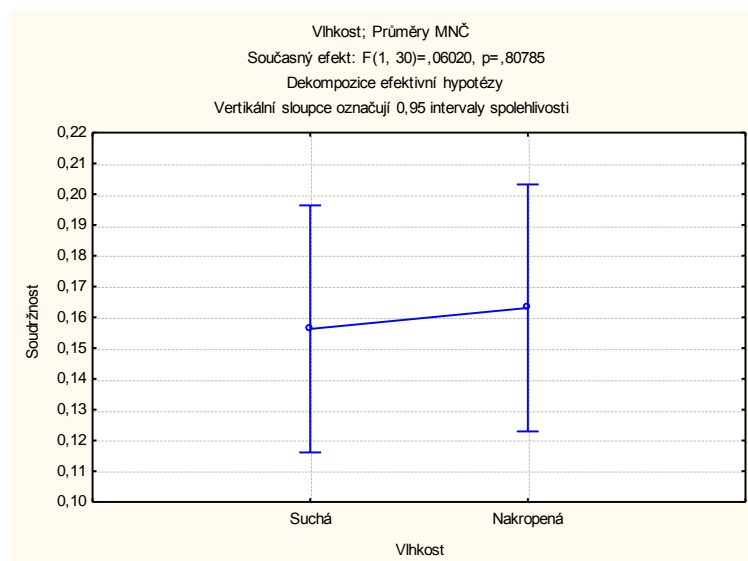
Vyšší soudržnost měly extrudáty ze surovin s granulací 100–300 μm a 300–500 μm (0,16;0,17), nižší byla soudržnost extrudátů ze surovin s granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm (0,15;0,12). Rozdíly nebyly statisticky průkazné (obr. 12).



Obr. 12. Vliv granulace surovin na soudržnost extrudátu.

10.1.7 Vliv obsahu vody v surovinách na soudržnost extrudátu

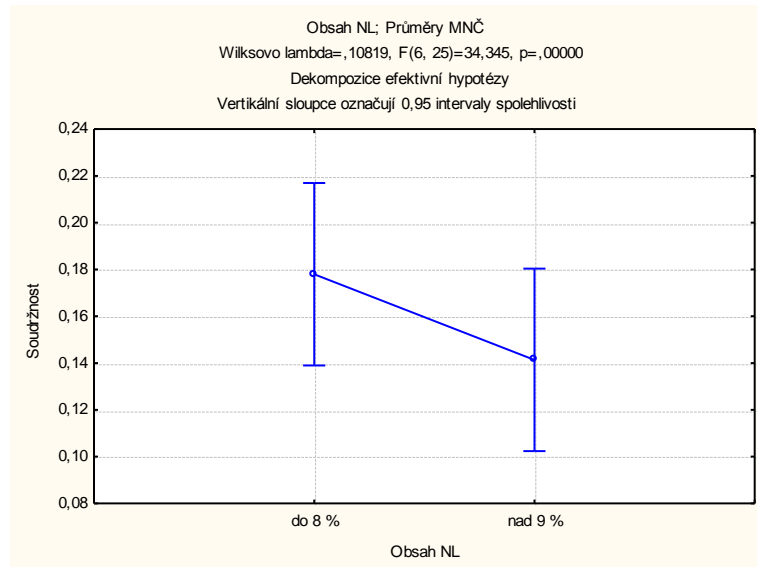
Soudržnost byla nejnižší u extrudátu ze suchých surovin (0,15). U extrudátu z nakropených surovin byla soudržnost (0,16). Rozdíl nebyl statisticky průkazný (obr. 14).



Obr. 13. Vliv obsahu vody v surovinách na soudržnost extrudátu.

10.1.8 Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na soudržnost extrudátu

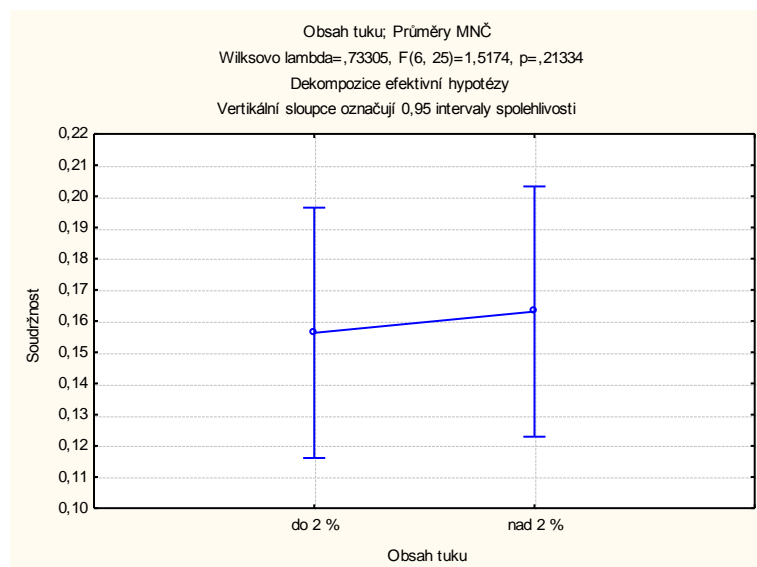
Extrudáty ze surovin s obsahem bílkovin do 8 % měly hodnotu soudržnosti (0,14) a její snížení oproti extrudátům vyrobeným ze surovin s obsahem bílkovin nad 9 % (0,17) nebylo statisticky průkazné (obr. 14).



Obr. 14. Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na soudržnost extrudátu.

10.1.9 Vliv obsahu tuku v surovinách na soudržnost extrudátu

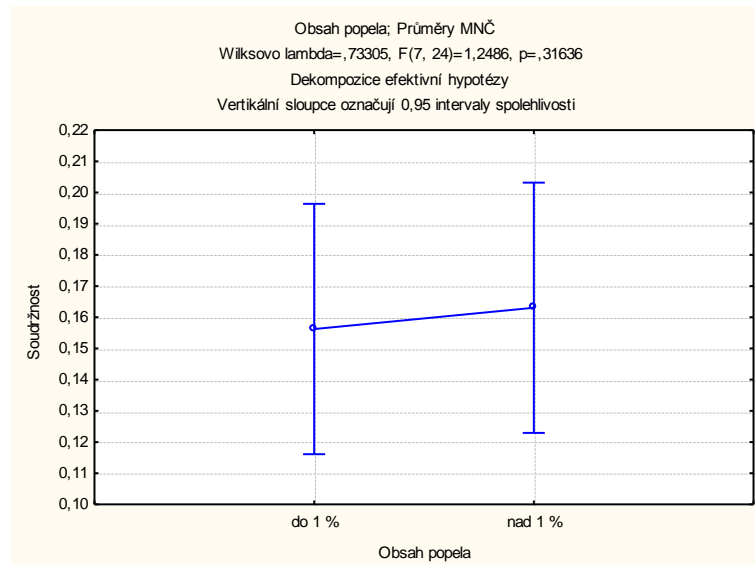
Rozdíly v průměrných hodnotách soudržnosti extrudátů vyrobených ze suroviny s obsahem tuku do 2 % a nad 2 % se průkazně nelišily (obr. 15).



Obr. 15. Vliv obsahu tuku v surovinách na soudržnost extrudátu.

10.1.10 Vliv obsahu popela v surovinách na soudržnost extrudátu

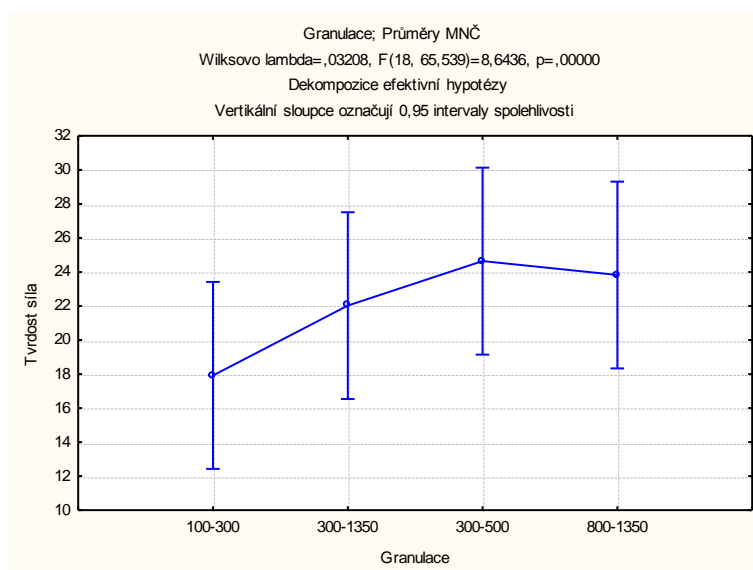
Obsah popela neměl průkazný vliv na průměrné hodnoty soudržnosti (obr. 16).



Obr. 16. Vliv obsahu popela na soudržnost extrudátu.

10.1.11 Vliv granulace surovin na tvrdost extrudátu

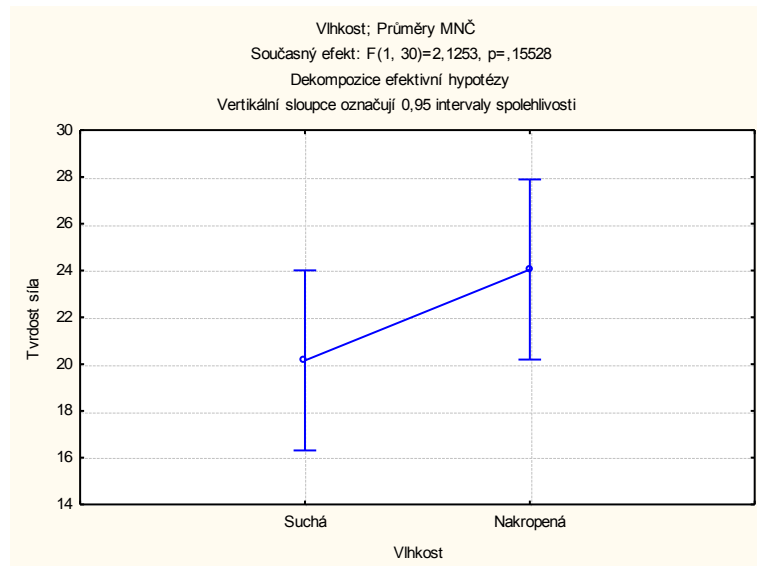
Tvrdost byla nejnižší u extrudátů ze surovin granulace 100–300 μm a 300–1350 μm (17;22). Nejvyšší tvrdost byla u extrudátu ze suroviny granulace 300–500 μm (24). Extrudát ze suroviny granulace 800–1350 μm měl tvrdost (23) Rozdíly nebyly statisticky průkazné (obr. 17).



Obr. 17. Vliv granulace surovin na tvrdost extrudátu.

10.1.12 Vliv obsahu vody v surovinách na tvrdost extrudátu

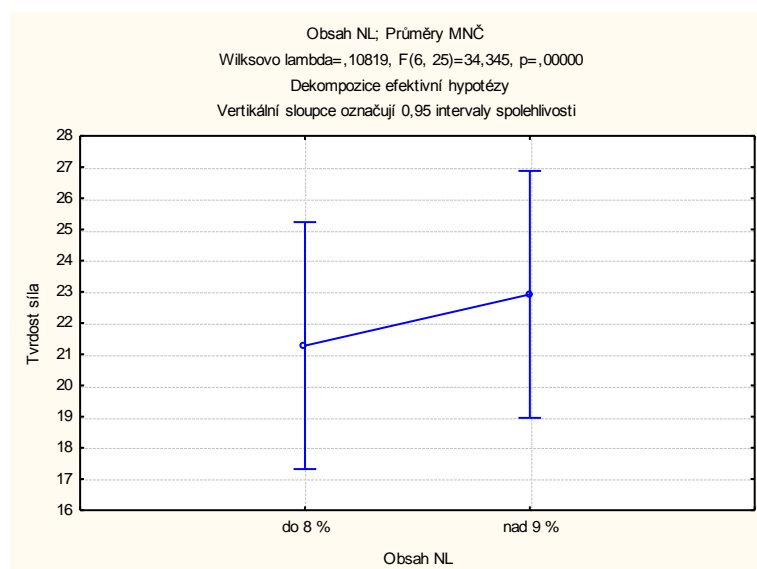
Tvrdost byla nižší u extrudátu vyrobeného z mokré suroviny (20), zvýšení tvrdosti u extrudátu ze suché suroviny (24) nebylo statisticky průkazné (obr. 18).



Obr. 18. Vliv obsahu vody v surovinách na tvrdost extrudátu.

10.1.13 Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na tvrdost extrudátu

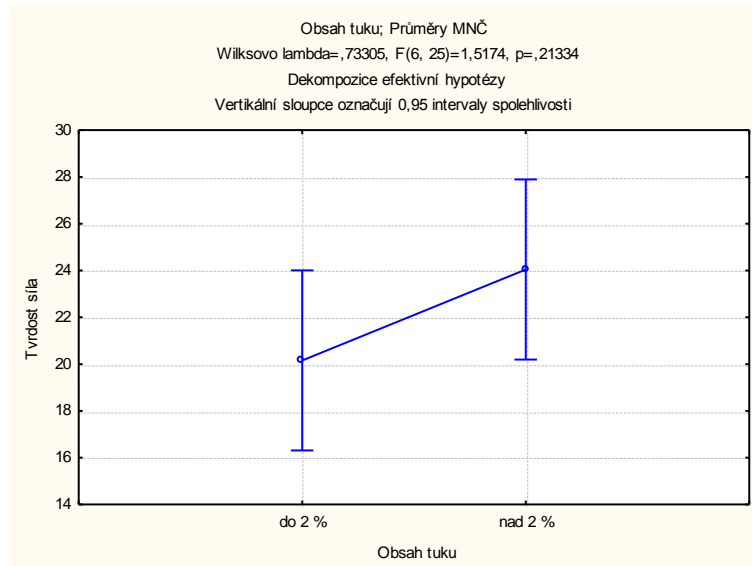
Obsah dusíkatých látek neměl průkazný vliv na tvrdost extrudátu, i když tvrdost byla vyšší u vzorků vyrobených ze suroviny s obsahem dusíkatých látek nad 9 % (obr. 19).



Obr. 19. Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na tvrdost extrudátu.

10.1.14 Vliv obsahu tuku v surovinách na tvrdost extrudátu

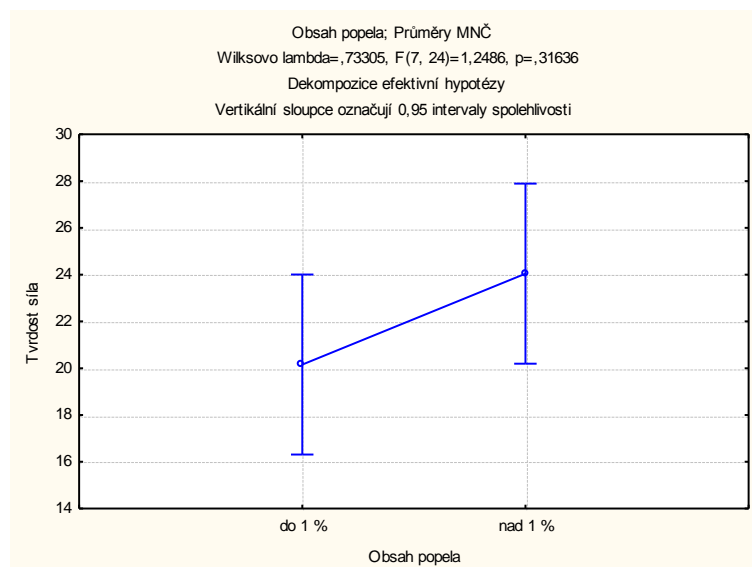
Rozdíly v průměrných hodnotách tvrdosti extrudátů vyrobených ze suroviny s obsahem tuku do 2 % a nad 2 % nebyly průkazné (obr. 20).



Obr. 20. Vliv obsahu tuku v surovinách na tvrdost extrudátu.

10.1.15 Vliv obsahu popela v surovinách na tvrdost extrudátu

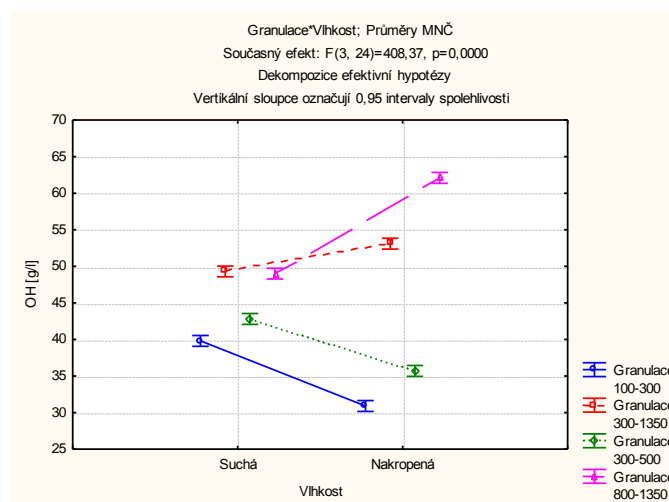
Obsah popela neměl průkazný vliv na průměrné hodnoty tvrdosti (obr. 21).



Obr. 21. Vliv obsahu popela v surovinách na tvrdost extrudátu.

10.1.16 Vliv obsahu vody a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu

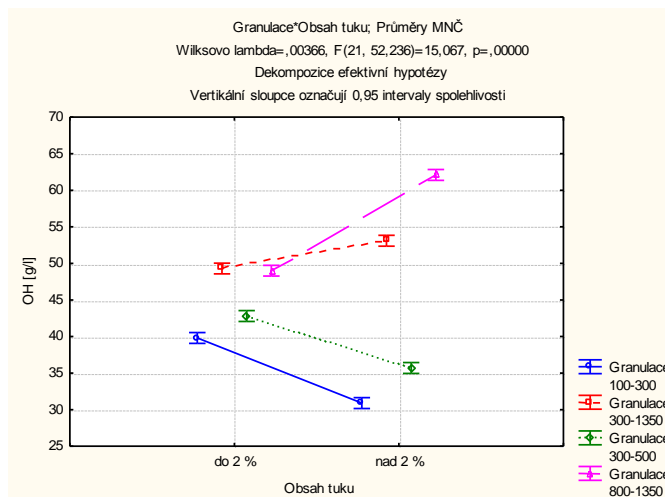
Extrudáty z nakropených surovin s granulací 100–300 μm a 300–500 μm dosáhly statisticky průkazně nejnižší objemové hmotnosti (30 g/l; 35 g/l). Nejvyšší objemové hmotnosti dosáhly extrudáty z nakropených surovin granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm (53 g/l; 62 g/l). Menší rozdíly v průměrných hodnotách objemových hmotností byly zjištěny u extrudátů ze suchých surovin (obr. 22). Obdobné výsledky byly zjištěny při analýze vlivu granulace a obsahu tuku na objemovou hmotnost (obr. 23).



Obr. 22. Vliv obsahu vody a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.17 Vliv obsahu tuku a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu

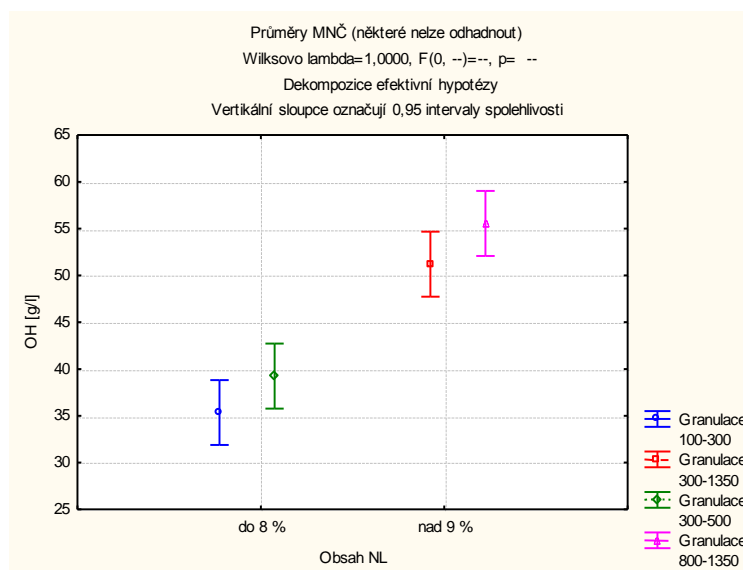
Stejně hodnoty sledovaných parametrů dosáhly extrudáty vyrobené ze surovin s obsahem tuku do 2 % a nad 2 % (obr. 23).



Obr. 23. Vliv obsahu tuku a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů.

10.1.18 Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu

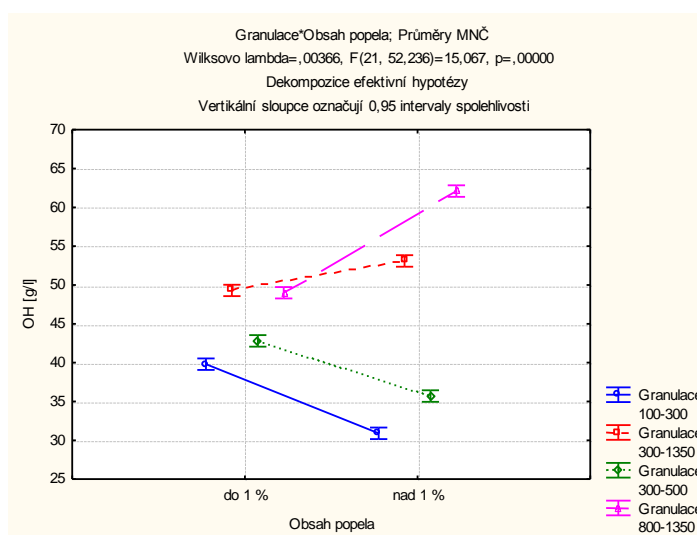
Statisticky nejnižší objemové hmotnosti dosáhly extrudáty ze surovin granulací 100–300 μm a 300–500 μm s obsahem bílkovin do 9 % (35 g/l;39 g/l). Statisticky průkazné byly nejvyšší objemové hmotnosti u extrudátů vyrobených ze surovin s granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm a obsahem bílkovin nad 9 % (51 g/l;55 g/l), (obr. 24).



Obr. 24. Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů.

10.1.19 Vliv obsahu popela a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů

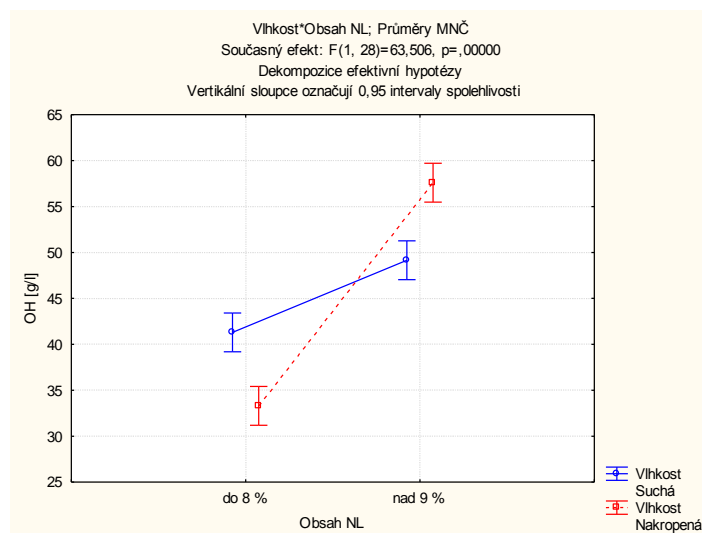
Statisticky průkazně nejnižší objemové hmotnosti dosáhly extrudáty ze surovin s granulací 100–300 μm a 300–500 μm a obsahem popela nad 1 % (30 g/l;35 g/l) Extrudát ze surovin s granulací 100–300 μm a 300–500 μm a obsahem popela do 1 % dosáhl objemové hmotnosti (39 g/l;42 g/l). Statisticky významný rozdíl objemové hmotnosti dosáhly extrudáty ze surovin granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm s obsahem popela do 1 % (0,3 g/l). Průkazně nejvyšší hodnoty objemových hmotností byly dosaženy u extrudátů ze surovin granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm a obsahem popela nad 1 % (53 g/l;62 g/l.), (obr. 25).



Obr. 25. Vliv obsahu popela a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů.

10.1.20 Vliv obsahu dusíkatých látek a vody v surovině na objemovou hmotnost extrudátu

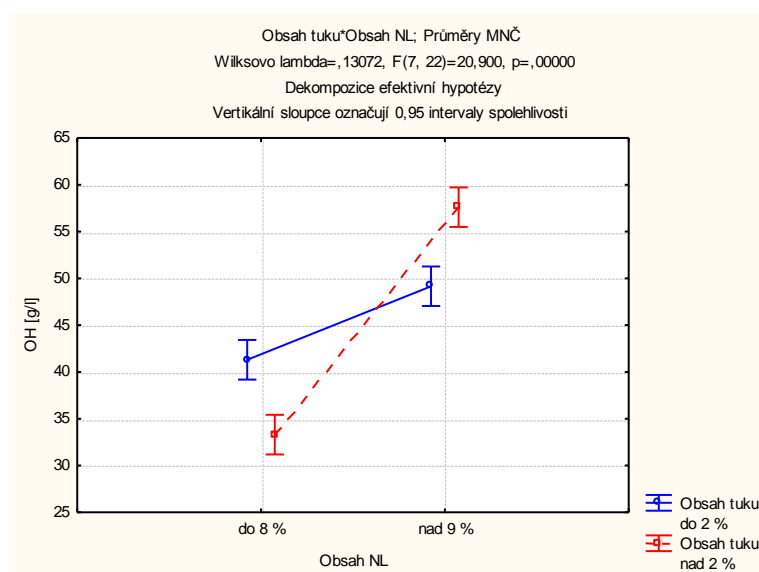
Průkazně nejnižší objemová hmotnost byla naměřena u extrudátu z nakropené suroviny s obsahem bílkovin do 8 % (33 g/l). Extrudát ze suché suroviny s obsahem bílkovin do 8 % měl objemovou hmotnost (41 g/l). Vyšší objemovou hmotnost měl extrudát ze suché suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % (49 g/l). Nejvyšší objemová hmotnost byla naměřena u extrudátu z nakropené suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % (57 g/l). Všechny zjištěné rozdíly byly statisticky průkazné (obr. 26).



Obr. 26. Vliv obsahu dusíkatých látek a vody v surovině na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.21 Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku v surovině na objemovou hmotnost extrudátu

Průkazně nejnižší objemovou hmotnost měl extrudát ze suroviny s obsahem tuku nad 2 % a do 8 % bílkovin (33 g/l). Extrudát ze suroviny s obsahem tuku do 2 % a do 8 % bílkovin dosáhl objemovou hmotnost (41 g/l). Při obsahu tuku do 2 % a nad 9 % bílkovin, měl extrudát objemovou hmotnost (49 g/l). Průkazně nejvyšší objemovou hmotnost měl extrudát ze suroviny s obsahem tuku nad 2 % a nad 9 % bílkovin (57 g/l). Všechny zjištěné rozdíly byly statisticky průkazné (obr. 27).

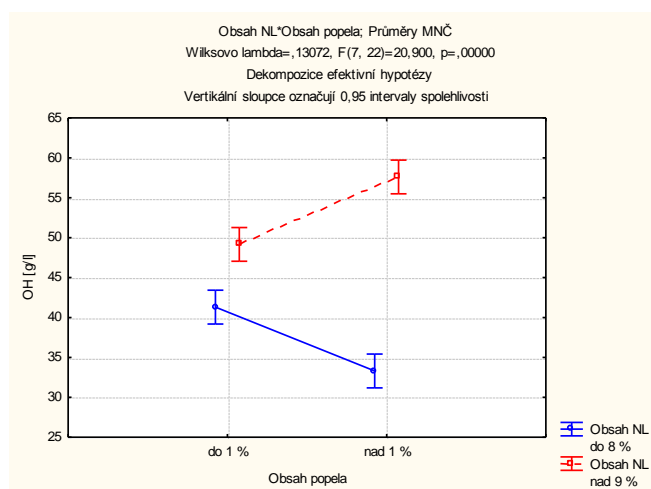


Obr. 27. Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku v surovině na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.22 Vliv obsahu popela a dusíkatých látek v surovině na objemovou hmotnost extrudátu

Průkazně nejnižší objemovou hmotnost měl extrudát ze suroviny s obsahem bílkovin do 8% a obsahem popela nad 1% (33 g/l). Extrudát ze suroviny s obsahem bílkovin do 8% a obsahem popela do 1% dosáhl objemovou hmotnost (41 g/l). Při obsahu bílkovin nad 9% a obsahu popela do 1%, měl extrudát objemovou hmotnost (49 g/l). Průkazně

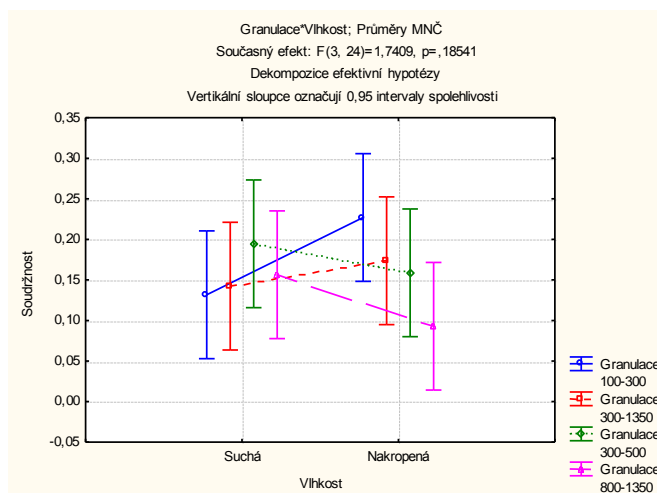
nejvyšší objemovou hmotnost měl extrudát ze suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % a obsahem popela nad 1 % (57 g/l), (obr. 28).



Obr. 28. Vliv obsahu popela a dusíkatých látek v surovině na objemovou hmotnost extrudátu.

10.1.23 Vliv obsahu vody a granulace surovin na soudržnost extrudátu

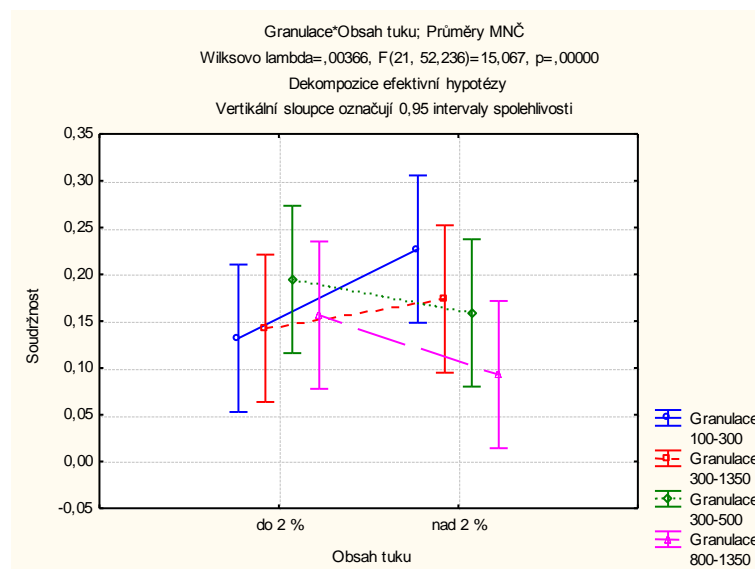
Extrudát ze suchých surovin s granulací 800–1350 μm měl průkazně nejnižší soudržnost (0,09). Extrudáty ze suchých surovin granulací 100–300 μm , 300–1350 μm a 800–1350 μm , měly průměrnou hodnotu soudržnosti (0,13;0,14;0,15). Extrudát z nakropené suroviny s granulací 300–500 μm měl také hodnotu soudržnosti (0,15). Vyšších průměrných hodnot soudržnosti dosáhl extrudát z nakropené suroviny s granulací 300–1350 μm (0,17) a extrudát ze suché suroviny granulace 100–300 μm měl hodnotu soudržnosti (0,19). Nejvyšší soudržnost měl extrudát z nakropené suroviny s granulací 100–300 μm (0,22). Rozdíly nebyly statisticky průkazné (obr. 29).



Obr. 29. Vliv obsahu vody a granulace surovin na soudržnost extrudátu.

10.1.24 Vliv obsahu tuku a granulace surovin na soudržnost extrudátu

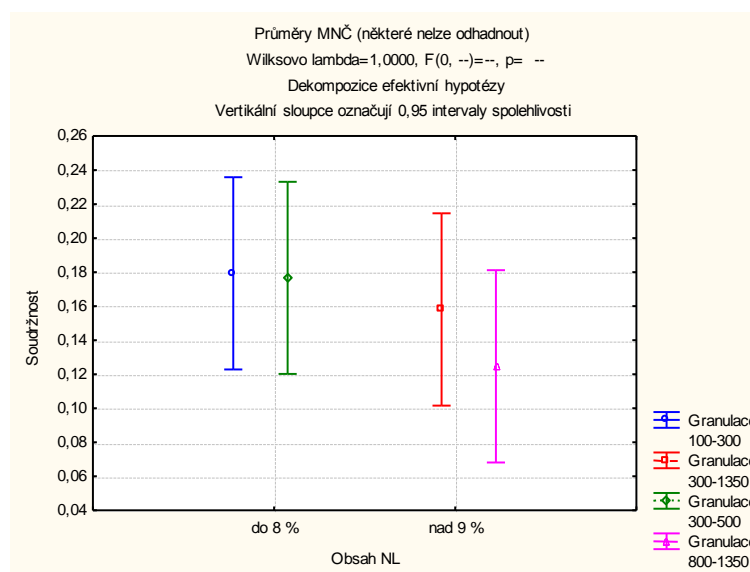
Soudržnost byla nejnižší u extrudátu ze surovin granulace 800–1350 μm a obsahem tuku nad 2 % (0,09). Extrudáty ze surovin s obsahem tuku do 2 % granulací 100–300 μm 300–1350 μm a 800–1350 μm měly hodnoty soudržnosti (0,13;0,14;0,15). Extrudáty ze surovin s obsahem tuku nad 2 % s granulací 300–500 μm a 300–1350 μm dosáhly hodnoty soudržnosti (0,15;0,17). Vyšší hodnotu soudržnosti dosáhl extrudát ze suroviny s obsahem tuku do 2 % s granulací 300–500 μm (0,19) a nejvyšší hodnotu soudržnosti měl extrudát ze suroviny s obsahem tuku nad 2 % s granulací 100–300 μm (0,22). Zjištěné rozdíly však nebyly statisticky průkazné (obr. 30).



Obr. 30. Vliv obsahu tuku a granulace surovin na soudržnost extrudátu.

10.1.25 Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na soudržnost extrudátu

Nejnižší průměrné hodnoty pro soudržnost měly extrudáty ze surovin granulací 800–1350 μm a 300–1350 μm s obsahem bílkovin nad 9 % (0,12;0,15). Nejvyšší průměrné hodnoty soudržnosti měly extrudáty ze surovin s granulací 300-500 μm a 100–300 μm s obsahem bílkovin do 8 % (0,17). Rozdíly nebyly statisticky průkazné (obr. 31).

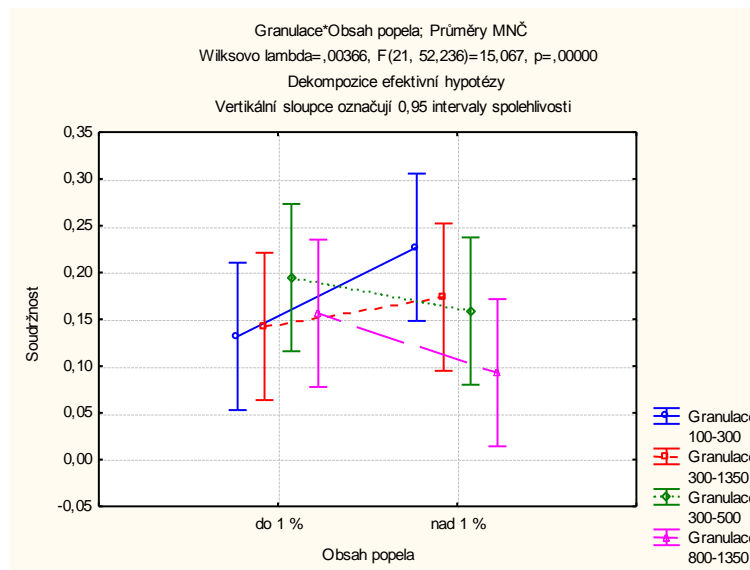


Obr. 31. Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na soudržnost extrudátu.

10.1.26 Vliv obsahu popela a granulace surovin na soudržnost extrudátu

Extrudát ze suroviny s granulací 800–1350 μm a obsahem popela nad 1 % měl nejnižší hodnotou soudržnosti (0,09). Extrudáty ze surovin s obsahem popela do 1 % a granulací 100–300 μm , 300–1350 μm a 800–1350 μm měly hodnoty soudržnosti (0,13; 0,14;0,15). Extrudáty ze surovin s granulací 300–500 μm a 300–1350 μm a obsahem popela nad 1 % dosáhly hodnot soudržnosti (0,15;0,17). Extrudát ze suroviny s granulací 300–500 μm a obsahem popela do 1 % měl hodnotu soudržnosti (0,19).

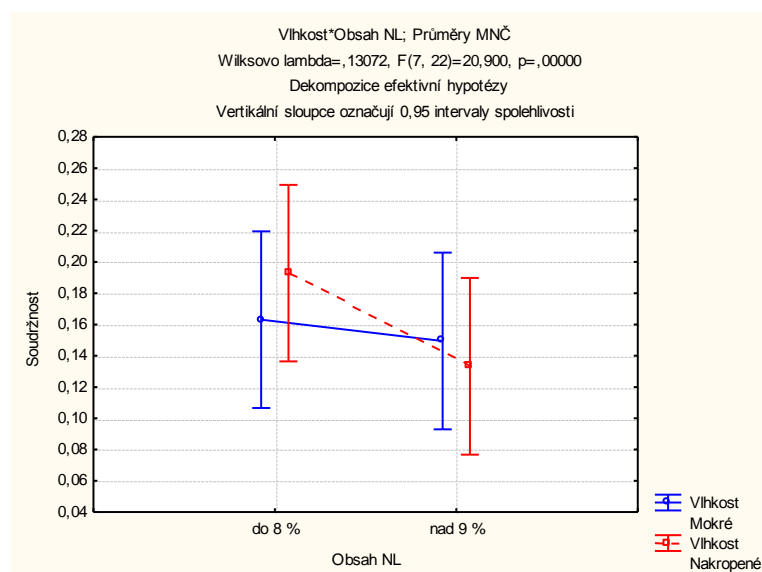
Nejvyšší soudržnost měl extrudát ze suroviny s granulací 300–500 μm a obsahem popela nad 1 % (0,22). Zjištěné rozdíly nebyly statisticky průkazné (obr. 32).



Obr. 32. Vliv obsahu popela a granulace surovin na soudržnost extrudátu.

10.1.27 Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na soudržnost extrudátů

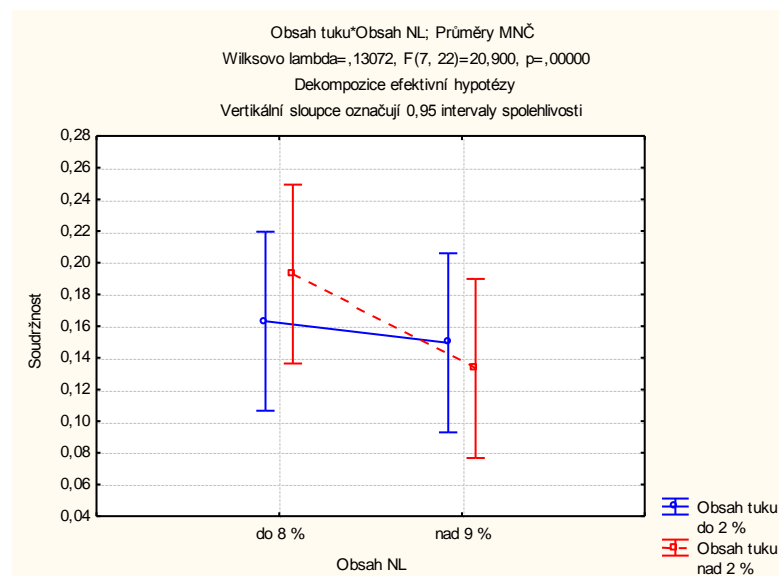
Nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly v průměrných hodnotách soudržnosti u extrudátů z nakropené a suché suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % (0,13;0,14) ani v průměrných hodnotách soudržnosti u extrudátů ze suché a nakropené suroviny s obsahem bílkovin do 8 % (0,16;0,19), (obr. 33).



Obr. 33. Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na soudržnost extrudátů.

10.1.28 Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku na soudržnost extrudátů

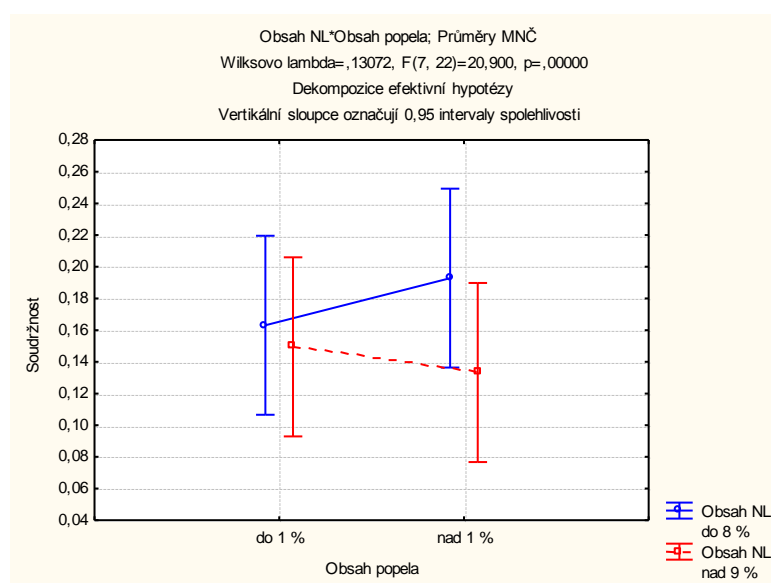
Extrudát ze suroviny s obsahem tuku nad 2 % a nad 9 % bílkovin měl hodnotu soudržnosti (0,13). Při obsahu tuku do 2 % a nad 9 % bílkovin byla průměrná hodnota soudržnosti (0,14). Extrudát ze suroviny s obsahem tuku do 2 % a do 8 % bílkovin měl hodnotu soudržnosti (0,16). Nejvyšší hodnotu soudržnosti měl extrudát ze suroviny s obsahem tuku nad 2 % a do 8 % bílkovin (0,19). Rozdíly průměrných hodnot soudržnosti nebyly statisticky průkazné (obr. 34).



Obr. 34. Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na soudržnost extrudátů.

10.1.29 Vliv obsahu popela a dusíkatých látek na soudržnost extrudátů

Extrudát ze suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % a obsahem popela nad 1 % měl hodnotu soudržnosti (0,13). Při obsahu bílkovin nad 9 % a obsahu popela do 1 % byla průměrná hodnota soudržnosti (0,14). Extrudát ze suroviny s obsahem bílkovin do 8 % a obsahem popela do 1% měl hodnotu soudržnosti (0,16). Nejvyšší hodnotu soudržnosti měl extrudát ze suroviny s obsahem bílkovin do 8 % a obsahem popela do 1 % (0,19). Rozdíly průměrných hodnot soudržnosti nebyly statisticky průkazné (obr. 35).

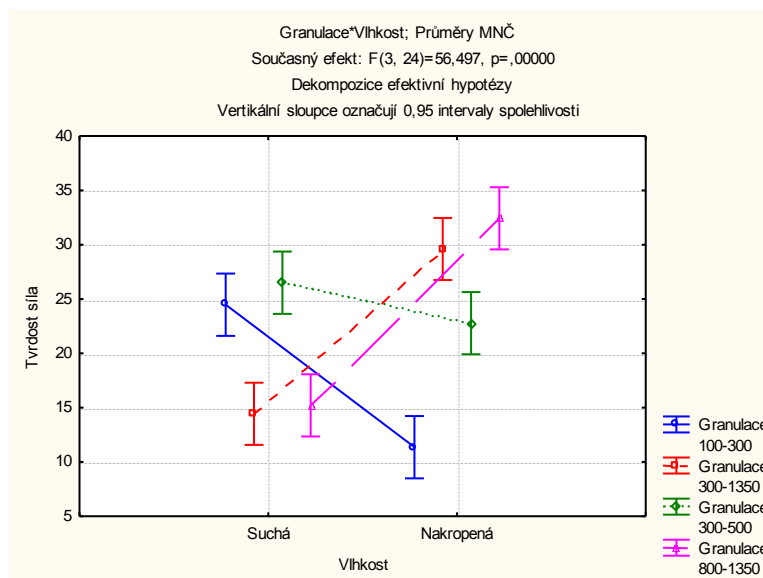


Obr. 35. Vliv obsahu popela a dusíkatých látek na soudržnost extrudátů.

10.1.30 Vliv obsahu vody a granulace surovin na tvrdost extrudátů

Nejnižší průměrnou hodnotu tvrdosti měl extrudát z nakropené suroviny s granulací 100–300 μm (11). Extrudáty ze suchých surovin s granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm měly hodnotu tvrdosti (14;15). Extrudát z nakropené suroviny s granulací 100–300 μm měl hodnotu tvrdosti (22). Extrudáty ze suchých surovin granulací 100–300 μm a 300–500 μm dosáhly hodnot tvrdosti (24;26). Vyšší hodnotu tvrdosti měl extrudát z nakropené suroviny s granulací 300–1350 μm (29). Průkazně nejvyšší hodnotu tvrdosti měl extrudát z nakropené suroviny s granulací 800–1350 μm (32). Rozdíly v tvrdosti extrudátů

vyrobených ze suchých a nakropených surovin byly průkazné u všech surovin s výjimkou suroviny o granulaci 300–500 μm (obr. 36).

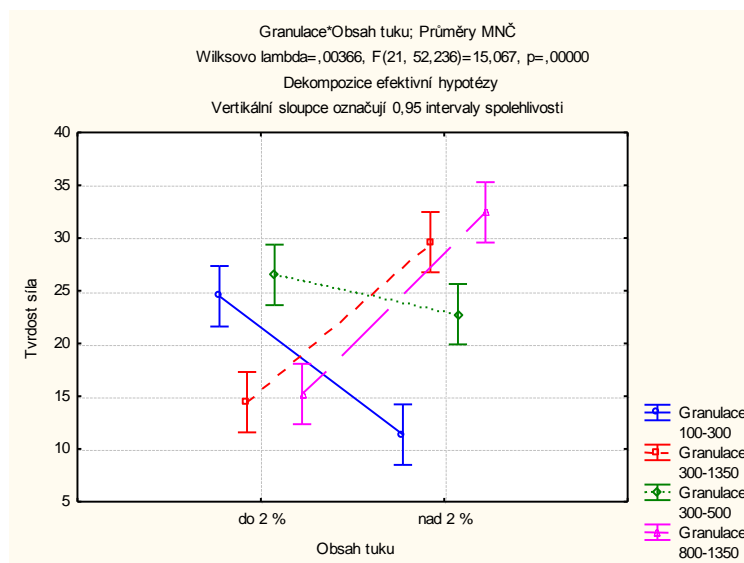


Obr. 36. Vliv obsahu vody a granulace surovin na tvrdost extrudátů.

10.1.31 Vliv obsahu tuku a granulace surovin na tvrdost extrudátu

Nejnižší tvrdost měl extrudát ze suroviny s granulací 100–300 μm a obsahem tuku nad 2 % (11). Extrudáty ze surovin s granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm a obsahem tuku do 2 % dosáhly průměrných hodnot tvrdosti (14;15) a průkazně se nelišily od extrudátu s nejnižší zjištěnou tvrdostí. U suroviny s granulací 300–500 μm a obsahem tuku nad 2 % byla naměřena průměrná hodnota tvrdosti (22). Extrudáty ze surovin s granulací 100–300 μm a 300–500 μm při obsahu tuku do 2 % dosáhly hodnot tvrdosti (24;26). Vyšší hodnota tvrdosti byla naměřena u extrudátu ze suroviny s granulací 300–1350 μm a obsahem tuku nad 2 % (29). Nejvyšší tvrdost měl extrudát ze suroviny s granulací 800–1350 μm a obsahem tuku nad 2 % (32). Rozdíly v tvrdosti extrudátů

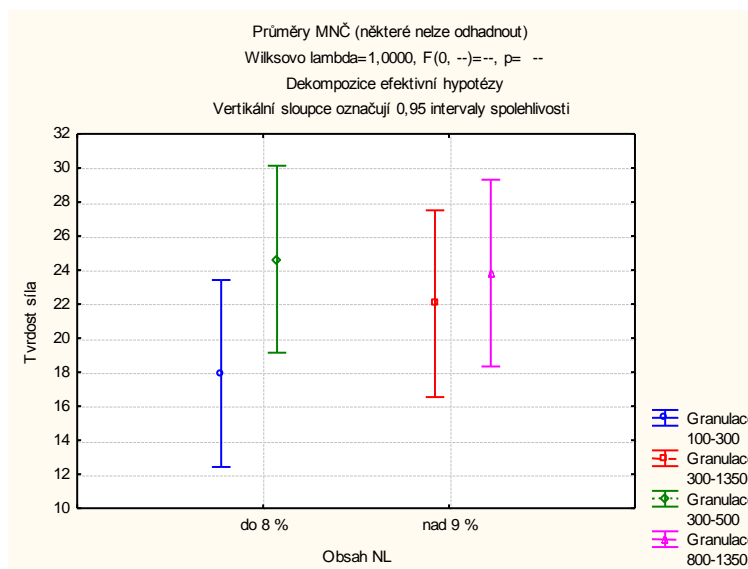
vyrobených ze surovin s obsahem tuku do 2 % a nad 2 % byly průkazné u všech surovin s výjimkou extrudátu ze suroviny o granulaci 300–500 μm (obr. 37).



Obr. 37. Vliv obsahu tuku a granulace surovin na tvrdost extrudátu.

10.1.32 Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na tvrdost extrudátu

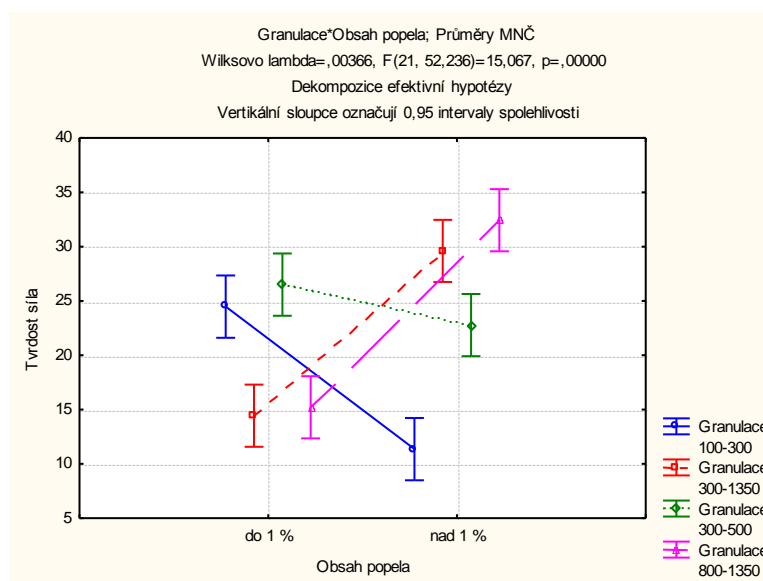
Nejnižší průměrnou hodnotu tvrdosti měl extrudát ze suroviny s granulací 100–300 μm a obsahem bílkovin do 8 % (17). Extrudáty ze surovin s granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm s obsahem bílkovin nad 8 % dosáhly hodnot tvrdosti (22;23). Nejvyšší tvrdost měl extrudát ze suroviny s granulací 300–500 μm a obsahem bílkovin do 8 % (24). Zjištěné rozdíly nebyly statisticky průkazné (obr. 38).



Obr. 38. Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na tvrdost extrudátu.

10.1.33 Vliv obsahu popela a granulace surovin na tvrdost extrudátu

Extrudát ze suroviny s granulací 100–300 μm a obsahem popela nad 1 % měl nejnižší hodnotu tvrdosti (11). Extrudáty ze surovin s obsahem popela do 1 % a granulací 300–1350 μm a 800–1350 μm měly hodnoty tvrdosti (0,14;0,15). Extrudát ze suroviny s granulací 300–500 μm a obsahem popela nad 1 % dosáhl hodnotu tvrdosti (22). Vyšší hodnoty tvrdosti měly extrudáty ze surovin s obsahem popela do 1 % a granulací 300–500 μm a 300–1350 μm (24;26). Vyšší hodnotu tvrdosti dosáhl extrudát ze suroviny s granulací 300–1350 μm a obsahem popela nad 1 % (29). Průkazně nejvyšší tvrdost měl extrudát ze suroviny s granulací 800–1350 μm a obsahem popela nad 1 % (32). Rozdíly v tvrdosti extrudátů vyrobených ze surovin do 1 % i nad 1 % popela byly průkazné u všech surovin s výjimkou extrudátu ze suroviny o granulaci 300–500 μm (obr. 39).

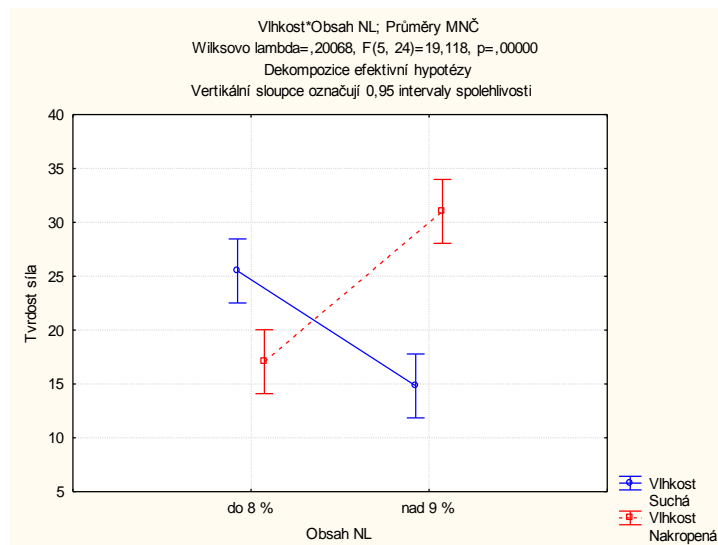


Obr. 39. Vliv obsahu popela a granulace surovin na tvrdost extrudátu.

10.1.34 Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na tvrdost extrudátu

Nejnižší hodnotu tvrdosti měl extrudát ze suché suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % (14). Extrudáty z nakropené a suché suroviny s obsahem bílkovin do 8 % dosáhly

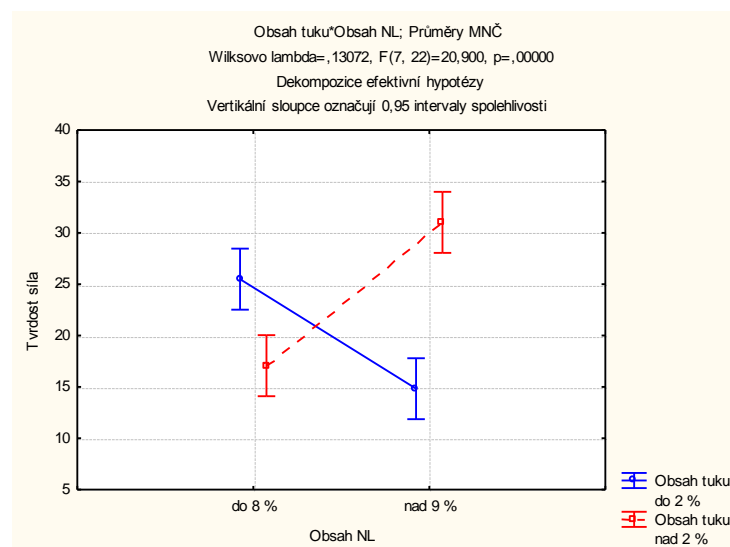
hodnoty tvrdosti (17;25). Průkazně nejvyšší hodnota tvrdosti byla naměřena u extrudátu z nakropené suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % (31), (obr. 40).



Obr. 40. Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na tvrdost extrudátu.

10.1.35 Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku na tvrdost extrudátu

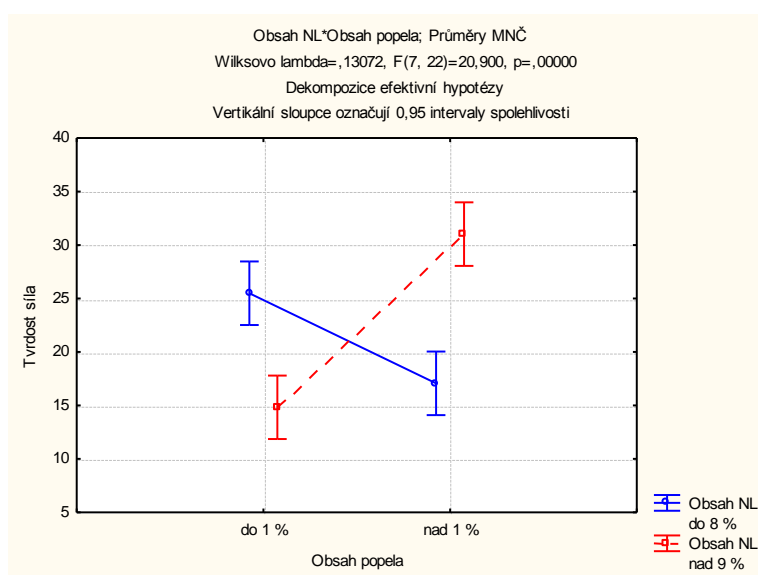
Při obsahu tuku do 2 % a obsahu bílkovin nad 9 % byla u extrudátu naměřena nejnižší průměrná hodnota tvrdosti (14). U obsahu tuku nad 2 % a obsahu bílkovin do 8 % byla u extrudátu naměřena průměrná hodnota tvrdosti (17). Průkazně vyšší hodnotu tvrdosti měl extrudát ze suroviny s obsahem tuku do 2 % a do 8 % obsahu bílkovin (25). Průkazně nejvyšší hodnota tvrdosti byla u extrudátu ze suroviny s obsahem tuku nad 2 % a nad 9 % bílkovin (31), (obr. 41).



Obr. 41. Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku na tvrdost extrudátu.

10.1.36 Vliv obsahu popela a tuku na tvrdost extrudátu

Při obsahu bílkovin nad 9 % a obsahu popela do 1 % byla u extrudátu naměřena nejnižší průměrná hodnota tvrdosti (14). U obsahu bílkovin do 8 % a obsahu popela nad 1 % byla u extrudátu naměřena průměrná hodnota tvrdosti (17). Průkazně vyšší hodnotu tvrdosti měl extrudát ze suroviny s obsahem bílkovin do 8 % a obsahem popela do 1 % (25). Průkazně nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u suroviny s obsahem bílkovin nad 9 % a obsahem popela nad 1 % (31), (obr. 42).



Obr. 42. Vliv obsahu popela tuku na tvrdost extrudát.

10.2 Vyhodnocení digitální analýzy fotografií řezů extrudátů

Analýza struktury extrudátů (tab. 2) byla provedena modifikovaným postupem podle Matousek et al. (2011), Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 100–300 μm , měl strukturu s velkým počtem malých pórů (póry/stěny 184 %) expandoval do velkého objemu (plocha zrn/póry 154 %) a nevyrovnaného tvaru (obr. 43). Extrudát ze suché suroviny této granulace expandoval do stejné struktury (póry/stěny 195 %) s nejnižší objemovou hmotností (plocha zrn/póry 151 %) a nevyrovnaným tvarem (obr. 44).

Struktura extrudátu vyrobeného z nakropené suroviny o granulaci 300–500 μm byla tvořena většími póry (póry/stěny 266 %). Expandoval méně (plocha zrn/póry 138 %), ale ve vyrovnanějším tvaru (obr. 45). Při extruzi suché suroviny této granulace, měl extrudát strukturu tvořenou většími póry (póry/stěny 256 %). Expandoval méně (plocha zrn/póry 139 %) v nevyrovnaném tvaru (obr. 46).

Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 300–1350 μm byl tvořen strukturou s největšími póry (póry/stěny 363 %) a přes hodnotu (plocha zrn/póry 139 %), expandoval do velkého objemu (obr. 47). Suchá varianta suroviny této granulace expandovala do struktury malých i větších pórů (póry/stěny 167 %), nevyrovnaného tvaru a malého objemu i při hodnotě (plocha zrn/póry 160 %), (obr. 48).

Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 800–1350 μm měl vyrovnanou strukturu velkých pórů (póry/stěny 306 %). Také u této suroviny expandoval extrudát do velkého objemu a vyrovnaného tvaru, při hodnotě (plocha zrn/póry 133 %). (obr. 49). U suché suroviny došlo ke snížení expanze a vzniku nerovnoměrné struktury pórů (póry/stěny 185 %). Extrudát měl nevyrovnaný tvar při hodnotě (plocha zrn/póry 154 %), (obr. 50). Fotografie řezů extrudátů (Obr. 43–50) viz. příloha P I.

Tab. 2. Výsledky digitální analýzy fotografií řezů extrudátů.

| Granulace Vlhkost | Počet zrn | Černá | Bílá | Žlutá | Celková plocha zrn | Průměr- ná plocha zrn | Póry/ Stěny | Plocha zrna/ Póry |
|-------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| 100-300 μm suchá | 6 | 109 196 | 677 996 | 212 808 | 322 004 | 53 667 | 195 % | 151 % |
| 100-300 μm nakropená | 6 | 104 628 | 702 674 | 192 698 | 297 326 | 49 554 | 184 % | 154 % |
| 300-500 μm suchá | 6 | 59 390 | 788 419 | 152 191 | 211 581 | 30 226 | 256 % | 139 % |
| 300-500 μm nakropená | 6 | 60 026 | 780 477 | 159 497 | 219 523 | 36 587 | 266 % | 138 % |
| 300-1350 μm suchá | 6 | 115 848 | 690 639 | 193 513 | 309 361 | 38 670 | 167 % | 160 % |
| 300-1350 μm nakropená | 7 | 68 443 | 682 976 | 248 581 | 317 024 | 52 837 | 363 % | 128 % |
| 800-1350 μm suchá | 7 | 74 995 | 786 435 | 138 570 | 213 565 | 30 509 | 185 % | 154 % |
| 800-1350 μm nakropená | 8 | 74 145 | 699 206 | 226 649 | 300 794 | 50 132 | 306 % | 133 % |

10.3 Diskuse

10.3.1 Granulační frakce 100–300 μm suchá a 100–300 μm nakropená

U granulačních frakcí 100–300 μm suchá a 100–300 μm nakropená, došlo vlivem malé granulace suroviny k menšímu vnitřnímu tření suroviny v extruderu. Nižší stříhové síly (SME) a z toho plynoucí nižší tepelná energie (STE) způsobily menší narušení škrobových granulí. Nižší stupeň mazovatění škrobu spolu s nižším obsahem bílkovin způsobil menší zesílení jednotlivých složek ve vzájemných vazbách a tím menší elasticitu těsta. Vyšší obsah tuku u vzorku ze suché frakce snížil viskozitu těsta a umožnil tak poměrně velkou expanzi extrudátu s nízkou objemovou hmotností výrobku. Uvádí Moscicki [6]. Nevyrovnanost tvaru způsobená menší elasticitou těsta je zřejmá právě u extrudátu ze suché suroviny (Obr. 44). U tohoto extrudátu byla naměřena nejvyšší soudržnost a velmi nízká hodnota tvrdosti, byl tedy ze všech extrudátů nejméně křupavý. U extrudátu vyrobeného z granulačně stejné, ale nakropené suroviny, cca o 3 % vyšším obsahu vody, byla naměřena o 77 % vyšší soudržnost a tvrdost se zvýšila o 115 %. Vlivem vyšší elasticity těsta expandoval oproti extrudátu ze suché suroviny méně a jeho objemová hmotnost byla o 33 % vyšší. Tvar extrudátu byl vyrovnanější (Obr. 43).

10.3.2 Granulační frakce 300–500 μm suchá a 300–500 μm nakropená

Větší granulace u této frakce způsobila větší vnitřní tření suroviny v extruderu. Větší stříhové síly (SME) a vyšší (STE) způsobily větší narušení škrobových granulí a vyšší stupeň mazovatění škrobu, který spolu s vyšším obsahem bílkovin zvýšil elasticitu těsta. U obou extrudátů ze surovin této granulace, byly naměřeny nejmenší rozdíly v hodnotách texturních parametrů, vzhledem k různému obsahu vody ve vstupních surovinách. Extrudát z nakropené vstupní suroviny (Obr. 45) měl proti extrudátu ze suché suroviny (Obr. 46) o 14 % nižší tvrdost. Soudržnost měl o 19 % vyšší a objemovou hmotnost vyšší o 21 %. Elasticita těsta způsobila, že extruder expandoval v kulovitěm tvaru

10.3.3 Granulační frakce 300–1350 μm suchá a 300–1350 μm nakropená

Tato surovina má ze všech použitých nejširší granulační spektrum. Vysoké vnitřní tření v extruderu (SME) a tím vysoká (STE) způsobily velké narušení škrobových granulí

a vysoký stupeň mazovatění škrobu a denaturaci bílkovin. Důsledkem je zesíťení jednotlivých chemických složek surovin ve vzájemných vazbách a to spolu s vyšším obsahem vody u nakropené suroviny způsobilo vysokou elasticitu těsta, jak také uvádí Hampl [38]. Elastické těsto udrží větší objem páry při expanzi a výsledný extrudát má větší objem při udržení kulového tvaru (Obr. 47).

Při zpracování suché suroviny této granulace bylo vlivem vyššího obsahu tuku sníženo vnitřní tření suroviny v extruderu. Nižší (SME) a (STE) způsobily menší narušení škrobových granulí nižší stupeň mazovatění škrobu a denaturaci bílkovin. Menší zesíťení jednotlivých chemických složek suroviny, způsobilo nižší elasticitu těsta. Vyšší obsah tuku v suché surovině způsobil zvýšení viskozity těsta a spolu s jeho nízkou elasticitou způsobil expanzi extruderu v nevyrovnaném tvaru (Obr. 48). Extrudát ze suché suroviny měl v porovnání s extrudátem z nakropené suroviny o 105 % vyšší tvrdost o 21 % vyšší soudržnost a o 8 % vyšší objemovou hmotnost.

10.3.4 Granulační frakce 800–1350 μm suchá a 800–1350 μm nakropená

Velká granulace suroviny způsobila velké vnitřní tření v materiálu velké stříhové síly při zpracování v extruderu s důsledkem vysoké (SMT) a rychlým růstem (STE). Potvrzuje Poex [12]. Došlo k rozsáhlému mazovatění škrobu a denaturaci bílkovin. Vysoká elasticita těsta podpořená vyšším obsahem bílkovin, způsobila u extrudátu z nakropené suroviny velkou expanzi v kulovém tvaru (Obr. 49).

Extrudát vyrobený ze suché suroviny této granulace měl o 113 % vyšší tvrdost, soudržnost o 78 % nižší a objemovou hmotnost vyšší o 30%. Z uvedených hodnot parametrů extrudátu je zřejmé, že vysoký obsah tuku omezil vnitřní tření suroviny v extruderu a tím snížil (SME) a (STE). Menší narušení škrobových granulí, nižší stupeň mazovatění škrobu a denaturace bílkovin spolu s vysokým obsahem tuku výrazně omezilo vznik vazeb jednotlivých složek suroviny do zesíťené struktury. Tím byla výrazně snížena elasticita těsta. Nižší obsah vody v suché surovině a nízká elasticita těsta způsobily malou expanzi extrudátu. Extrudát z této suroviny měl nejnížší soudržnost, nejvyšší tvrdost a nejvyšší objemovou hmotnost ze všech vyrobených vzorků (Obr. 50).

11 ZÁVĚR

Byl hodnocen vliv obsahu vody, bílkovin, tuku a popela v různých granulacích kukuřičné mouky a krupice na vybrané vlastnosti extrudovaných výrobků. Byly zvoleny čtyři granulační frakce, které byly vyrobeny na běžné mlýnské technologii. Mletí kukuřice se provedlo na válcových stolicích s rýhovanými válci. Rozměrové třídění na rovinných vysévačích a čističkách krupic.

Pro hodnocení extrudátu byly vybrány ukazatele, které nejlépe vystihují jejich vlastnosti. Z textury byla hodnocena soudržnost a tvrdost, jako technologická vlastnost byla hodnocena objemová hmotnost.

Bylo zjištěno průkazné zvýšení objemové hmotnosti extrudátu při vyšším obsahu vody a větší granulaci suroviny. Obsah popela do 1 % a bílkovin do 8 % objemovou hmotnost snižují, naopak obsah popela nad 1 % a bílkovin nad 9 % objemovou hmotnost zvyšují. Prokázalo se, že vyšší obsah vody, bílkovin, tuku a popela v surovinách o granulacích 100–300 μm ; 300–500 μm objemovou hmotnost extrudátu snižuje, naopak u granulací 300–1350 μm ; 800–1350 μm objemovou hmotnost extrudátu zvyšuje. Vliv obsahu vody, bílkovin, tuku, popela a granulace surovin na soudržnost extrudátu nebyl prokázán.

Bylo prokázáno, že vyšší obsah vody, tuku a popela v surovinách o granulacích 100–300 μm ; 300–500 μm tvrdost extrudátu snižuje, naopak u granulací 300–1350 μm ; 800–1350 μm tvrdost extrudátu zvyšuje. Obsah bílkovin do 8 % u suchých surovin tvrdost extrudátu snižuje, u nakropených surovin s obsahem bílkovin nad 9 % tvrdost extrudátu zvyšuje. Podobně obsah bílkovin do 8 % a tuku do 2 % v surovině tvrdost extrudátu snižuje, u surovin s obsahem bílkovin nad 9 % a tuku nad 2 % se tvrdost extrudátu zvyšuje. Stejný je také vliv obsahu popela do 1 % a bílkovin do 8 % v surovině, který tvrdost extrudátu snižuje a obsah popela nad 1 % a bílkovin nad 9 % v surovině při kterém se tvrdost extrudátu zvyšuje.

Obsahem vody v těstě byla dána rychlost přenosu tepla v extruderu. Teplo se významně podílelo na mazovatění škrobu a denaturaci bílkovin, jehož rozsah ovlivňuje elasticitu těsta. Z výsledků hodnocení jednotlivých parametrů je zřejmé, že význam obsahu vody ve vstupních surovinách pro extruzi rostl s jejich granulací. U surovin s velkou granulací a nízkou vstupní vlhkostí neměl přídavek vody přímo do extruderu výrazný vliv na zlepšení kvality extrudátu. Pomalý prostup vody částicemi kukuřičné krupice a krátká

doba zpracování v extruderu, vyžadovaly úpravu obsahu vody v surovině ještě před extruderem. Vyšší obsah bílkovin zlepšoval elasticitu těsta, umožňoval větší expanzi, a ovlivňoval vyrovnanost tvaru. Tuk do 2% snižoval viskozitu těsta a tím zvyšoval expanzi a objemovou hmotnost extrudátu.

Z výsledků práce vyplývá, že při hodnocení kvality vstupních surovin pro extruzi je nutné posuzovat kromě jejich nutriční hodnoty, také kvalitu z pohledu požadovaných vlastností konečného výrobku. Pro dosažení nízké objemové hmotnosti výrobků bez nároků na jejich tvar byla vhodná surovina s obsahem tuku nad 2 % a pod 2 % obsahu bílkovin. Dosažení požadovaného tvaru výrobku bylo podmíněno vyšším obsahem vody a obsahem bílkovin nad 9 % v surovině. Tvrdost výrobku významně ovlivnil obsah vody a tuku nad 2 % a obsah bílkovin nad 9 % v surovině. Granulací suroviny a obsahem vody bylo možné u surovin s vyšším obsahem tuku a bílkovin ovlivňovat objemovou hmotnost, která je důležitým parametrem u výrobků s přesně definovaným tvarem jako například extrudované chlebové plátky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SHURTLEFF, W. *History of Soybeans and Soyfoods in Mexico and Central America (1877-2009)*. Lafayette: Soyinfo Center, 2009, ISBN 9781928914211.
- [2] ZANINI, D, V. Oretta. *Encyclopedia of pasta*. Berkeley: University of California Press, 2009, 374 s. ISBN 05-202-5522-4.
- [3] PRUGAR, J. *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2008, 327 s. ISBN 978-808-6576-282.
- [4] KOPÁČOVÁ, O. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. Praha: ÚZPI, 2007, 55 s. ISBN 978-80-7271-184-0.
- [5] KENT, N. A, EVERS. *Technology of cereals: an introduction for students of food science and agriculture*. 4th ed. New York: Pergamon, 1994, 334 s. ISBN 0080408346X.
- [6] MOSCICKI, L. *Extrusion-cooking techniques: applications, theory and sustainability*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2011, 220 s. ISBN35-2732888-2.
- [7] FRAME, N. *The Technology of extrusion cooking*. 1st ed. New York: Blackie Academic, 1994, 253 s. ISBN 07-514-0090-4.
- [8] CLARK, J, P. *Practical design, construction and operation of food facilities*. 1st ed. London: Academic, 2008. ISBN 978-012-3742-049.
- [9] GUY, R. *Extrusion cooking: technologies and applications*. Cambridge, Eng.: Woodhead, 2001, 206 s. ISBN 08-493-1207-8.
- [10] KULP, K. J, G, PONTE. *Handbook of cereal science and technology*. 2nd ed., rev. New York: Marcel Dekker, 2000, 790 s. ISBN 08-247-8294-1.
- [11] KENT, N. A, EVERS. *Technology of cereals: an introduction for students of food science and agriculture*. 4th ed. New York: Pergamon, 1994, s. 244-258. ISBN 0080408338.
- [12] *Řízení extruzního procesu*. Velké Meziříčí: POEX a. s., 2008, 210 s.
- [13] DELCOUR, J. A, R HOSENEY. R, HOSENEY. *Principles of cereal science and technology*. 3rd ed. St. Paul, Minn.: AACC International, 2010, 270 s. ISBN 978-189-1127-632.
- [14] RIAZ, M, N. *Extruders in food applications*. Lancaster: Technomic Pub. Co., 2000 223 s. ISBN 15-667-6779-2.

- [15] DJURIC, V, D. *Continuous granulation with a twin-screw Extruder*. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier, 2008. ISBN 978-386-7276-436.
- [16] *Extruze*. Uzvil: Bühler AG, 2011, 260 s.
- [17] MASKAN, M. A, ALTAN. *Advances in food extrusion technology*. Boca Raton: CRC Press, 2012, 396 s. ISBN 14-398-1520-8.
- [18] MUCHOVÁ, Z. *Technológia spracovania cereálií*. 2. vyd. Nitra: SPU, 2007. ISBN 978-80-8069-980-2.
- [19] FAST, R, B, Elwood. F, CALDWELL. *Breakfast cereals, and how they are made*. St. Paul, Minn: American Association of Cereal Chemists, 1990, 372 s. ISBN 09-132-5070-8.
- [20] GLINSKI, J. *Encyclopedia of agrophysics*. New York: Springer: 2011. ISBN 978-904-8135-844.
- [21] BERK, Z. *Food process engineering and technology*. 1st ed. Amsterdam: Academic, 2009. ISBN 978-012-3736-604.
- [22] Malěj, J. *Zpracování obilovin*. Vyd. 1 Praha: Mze, 1994, 38 s. ISBN 80-7105-073-3.
- [23] BOOTH, R. *Snack food*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, 401 s. ISBN 04-422-3745-6.
- [24] LUSAS, E, W. L, W, ROONEY. *Snack foods processing*. Lancaster: Pa.: Technomic Pub. Co, 2001, 639 s. ISBN 15-667-6932-9.
- [25] SARAVACOS, G, D. Z, B, MAROULIS. *Food process engineering operations*. Boca Raton: CRC Press, 2011, 566 s. ISBN 978-142-0083-538.
- [26] *Extrusion problems solved: food, pet food and feed*. Philadelphia, PA: Woodhead Pub., 2012. ISBN 978-184-5696-641.
- [27] PŘÍHODA, J. *Cereální chemie a technologie I*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2003, 202 s. ISBN 80-708-0530-7.
- [28] HRABĚ, J., ROP, O., HOZA I. *Technologie výroby potravin rostlinného původu*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005,2006, 178 s. ISBN 80-731-8372-2.
- [29] ROSENTHAL, A, J. *Food texture: measurement and perception*. Gaithersburg, Md.: Aspen Publishers, 1999, 311 s. ISBN 08-342-1238-2.

- [30] LAI, L, S. KOKINI, J, L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion. (A review). *Biotechnology Progress*. 1991, roč. 7, č. 3, s. 251-266. ISSN 8756-7938. DOI: 10.1021/bp00009a009. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1021/bp00009a009>.
- [31] BARSBY, T. DONALD, A. FRAZIER, P. *Starch: advances in structure and function*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 2001, 223 s. ISBN 08-540-4860-X.
- [32] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 1*. 2. upr. vyd. Tábor: OSSIS, 2002, 331 s. ISBN 80-866-5903-8.
- [33] MESHARAM, M, W., V, V, PATIL. S, S, WAJE., B, N, THORAT. Simultaneous Gelatinization and Drying of Maize Starch in a Single-Screw Extruder. 2009-01-02, roč. 27, č. 1, s. 113-122. ISSN 0737-3937. DOI: 10.1080/07373930802565988. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373930802565988>
- [34] HOZA, I. A kol. *Potravinářská biochemie I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005, 168 s. ISBN 978-80-7318-295-3.
- [35] BELLO, I., Elke, K, A. *Gluten-free cereal products and beverages*. 1st ed. Amsterdam: Academic, 2008. ISBN 978-012-3737-397.
- [36] BRIEN, J. *The Maillard reaction in foods and medicine*. Cambridge: Royal Soc. of Chemistry Information Services, 1998, ISBN 978-085-4047-338.
- [37] Kamp, J, W. *Dietary fibre: new frontiers for food and health*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2010, ISBN 978-908-6861-286.
- [38] HAMPL, J., PŘÍHODA, J. *Cereální chemie a technologie II*. Praha: SNTL, 1985.
- [39] COLLADO, S, L., M. CORKE. *Starch properties and functionalities*. New York: KALETUNC, G and BRESLAUER, 2003, s. 473-500.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|------------------------|---|
| RTE | Ready to eat. |
| STHT | High temperature-short time. |
| SME | Specifická mechanická energie. |
| STE | Specifická tepelná energie. |
| p | Tlak [MPa – Mega pascal] |
| m_w | Obsah vody vstupní suroviny v kg. |
| m_{wa} | Množství přidané voda v kg. |
| m_s | Hmotnost sušiny v kg. |
| c_s | Specifická tepelná kapacita suroviny $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| c_w | Specifická tepelná kapacita vody $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| Δt | Rozdíl teplot před a po kondicionování K. |
| ŠKROB [%] | Obsah škrobu v sušině suroviny |
| AMYLOSA [%] | Obsah amylosy v sušině suroviny |
| NL [%] | Obsah dusíkatých látek v sušině suroviny |
| VLHKOST [%] | Obsah vody v surovině |
| TUK [%] | Obsah tuku v sušině suroviny |
| POPEL [%] | Obsah popela v sušině suroviny |
| 1180 [μm] | Rozměr ok síta |
| 853 [μm] | Rozměr ok síta |
| 600 [μm] | Rozměr ok síta |
| 446 [μm] | Rozměr ok síta |
| 366 [μm] | Rozměr ok síta |
| 257 [μm] | Rozměr ok síta |
| 119 [μm] | Rozměr ok síta |

Propad sítem [%] Procentuální podíl kontrolního vzorku suroviny pod posledním sítem
PET Polyethyltereftalát

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1 Pohyb materiálu v extruderu [15].</i> | 19 |
| <i>Obr. 2 Distribuční element Disperzní element</i> | 20 |
| <i>Obr. 3 Extruzní proces přímo expandovaných cereálií [16].</i> | 21 |
| <i>Obr. 4 Schéma koextruzní matrice [23].</i> | 23 |
| <i>Obr. 5 Extruzní proces nepřímo expandovaných cereálií [16].</i> | 24 |
| <i>Obr. 6. Stavový diagram pšeničného škrobu [16].</i> | 26 |
| <i>Obr. 7 Vliv granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 35 |
| <i>Obr. 8 Vliv obsahu vody v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 36 |
| <i>Obr. 9 Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 36 |
| <i>Obr. 10 Vliv obsahu tuku v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 37 |
| <i>Obr. 11 Vliv obsahu popela v surovinách na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 37 |
| <i>Obr. 12 Vliv granulace surovin na soudržnost extrudátu</i> | 38 |
| <i>Obr. 13 Vliv obsahu vody v surovinách na soudržnost extrudátu</i> | 38 |
| <i>Obr. 14 Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na soudržnost extrudátu</i> | 39 |
| <i>Obr. 15 Vliv obsahu tuku v surovinách na soudržnost extrudátu</i> | 39 |
| <i>Obr. 16 Vliv obsahu popela na soudržnost extrudátu</i> | 40 |
| <i>Obr. 17 Vliv granulace surovin na tvrdost extrudátu</i> | 40 |
| <i>Obr. 18 Vliv obsahu vody v surovinách na tvrdost extrudátu</i> | 41 |
| <i>Obr. 19 Vliv obsahu dusíkatých látek v surovinách na tvrdost extrudátu</i> | 41 |
| <i>Obr. 20 Vliv obsahu tuku v surovinách na tvrdost extrudátu</i> | 42 |
| <i>Obr. 21 Vliv obsahu popela v surovinách na tvrdost extrudátu</i> | 42 |
| <i>Obr. 22 Vliv obsahu vody a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 43 |
| <i>Obr. 23 Vliv obsahu tuku a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů</i> | 44 |
| <i>Obr. 24 Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů</i> | 44 |
| <i>Obr. 25 Vliv obsahu popela a granulace surovin na objemovou hmotnost extrudátů</i> | 45 |
| <i>Obr. 26 Vliv obsahu dusíkatých látek a vody v surovině na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 46 |
| <i>Obr. 27 Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku v surovině na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 47 |

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 28. Vliv obsahu popela a dusíkatých látek v surovině na objemovou hmotnost extrudátu</i> | 48 |
| <i>Obr. 29. Vliv obsahu vody a granulace surovin na soudržnost extrudátu</i> | 48 |
| <i>Obr. 30. Vliv obsahu tuku a granulace surovin</i> | 49 |
| <i>Obr. 31. Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na soudržnost extrudátu</i> | 50 |
| <i>Obr. 32. Vliv obsahu popela a granulace surovin na soudržnost extrudátu</i> | 51 |
| <i>Obr. 33. Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na soudržnost extrudátů</i> | 51 |
| <i>Obr. 34. Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku na soudržnost extrudátů</i> | 52 |
| <i>Obr. 35. Vliv obsahu popela a dusíkatých látek na soudržnost extrudátů</i> | 53 |
| <i>Obr. 36. Vliv obsahu vody a granulace surovin na tvrdost extrudátů</i> | 54 |
| <i>Obr. 37. Vliv obsahu tuku a granulace surovin na tvrdost extrudátu</i> | 55 |
| <i>Obr. 38. Vliv obsahu dusíkatých látek a granulace surovin na tvrdost extrudátu</i> | 55 |
| <i>Obr. 39. Vliv obsahu popela a granulace surovin na tvrdost extrudátu</i> | 56 |
| <i>Obr. 40. Vliv obsahu dusíkatých látek a vody na tvrdost extrudátu</i> | 57 |
| <i>Obr. 41. Vliv obsahu dusíkatých látek a tuku na tvrdost extrudátu</i> | 57 |
| <i>Obr. 42. Vliv obsahu popela tuku na tvrdost extrudát</i> | 58 |
| <i>Obr. 43. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 100–300 μm</i> | 73 |
| <i>Obr. 44. Extrudát vyrobený ze suché suroviny o granulaci 100–300 μm</i> | 73 |
| <i>Obr. 45. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 300–500 μm</i> | 74 |
| <i>Obr. 46. Extrudát vyrobený ze suché suroviny o granulaci 300–500 μm</i> | 74 |
| <i>Obr. 47. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 300–1350 μm</i> | 75 |
| <i>Obr. 48. Extrudát vyrobený ze suché suroviny o granulaci 800–1350 μm</i> | 75 |
| <i>Obr. 49. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 800–1350 μm</i> | 76 |
| <i>Obr. 50. Extrudát vyrobený ze suché suroviny o granulaci 800–1350 μm</i> | 76 |

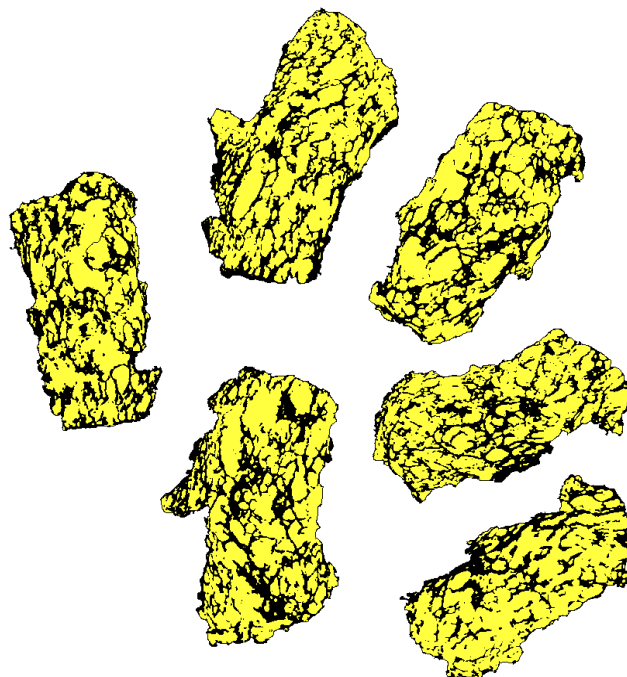
SEZNAM TABULEK

| | |
|--|-----------|
| <i>Tab. 1 Granulace a chemické složení kukuřičných frakcí</i> | <i>31</i> |
| <i>Tab. 2 Výsledky digitální analýzy fotografií řezů extrudátů</i> | <i>59</i> |

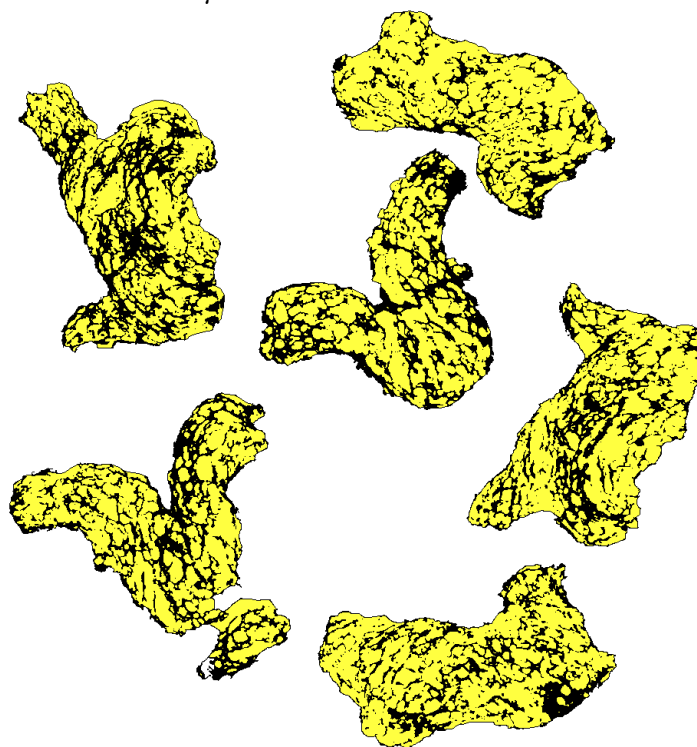
SEZNAM PŘÍLOH

P I Fotografie řezů extrudátů

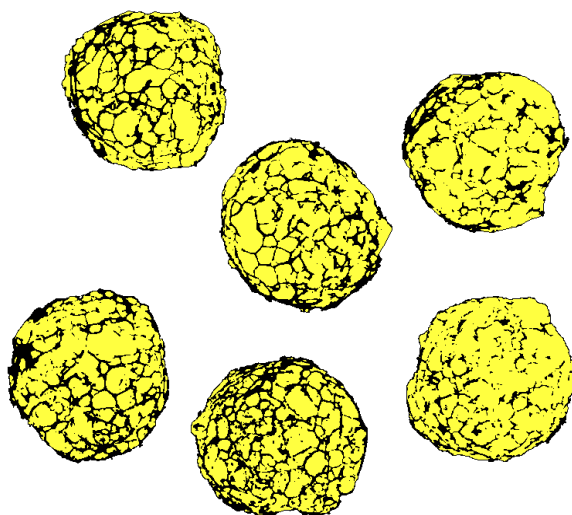
PŘÍLOHA P I: FOTOGRAFIE ŘEZŮ EXTRUDÁTŮ



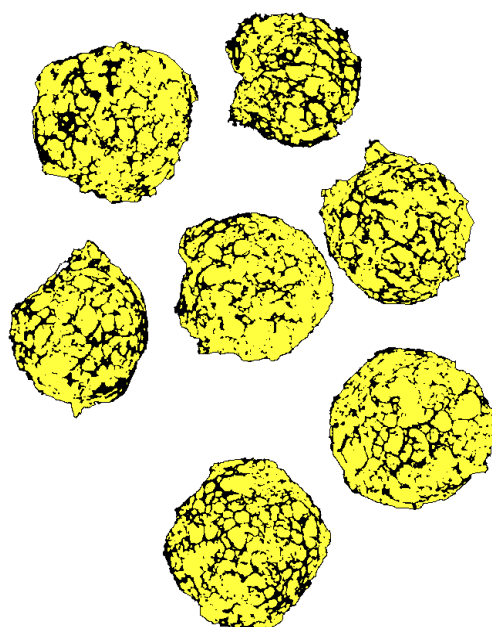
Obr. 43. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 100–300 μm



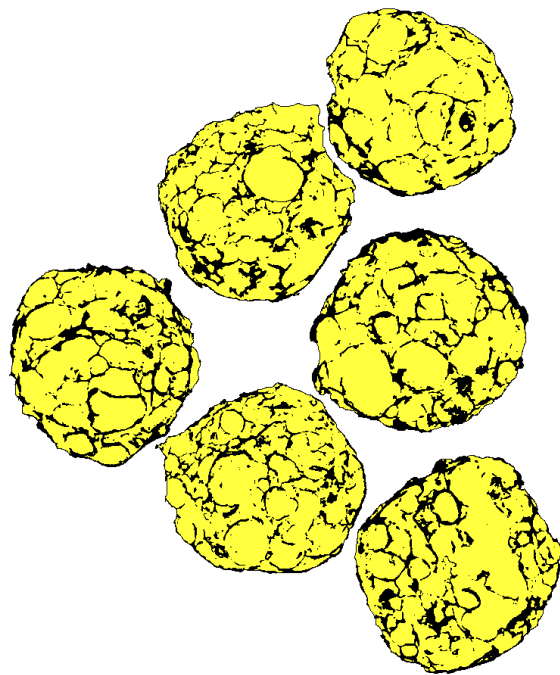
Obr. 44. Extrudát vyrobený ze suché suroviny o granulaci 100–300 μm



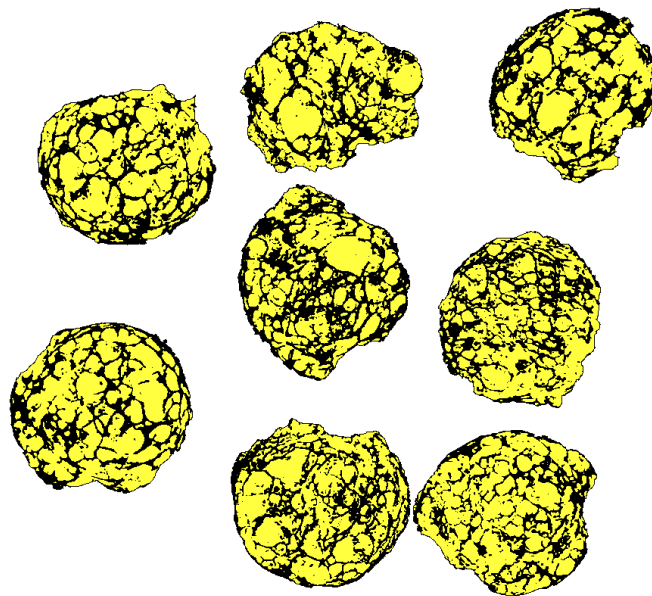
Obr. 45. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny o granulaci 300–500 μm



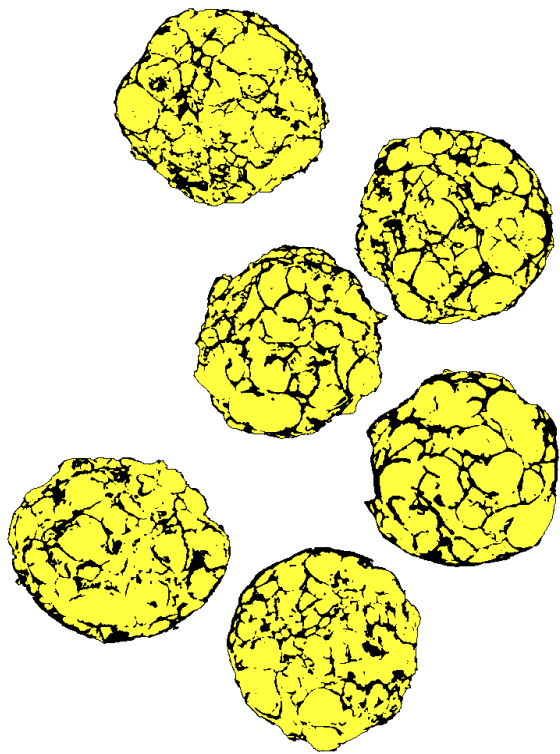
Obr. 46. Extrudát vyrobený ze suché suroviny o granulaci 300–500 μm



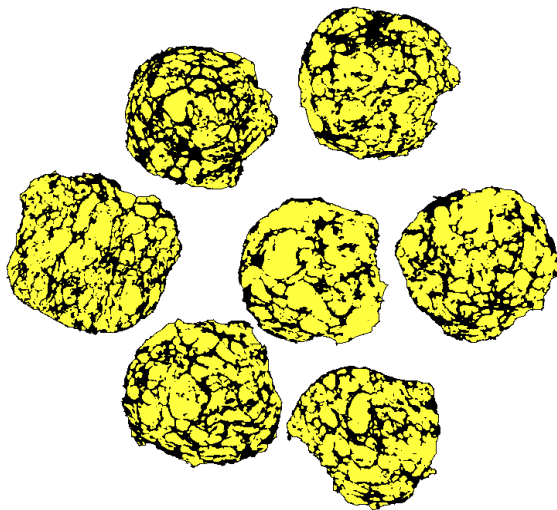
*Obr. 47. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny
o granulaci 300–1350 μm*



*Obr. 48. Extrudát vyrobený ze suché suroviny
o granulaci 800–1350 μm*



*Obr. 49. Extrudát vyrobený z nakropené suroviny
o granulaci 800–1350 μm*



*Obr. 50. Extrudát vyrobený ze suché suroviny
o granulaci 800–1350 μm*