

Charakterizace granulometrie sypkých potravin

Bc. Michaela Bartončíková

Diplomová práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela Bartončíková**
Osobní číslo: **T21801**
Studijní program: **N0721A210004 Technologie potravin**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Charakterizace granulometrie sypkých potravin**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši na zadané téma charakterizace fyzikálně-chemických vlastností partikulárních systémů v potravinářském průmyslu.
2. Definujte způsoby popisu granulometrie suchých práškových potravin.
3. Popište způsoby měření granulometrie práškových potravin a jejich vyhodnocení.
4. Provedte experimentální měření granulometrie vybraných vzorků suchých práškových potravin. Provedte numerické modelování naměřených distribučních křivek.
5. Provedte zpracování a vyhodnocení experimentálních výsledků, zhodnotte chyby měření, reprodukovatelnost měření a porovnejte jednotlivé vzorky vzhledem k jejich statistické odlišnosti metodou ANOVA.
6. Citujte veškerou použitou literaturu. Dodržujte předepsaný styl a formát pro DP.

Rozsah diplomové práce: 70
Rozsah příloh: 20
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

- [1] HIEMENZ, Paul C. a Raj RAJAGOPALAN. *Principles of colloid and surface chemistry*. 3rd ed., rev. and expanded. New York: Marcel Dekker, 1997. ISBN 978-0824793975.
[2] SCHULZE, Dietmar. *Powders and bulk solids: behavior, characterization, storage and flow*. New York: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-73767-4.
[3] FEDA, Jaroslav. *Mechanics of particulate materials: the principles*. New York: Elsevier Scientific Pub. Co., 1982. ISBN 0-444-99713-x.
[4] FIGURA, Ludger O. a Arthur A. TEIXEIRA. *Food physics: physical properties—measurement and applications*. New York: Springer, c2007. ISBN 978-3-540-34191-8.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

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, považuji 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

Cílem této práce byla charakterizace granulometrie sypkých potravin konkrétně kakaového prášku, sušeného mléka a sušených rostlinných nápojů. V teoretické části byla zpracována rešerše, která se zabývala charakteristikou velikosti a tvaru částic, analytických metod a sypkých potravin. Praktická část se poté zabývala sítovou analýzou příslušných vzorků, modelováním distribučních křivek, křivek rozsevu a propadu. Dále byly vzorky podrobeny analýze laserovou difrakcí a v závěru došlo na porovnání výše zmíněných metod a posouzení jejich vhodnosti pro tyto materiály.

Klíčová slova: granulometrie, laserová difrakce, velikost částic, kakaový prášek, distribuční funkce

ABSTRACT

The aim of this work was to characterize the granulometry of powdered foods, specifically cocoa powder, milk powder and dried plant drinks. In the theoretical part a search was made about the characteristics of the size and shape of the particles, analytical methods and powdered food. The practical part then dealt with sieve analysis of relevant samples, modeling of distribution curves, sowing and sag curves. Furthermore, the samples were subjected to laser diffraction analysis and in the end, the above-mentioned methods were compared and their suitability for these materials was assessed.

Keywords: granulometry, laser diffraction, particle size, cocoa powder, distribution function

Ráda bych především poděkovala panu prof. Ing. Lubomíru Lapčíkovi, Ph.D za jeho trpělivost, cenné rady a čas, který mi při zpracování této práce věnoval. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Tomáši Valentovi, Ph.D za jeho pomoc při měření dat pro praktickou část této práce a za všechnen jeho čas. A v neposlední řadě bych poděkovala mé rodině, která mi umožnila nerušeně se věnovat zpracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 CHARAKTERISTIKA VELIKOSTI A TVARU ČÁSTIC	11
1.1 POTRAVINÁŘSKÉ PRÁŠKY	11
1.2 KOHEZNÍ SÍLY V PRÁŠCÍCH.....	15
1.2.1 Kapalinové můstky.....	16
1.2.2 Pevné můstky	17
1.2.3 Van der Waalsovi síly	17
1.2.4 Mechanické blokování	18
1.3 KAKAOVÝ PRÁŠEK	18
1.4 SUŠENÁ MLÉKA	19
1.5 SUŠENÉ ROSTLINNÉ NÁPOJE	21
2 METODY URČOVÁNÍ GRANULOMETRIE	23
2.1 METODA PROSÉVÁNÍ – SÍTOVÁ ANALÝZA.....	23
2.1.1 Suchý způsob síťové analýzy	25
2.1.2 Mokrý způsob síťové analýzy.....	27
2.2 SEDIMENTAČNÍ METODY	27
2.2.1 Stokesův zákon.....	28
2.3 LASEROVÁ DIFRAKCE.....	28
2.3.1 Princip měření a vyhodnocení dat.....	29
2.4 DYNAMICKÝ ROZPTYL SVĚTLA – DLS	30
3 VLIV VELIKOSTI ČÁSTIC NA VLASTNOSTI POTRAVIN.....	32
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	34
5 CHARAKTERISTIKA VZORKŮ	35
5.1 KAKAOVÉ PRÁŠKY	35
5.2 SUŠENÁ MLÉKA	36
5.3 SUŠENÉ ROSTLINNÉ NÁPOJE	37
6 MĚŘÍCÍ METODY.....	39
6.1 FRITSCH VIBRATORY SIEVE SHAKER ANALYSETTE 3.....	39
6.1.1 Princip měření	40
6.2 ANALYSETTE 28 IMAGESIZER	41
6.2.1 Princip měření	41
7 VÝSLEDKY A DISKUZE.....	44
7.1 SÍTOVÁ ANALÝZA.....	44

7.2 LASEROVÁ DIFRAKCE	65
ZÁVĚR	72
SEZNAM OBRÁZKŮ	79
SEZNAM TABULEK.....	80
SEZNAM GRAFŮ	81
SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

Velikost částic je jednou z klíčových vlastností pro výrobu v mnoha odvětvích, kde dochází k výrobě materiálů, které mají mít přesně definované vlastnosti a mají se chovat přesně definovaným způsobem. Mezi částice jako takové se často řadí také kapky a bublinky, tudíž je charakterizace velikosti částic v zájmu širokého spektra výrobců od zpracovatelů mléčných emulzí tzn. přes potravinářství až po zpracovatele kovových prášků v metalurgii. Ve všech těchto odvětvích je klíčovým krokem zvolení vhodné analýzy. Charakterizace částic jako taková nám udává přidanou hodnotu u průmyslových procesů, které mají za cíl dodávat na trh především kvalitní výrobky, které jsou efektivně zpracovány. Je tedy jasné, že rozdílná průmyslová odvětví měří velikost částic v podstatě ze stejných důvodů – požadují kontrolu nad reakcemi, ke kterým dochází při používání jejich výrobků. Dva nejvýznamnější parametry, které u částic stanovujeme jsou jejich velikost a tvar. Konkrétně u vzorků kakaových prášků, sušených mlék a instantních nápojů je důležitá stabilita jejich suspenzí. Stabilita suspenze závisí především na rovnováze mezi gravitační silou, která působí na částice proti vztlaku suspendující kapaliny což závisí na velikosti a hustotě částic. Případná nestabilita by mohla vést k proměnlivé kvalitě nebo k usazování u potravinářských výrobků a v návaznosti na to, může docházet k ohrožení vnímání daného výrobku zákazníkem. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA VELIKOSTI A TVARU ČÁSTIC

Velikost částic je považována za rozměrovou vlastnost dané částice a je charakterizována určitou jednotkou délky. U ideálního např. práškového materiálu bychom se měli setkat pouze s částicemi o stejné velikosti. Naopak u reálného materiálu můžeme najít částice o různém velikostním rozpětí tzv. velikostním intervalu. Na základě těchto údajů se v praxi používá k popisu velikosti určitých částic pojem distribuce velikosti částic. [2]

Údaj početní distribuce velikosti částic (DVČ) tedy vyjadřuje procentuální rozložení určitých částic vzhledem k jejich velikosti – toto je dále charakterizováno objemovou distribucí. Pokud v průběhu analýzy dochází k nárůstu rozdílu ve distribuci velikosti částic jednotlivých komponent vzorku, dochází ke zvýšení rizika výskytu protichůdného procesu homogenizace – může se objevit segregace práškové směsi.

Druhým a neméně důležitým faktorem spojeným s popisem částic je jejich tvar. Tvar částic spolu s jejich velikostí jsou neoddělitelné parametry, které poté mají vliv na chování pevných látek a jejich následné zpracování. [3] [4]

Ke správnému stanovení obou výše zmíněných parametrů je potřeba reprezentativní vzorek daného materiálu, který poté musí být řádně připraven a zanalyzován s dostatečnou reprodukovatelností měření v závislosti na použité analytické metodě. [5] [6]

Velikost a tvar částic poté ovlivňují jak tokové vlastnosti určitých prášků, tak procesy mletí, homogenizace, granulace nebo tabletování. [3]

1.1 Potravinářské prášky

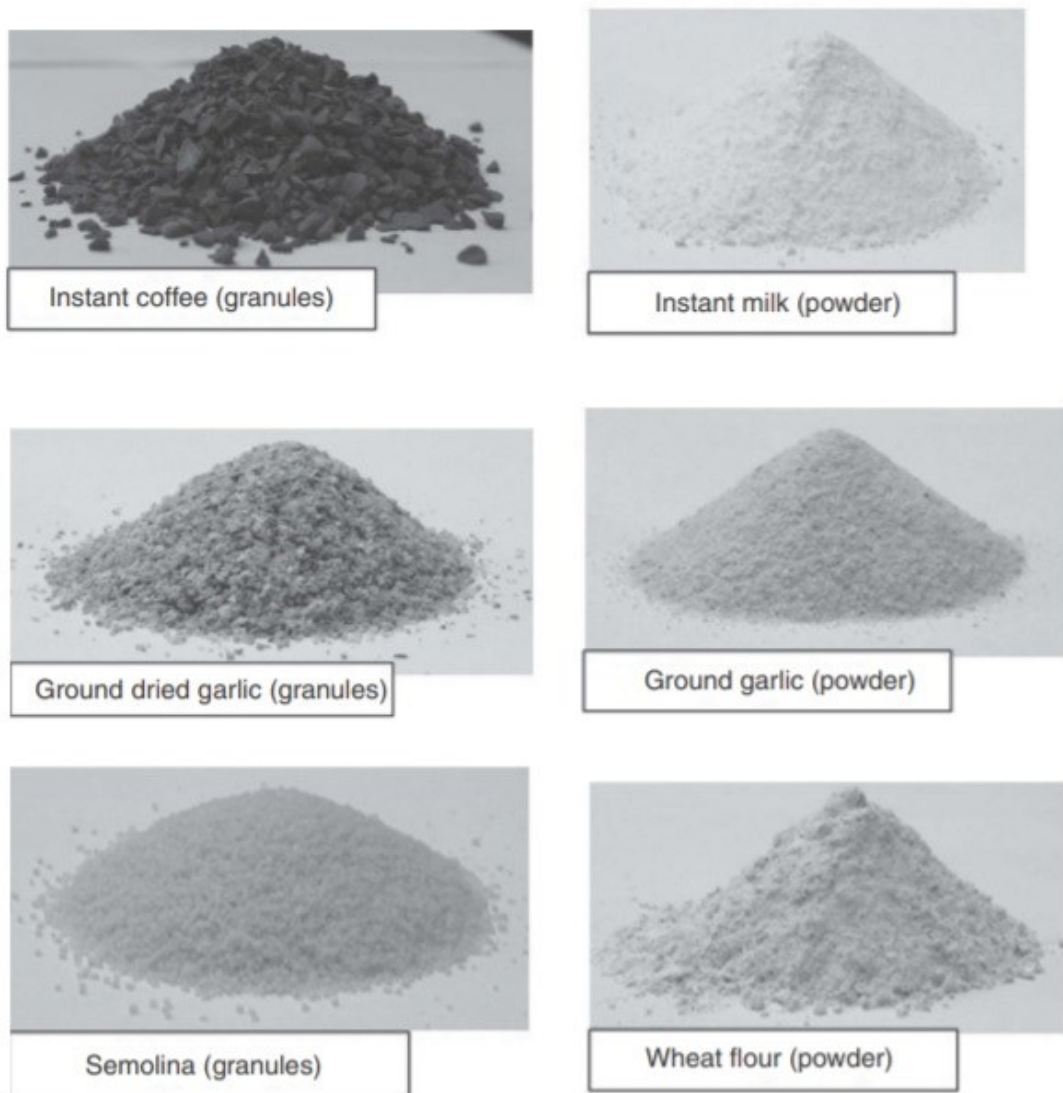
Prášky využívané v potravinářství jsou částicové pevné materiály, které obsahují částice ve velikosti od nanometrů až po milimetry. Jeden gram prášku s průměrnou velikostí částice 20 mikronů bude obsahovat přibližně 10⁸ částic. Produkty využívané v potravinářství, které jsou v pevném nebo v kapalném stavu bývají převáděny na práškovou formu hlavně z důvodu snadnějšího použití, zpracování a udržení kvality. Práškový průmysl v posledním letech zažívá velký rozmach po celém světě, a to v souladu s růstem průmyslových odvětví, která upínají svou pozornost především na nové produkty a práškové premixy.

Pro označování pevných částic je zažitých mnoho termínů např. prášek, granulace, mouka nebo prach, které se liší velikostí nebo zdrojem jejich původu, avšak všechny tyto materiály lze zařadit do kategorie prášků. Produkty, které mají částice ve tvaru granulí mohou mít rozměr

v řádu milimetrů, oproti u velmi jemných práškových produktů se můžeme setkat s velikostí částic menší než 100 μm .

Terminology	Particle size (μm)	Examples	Characteristics
Powder	Fine 50–200	Milk, coffee, colorant etc.	More cohesive, high bulk density
Granules	Coarse 200–4000	Instant milk, instant coffee, semolina, garlic	Free flowing, low bulk density
Flour	100–5000	Cereal flour, nut flours, soy flour	Irregular particle shape, larger size, low fluidity
Dust	5–100	Any powder	Finer than the desired size, normally fly during processing and handling

Tabulka č.1 Příklady terminologie používané v rámci kategorií potravinářských prášků



Obrázek č.1 Příklady potravinářských prášků

Částice prášků obecně vznikají ze sypkých, kapalných nebo pevných materiálů pomocí mletí, drcení, sušení, pulverizace nebo např. krystalizace. Další možné návazné procesy využívané při zmenšování velikosti částic jako je broušení nebo mletí, také přispívají k výrobě práškových materiálů.

U přeměny kapalných látek na formu prášku se využívají dva hlavní způsoby, a to sušení a krystalizace. U pevných látek potom mletí, drcení nebo pulverizace.

Velikost částic, jejich distribuce, tvar a povrchová charakteristika jsou vlastnosti vysoce variabilní a závisí především na podmínkách při jejich zpracování.

V závislosti na velikosti částic mají práškové materiály velký povrch na danou jednotku objemu a často se u nich vyskytuje vysoký stupeň absorpce vlhkosti – jsou tedy hygroskopické, čímž může být narušena stabilita prášků. [7]

1.1.1 Krystalická a amorfní mikrostruktura prášků

U potravinových prášků se můžeme setkat s amorfni, krystalickou nebo smíšenou (semikrystalickou) strukturou, a to na molekulární úrovni. Jakékoliv z těchto struktur můžeme dosáhnout správně zvoleným výrobním postupem.

Prášky, které se nachází v krystalickém stavu mají přímo definované uspořádání molekul v dlouhém řádu, zatímco u amorfni struktury se setkáváme s neuspořádaným stavem molekul.

Na struktuře potravinářských prášků je poté závislá jejich stabilita a funkčnost. Pokud tedy chceme změnit nějakou z požadovaných vlastností, lze této změny dosáhnout právě pomocí změny struktury částic daného materiálu. [8]

1.1.2 Krystalická struktura

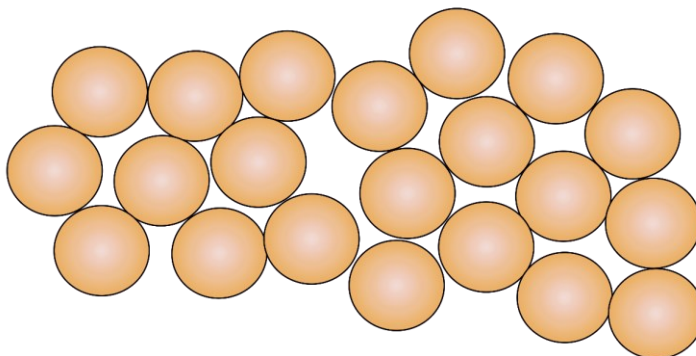
Jako prášky, které se nachází v krystalických podobách můžeme označit soli, cukry nebo organické kyseliny. Jsou to materiály nehygroskopické (nevážou vodu), poměrně stabilní a snadno tekoucí. U krystalické struktury je charakteristické slabé molekulové uspořádání tzn. pouze u molekul, které se nachází na rozhraní vzduch-krystaly, může docházet k interakci s vnějším prostředím např. voda potažmo materiálem. [9] [10]

1.1.3 Amorfni struktura

S amorfni strukturou se setkáváme u mnoha pro potravinářství významných prášků jako jsou např. vysoko nebo nízkomolekulární sacharidy a bílkoviny. Z konkrétních příkladů můžeme uvést např. mléčné prášky, prášky vyrobené z ovocných šťáv, medové prášky nebo hydrolyzovaný proteinový prášek.

Molekuly jsou u amorfni struktury neuspořádané, otevřenější a více porézní. V závislosti na těchto vlastnostech mají dané molekuly více místa pro externí interakci, která jim poté umožňuje absorbovat těkavé látky nebo vodu. [9]

Amorfní látka



Obrázek č.2 Amorfní látka [11]

1.1.4 Smíšená struktura

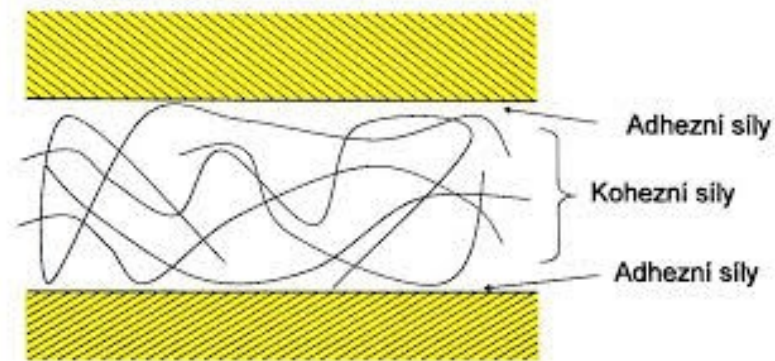
V případě smíšených prášků se potkávají amorfní a krystalické struktury v jednotlivých částicích. Při výrobě částic se smíšenou strukturou dochází nejprve ke krystalizaci dané látky a následnému sušení spolu s matečným louhem. Během tohoto sušení dojde ke vzniku dvou struktur finálního vysušeného produktu, vznikají krystaly a matečný loup je během sušení převeden do amorfního stavu. [12]

1.2 Kohezní síly v prášcích

Většina vlastností, které u prášků pozorujeme je závislých na interakcích mezi částicemi (v prášcích mohou existovat různé mezi částicové kohezní síly).

V případě potravinových prášků může jedna síla nebo jejich kombinace ovlivňovat soudržnost finálního produktu.

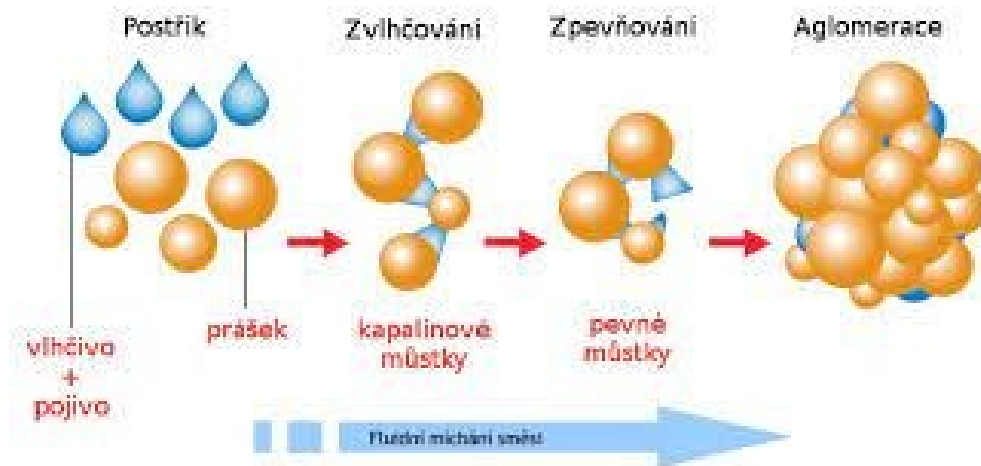
Energie, která vzniká při interakci částic je závislá na typu materiálu, obsahu vody, velikosti a tvaru částic a též na vnějším elektrickém poli. [13]



Obrázek č. 3 Kohezní a adhezní síly [14]






1.2.1 Kapalinové můstky

Tyto můstky vznikají díky uvolňování pohyblivých kapalných složek z daných částic. Kapalina v tomto případě vystupuje na povrch částice, a to v důsledku tání, smáčení nebo případně rozpouštění.



Obrázek č.4 Kapalinové můstky [15]

Kapilární síly a povrchové napětí uvolněné kapaliny řídí poté tok mezi sousedícími částicemi a můstkem. Při sušení nebo případně krystalizaci kapaliny se při vytvoření můstku mění kapalně pohyblivý můstek na můstek pevný a tím se stává vazba pevnější, avšak toto spojení mezi částicemi je stále poměrně křehké. [13]

Inter-particulate forces	Illustration	Properties
Liquid bridges		Surface dissolution or glass transition and melting and cohesion, weak cohesion can break the bonds during handling and processing
Solid bridges		Glass transition, melting and fusion, strong force, stable
van der Waals forces		Interaction of particle sizes of less than a micron
Electrostatic forces		Particle surface charge interactions
Mechanical interlocking		Irregular surfaces interlock each other, weak forces but physically locked from separation

Tabulka č.2 Možnosti mezi částicové interakce v prášcích [13]

1.2.2 Pevné můstky

Při tavení, tání, skelném přechodu nebo krystalizaci dochází k tvorbě právě pevných můstků. Dále je tento jev možný při instantizaci a spékání prášku. Síla této vazby je poměrně velká, jelikož má kontaktní plocha velkou rozlohu. Někdy je toto pouto tak silné, že je vzniklou hrbku velmi těžké rozmělnit (stává se z ní velmi tvrdá hmota). [16]

1.2.3 Van der Waalsovi síly

Hlavní úlohou Van der Waalsových sil je soudržnost velmi jemných částic, které se nachází ve velmi blízkých vzdálenostech. [17]

K tomuto jevu dochází v důsledku elektrostatické přitažlivosti jader jedné molekuly k jádrům molekuly druhé. Tyto síly jsou však poměrně slabé, lze je tedy velmi snadno rozbít. Obecně lze tedy říct, že materiály s vyšší molekulovou hmotností, které obsahují větší množství elektronů mají tendenci stávat se soudržnějšími. [16]

1.2.4 Mechanické blokování

Pokud mají částice nerovnoměrný tvar a velikost, může docházet k jejich zamotávání. Tento jev můžeme pozorovat u spojování vláknitých, objemných nebo šupinatých částic navzájem. Toto zapletení poté ještě umocňuje případné zhutňování částic. [18]

1.3 Kakaový prášek

Kakaový prášek se vyrábí pomocí lisování kakaové hmoty. V kakaové hmotě je obsaženo až 55 % kakaového másla, které je při výrobě kakaového prášku nežádoucí a je třeba jej oddělit. Celý technologický proces probíhá přesně definovaným způsobem, který vede k získání kakaových pokrutin se stanoveným obsahem tuku. V průmyslové výrobě se setkáváme s dvěma typy vyráběných kakaových prášků. Prvním z nich je kakaový prášek odtučněný, který obsahuje 10–12 % tuku. Druhým zástupcem je kakaový prášek méně odtučněný s obsahem tuku kolem 20-22 %. Lisování kakaové hmoty se provádí pomocí hydraulických lisů, které jsou schopny vyvíjet tlak 25-35 MPa. Abychom dosáhli již zmíněného oddělení kakaového másla od pokrutin, zpracovává se kakaová hmota za vyšších teplot 70-90 °C tzn. zahřívá se. Čím vyšší teplota je v tomto technologickém kroku použita, tím dochází k účinnějšímu lisování. Pokud by byly použity teploty vyšší než 90 °C, lisování by bylo pořád poměrně účinné, ale zároveň by docházelo ke zhoršení organoleptických vlastností získávaného kakaového prášku.



Obrázek č.5 Kakaové máslo [19]

Po vylisování jsou kakaové pokrutiny slisovány do kakaového koláče, který je v dalším kroku rozemlet na kakaový prášek. Může se stát, že získaný prášek obsahuje stál stopy

kakaového másla, které je nutno před finálním balením odstranit. Toho se docílí pomocí cyklónů.



Obrázek č. 6 Kakaový prášek [20]

Kakaový prášek jako finální produkt bývá často obohacován různými přísadami, aby bylo možné vytvořit produkt s požadovanými vlastnostmi. Jako příklad lze uvést směsi pro výrobu horké čokolády. Ve složení těchto směsí obvykle najdeme právě kakaový prášek, cukr, případná ochucovadla a emulgátor lecitin, který tvoří vazby mezi nemísitelnými složkami, kterými jsou tuk, kakao a voda v průběhu přípravy samotného nápoje. Čistý kakaový prášek je potom využíván hlavně pro výrobu čokoládových cukrovinek nebo jako přísada do pečení. [21] [22]

1.4 Sušená mléka

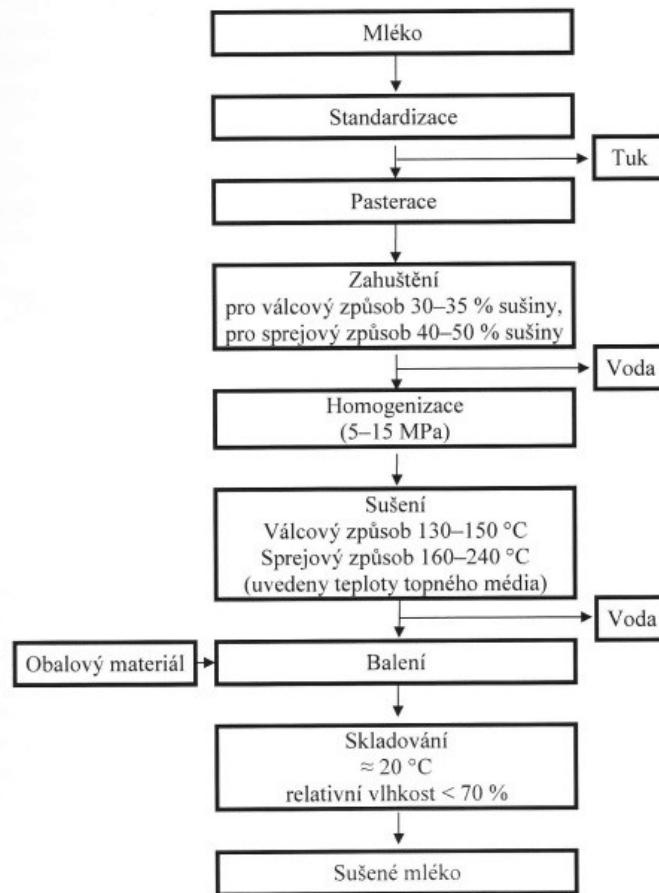
Sušení se považuje za jednu z nejlepších možností, pokud chceme prodloužit údržnost samotného mléka, popřípadě vybraných mléčných výrobků. V principu jde o odstranění podílu vody za současného snížení objemu i hmotnosti produktu. Produkt, který je takto upravený je vhodnější pro transport nebo skladování. Podmínky samotného sušícího procesu musí být nastaveny tak, aby byl produkt dobře obnovitelný zejména ve vodném prostředí a bylo jej zároveň možné využít v rozličných odvětvích potravinářského průmyslu.



Obrázek č. 7 Sušené mléko [23]

Jako výchozí surovina se pro sušená mléka využívají zahuštěné mléčné hmoty. V průběhu sušení dochází k odpařování vody z povrchu částic sušeného materiálu, a to na základě rozdílných parciálních tlaků vodní páry nad povrchem sušených částic a tlaků v okolním prostředí.

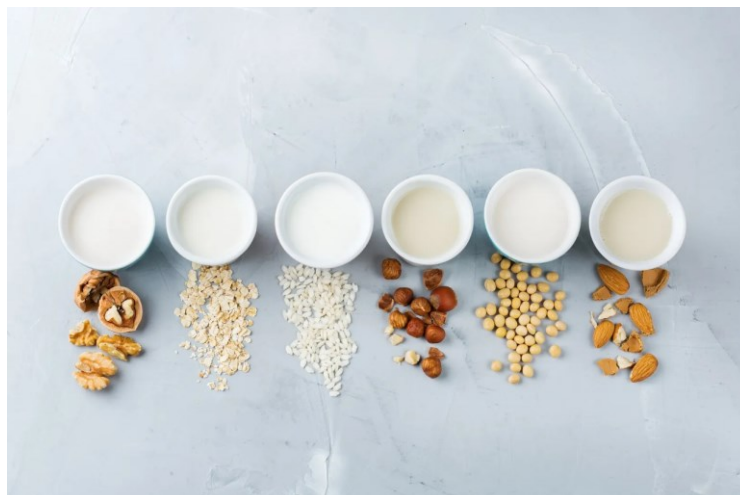
V první fázi dochází k poměrně rychlému odpaření volné vody, která se nachází mezi pevnými částicemi mléka. Zároveň se snižováním obsahu vody dochází k denaturaci sérových bílkovin, která je ovlivněná intenzitou tepelného ošetření tzn. čím vyšší teplota ošetření, tím dochází větší denaturaci. Pokud bychom srovnali způsoby sušení mléka, k intenzivnějším změnám dochází při válcovém sušení. Denaturace jako taková má poté vliv na rozpustnost sušených produktů a také na jejich organoleptické vlastnosti. tzn. čím vyšší stupeň denaturace, tím více se zhoršuje rozpustnost. [24]



Obrázek č. 8 Schéma technologického postupu sušení mléka [24]

1.5 Sušené rostlinné nápoje

V tržní síti se můžeme kromě rostlinných nápojů v tekuté formě setkat také s rostlinnými nápoji v podobě sušeného prášku. Instantní nápoje jsou vyhledávané zejména kvůli jejich poměrně snadné přípravě a velkému množství využití mezi které můžeme zařadit např. přípravu nápojů, kakaa, obilních snídaňových kaší, pudinků, těst nebo pekařských výrobků. Hlavním požadavkem u těchto instantních nápojů je jejich stabilita tzn. neměli by se srážet a též by měly být snadno rozpustitelné ve vodném prostředí. Ve složení těchto nápojů nenajdeme lepek ani laktózu, jsou tedy vhodnou alternativou pro konzumenty s laktózovou intolerancí, popřípadě s celiakií. Na první pohled se mohou tyto výrobky zdát jako vhodná alternativa za živočišné mléko, avšak jejich vhodnost je velmi diskutabilní. [25]



Obrázek č. 9 Rostlinné nápoje [26]

2 METODY URČOVÁNÍ GRANULOMETRIE

Při využití granulometrie je stanovován podíl jednotlivých skupin částic o určité velikosti, který je vztažen na celkové množství námi vyšetřovaného vzorku. [27]

Při analyzování částic dochází v laboratoři k dislokaci materiálu na jednotlivé částice. V průběhu tohoto procesu by nemělo docházet ke vzniku částic, které se před danou analýzou ve vzorku nevyskytovaly. Proces by tedy neměl být velmi invazivní a destruktivní, na druhou stranu by měl být dostatečně účinný, aby bylo možné rozdělit agregáty na jednotlivá zrna. [28]

Velikost a tvar částic lze analyzovat pomocí několika metod např. metodou prosévání (sítovou analýzou), laserovou difrakcí, dynamickým rozptylem světla nebo pomocí disperze.

2.1 Metoda prosévání – sítová analýza

Princip této metody je, že je využíváno sít o různé velikosti ok, které jsou stohovány sebe podle stoupající hrubosti. Číslo, kterým jsou jednotlivá síta označena udává velikost čtvercových otvorů v milimetrech. V jedné sadě by se velikost ok jednotlivých sít měla měnit násobkem $\sqrt{2}$ a volí se tak, aby zahrnovala celou škálu rozmezí velikosti částic v daném vzorku. Ve většině případů jsou vyrobeny z bronzu, mosazi, nerezivějící oceli nebo hedvábí či v některých případech z nylonu. [29]

Podle velikosti ok jednotlivých sít, je lze dělit na:

Tkaná – velikost ok 125 mm – 38 μ m

Elektroformovaná – velikost ok 500–5 μ m (kulaté nebo hranaté oka)

Perforovaná – velikost ok 125 mm – 1 mm

Vzorek, který je předmětem analýzy je vsypán na horní síto s největšími oky a takto připravená třepačka je podrobena určité době třepání. Je možno se setkat s třepáním mechanickým, elektromagnetickým, svislou oscilací, s krouživým pohybem ve vodorovném směru nebo také s kombinací třesení a krouživého pohybu. Frakce, které jsou zachyceny na jednotlivých sítích se poté váží. Výsledkem této analýzy jsou poté podíly jednotlivých frakcí vzniklých z práškového vzorku, které odpovídají velikostním rozmezím mezi dvěma

sousedícími síty. Podíly jsou uváděny v hmotnostních procentech. Díky tomuto procesu se částice vzorku dělí podle svého středního velikostního rozměru např. výška nebo šířka.

Zkouška se ukončuje v momentě, kdy se hmotnost na každém ze sít nezmění více než o 5 % nebo 0,1g. Jednotlivé frakce se poté váží. Po ukončení je možné určit tzv. jemnost prášku, která je vyjádřena jako podíl prášku v procentech (m/m) procházející konkrétním sítem, které jsme při zkoušce využili. [29]

Dělení prášků na základě jejich průchodu přes síta:

Hrubý prášek – 95 % prášku prochází sítem číslo 1400 (velikost otvorů 1,400 mm) a nejvýše 40 % prochází sítem s číslem 355.

Středně jemný prášek – 95 % prášku prochází sítem číslo 355 a nejvýše 40 % prochází sítem s číslem 180.

Jemný prášek – 95 % prášku prochází sítem číslo 180 a nejvýše 40 % prochází sítem s číslem 125.

Velmi jemný prášek - 95 % prášku prochází sítem číslo 125 a nejvýše 40 % prochází sítem s číslem 90. [29]

U této metody je třeba větší množství vzorku, obvykle kolem 25 g s velikostí částic větší než 75 μm . Pokud by ve vzorku byly přítomny částice s menším průměrem, hrozilo by, že díky své nízké hmotnosti nebudou působit silou dostatečnou k tomu, aby došlo k překonání povrchových sil adheze a koheze a tím pádem by mohlo hrozit vzájemné slepování částic, popřípadě jejich nalepení na síto tzn. že částice u kterých se předpokládalo, že sítem projdou, zůstávají zadrženy na sítu. V případě použití vzorku s menší velikostí částic, je třeba provést validaci dané metody, popř. její přizpůsobení konkrétnímu vzorku. [29] [30]



Obrázek č. 10 Sítová analýza – třepačka [31]



Obrázek č. 11 Laboratorní síto [32]

2.1.1 Suchý způsob sítové analýzy

Jedná se o nejčastěji využívanou metodu, která je zároveň jedna z nejjednodušších. Je využívána u vzorků s částicemi většími než 50 μm .

2.1.1.1 Sítování v proudu vzduchu – Air-jet

U této metody dosahuje velikost částic zhruba 25 μm . Doba trvání se pohybuje kolem 10 minut a v jejím průběhu je využit průmyslový vysavač generující proud, pomocí kterého jsou částice rozprášeny na analytické síto. Částice, které jsou menší, než velikost ok na tomto sítu jsou odsáty pomocí použitého vysavače nebo do cyklonového odlučovače, pokud chceme zachovat kompletní vzorek. Zároveň využívaný proud vzduchu průběžně pročistí uje použitá síta. [33]



Obrázek č. 12 Air-jet [34]

2.1.1.2 *Ruční sítování*

Doba trvání této metody je shodná se sítováním v proudu vzduchu, tedy 10 minut. Při tomto způsobu analýzy se do sít klepe dřevěnou tyčinkou zhruba 150 úderů za minuty. Po každém 25. úderu je síta nutno pootočit o 1/8 v jednom směru. V případě využití strojového sítování je na sebe stohováno 5-6 sít s postupně klesající velikostí ok, zde se doba trvání prodlužuje na 20 minut. [33]



Obrázek č. 13 Ruční síto [35]

2.1.2 Mokrý způsob sítové analýzy

Tato metoda je používána při analýze vzorků, které se nachází v suspenzi nebo v případě prášků, u kterých se může v suchém stavu objevovat agregace a je často spojena s proplachováním, sáním nebo vibracemi, které usnadní tok příslušné kapaliny přes elektroformovaná síta. Konec sítování nastává v případě, že je kapalina např. voda nebo voda s dispergačním činidlem, naprosto čirá. Využívá se u částic menších než 50 μm , které jsou velmi elektricky nabité. Hlavní nevýhodou této metody je dlouhá doba trvání, která se pohybuje v řádu 1-2 hodin a v neposlední řadě také to, že díky přítomným kapalinám je nutné frakce před vážením vysušit. [33]

2.2 Sedimentační metody

Sedimentace se řadí mezi jednu z nejtradičnějších metod využívaných pro analýzu velikosti částic. Vhodná je pro částice o velikosti menší než 60 μm . K jejím hlavním výhodám se řadí velmi jasný princip měření, jednoduchá proveditelnost, která nevyžaduje složité zařízení a taktéž poskytuje fyzikálně jednoznačnou interpretaci výsledků. Nevýhodami jsou především časová náročnost, úzký obsah měření a to, že výsledky jsou závislé na správné přípravě vzorků, která může být zdrojem potenciálních chyb.

Při této metodě se využívá především Andreasenův přístroj složený z válce a pipety s trojcestným kohoutem. Velikost částic je určována nepřímo z jejich pádové rychlosti, a to buď v kapalném nebo plynném prostředí a v gravitačním nebo odstředivém poli.

Suspenze se připravuje dle normovaného postupu. V prvním kroku je nutno provést dispergaci vzorků za pomoci třepání, míchání nebo využití ultrazvuku. Takto vytvořená suspenze se ponechá v klidu a v daných časových intervalech se sleduje koncentrace suspenze v určitém místě tzn. v určité výšce sloupce sedimentace. Samotné určení koncentrace se poté provádí pomocí odběru malého množství (10 ml) suspenze pomocí pipety. Udává poté obsah přítomných frakcí všech velikostí, které byly v okamžiku odběru přítomny ve vznosu. Pokud chceme dosáhnout co nejoptimálnějšího měření pomocí této metody je ideální, aby časové intervaly mezi odběry jednotlivých vzorků rostly geometrickou řadou. [36]

2.2.1 Stokesův zákon

Tento vztah udává rychlost pádu dané částice z výšky h v prostředí o určité ρ_l a η . Pro výpočet se uvažuje, že částice mají kulovitý tvar o průměru d a hustotě ρ_s .

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta}{g \cdot (\rho_s - \rho_l)} \cdot v} \quad v = \frac{h}{t} \quad t = \frac{h}{d^2} \cdot k \quad k = 1,08 \cdot 10^{-6}$$

η – viskozita (čistého kapalného média bez částic)

ρ_s – hustota pevných částic

ρ_l – hustota čistého kapalného média

g – gravitační zrychlení

h – sedimentační dráha

t – sedimentační doba

Obrázek č. 14 Stokesův zákon [37]

2.3 Laserová difrakce

Tato metoda se řadí mezi jednu z nejvyužívanějších metod k určování velikosti částic. I když jsou principy rozptylu světla a difrakce objasněny více než 100 let, přístroje, které by dokázaly měřit velikost částic pomocí difrakce byly vyvinuty až po vynálezu laseru. Každodenní využívání poté čekalo až do vývoje vhodných počítačů v 70. a 80. letech 20. století. Přístroje, které jsou v dnešní době dostupné jsou rychlé a flexibilní, málo náročné na přípravu konkrétních vzorků a výsledky se obvykle vyskytují s velkou mírou reprodukovatelnosti. Z toho důvodu dochází k pomalému vytlačování ostatních metod určování velikosti částic, zejména tedy sedimentační metody.

Přístroj, který se využívá pro měření pomocí laserové difrakce má vždy světelný zdroj, tedy laser, průtokovou optickou celu (většinou se jedná o kyvetu specifického tvaru se dvěma okny, která je spojená se zásobárnou vzorku nebo popřípadě s kádinkou) a též je nutná přítomnost fotodetektoru např. polokruhového, čtvrtkruhového, klínového nebo segmentovaného, který poté transformuje optický signál (intenzita světla v závislosti na úhlu rozptylu) na elektrický signál, který dále putuje do počítače a slouží k vygenerování dat.

Tvar fotodetektoru je důležitý pro měření tvaru částic nebo k měření tzv. orientačních efektů např. u krátkých vláken. Vzdálenost mezi jednotlivými komponenty přístroje i poloha a rozlišení fotodetektoru určuje rozsah měření, které lze v daném případě docílit. (novější přístroje umožňují měření i v nano-oblasti).

Fourierova optika, která se skládá z Fourierovy čočky, která je mezi optickou celou a fotodetektorem nebo tzv. inverzní Fourierova optika (využívá konvergentní laserový paprsek a čočku má mezi laserem a optickou celou) zabezpečuje, aby světlo rozptýlené do určitého úhlu dopadlo na konkrétní segmentu fotodetektoru, bez ohledu na polohu částice, která se nachází v osvětleném objemu.

Zásobárna roztoku je během měření neustále promíchávána a ultrazvukována. Velkou výhodou této metody je právě využití ultrazvuku během měření. U jiných metod je ultrazvuk využíván především k přípravě vzorku před měřením. V průběhu měření je vzorek kontinuálně pumpován skrz optickou celou (rychlost musí být určena tak, aby nedocházelo k usazování částic).



Obrázek č. 15 Laserový analyzátor [38]

2.3.1 Princip měření a vyhodnocení dat

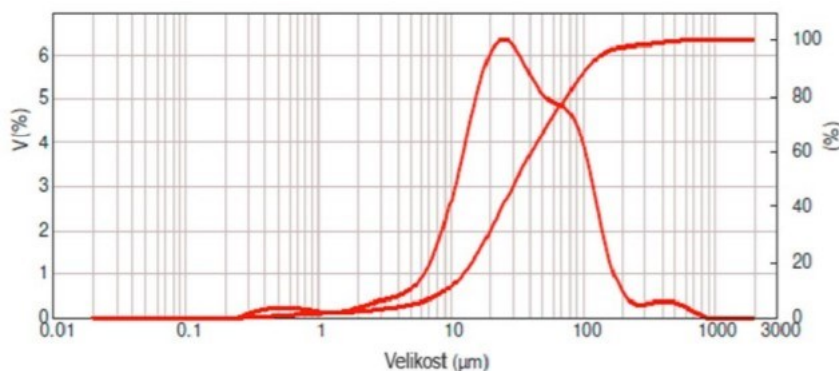
Jedná se o ensamblovou metodu, je tedy možno osvítit současně velký počet částic a výsledný difrakční obraz snímaný detektorem interpretuje superpozici interferenčních obrazů jednotlivých částic. Koncentrace částic v dané suspenzi by měla být dostatečně nízká, aby se částice nepřekrývaly a zabránili jsme mnohonásobnému rozptylu. Ale současně by koncentrace měla být dostatečně vysoká, abychom docílili vhodného poměru signálu ku šumu.

Metoda určená k vyhodnocování dat, které jsou získány pomocí laserové difrakce je založena na Fraunhoferově aproximaci.

Pro vyhodnocení dat při analýze polydisperzního prášku je využívána integrální rovnice

$$I \propto I_0 \int_0^x \left(\frac{J_1(\alpha \cdot \sin \theta)}{\alpha \cdot \sin \theta} \right)^2 f(D) dD$$

Výsledky laserové difrakce jsou objemově vážená rozdělení velikosti, které je možné převést na povrchově, délkově nebo počtově vážená rozdělení, ale pouze za určitých předpokladů o tvaru částic. [39]



Graf č. 1 Grafické vyjádření laserové difrakce – distribuce velikosti částic [2]

2.4 Dynamický rozptyl světla – DLS

Fotonová korelační spektroskopie neboli dynamický rozptyl světla je metoda vhodná při měření velikosti především submikronových částic s rozměry od několika nanometrů až do 1–4 µm. Principem této metody je měření fluktuace intenzity rozptýleného světla z laserového zdroje okolo její průměrné hodnoty. Fluktuace souvisí s tzv. interferenčním zeslabováním a zesilováním světla, které je rozptýleno částicích, které nejsou statické v disperzní fázi a které podléhají Brownovu pohybu.

V průběhu měření se pomocí přístroje určí nejprve tzv. translační difuzní koeficient částic, jehož hodnota je závislá na teplotě a viskozitě kapaliny, která obsahuje dispergované nanočástice. Důležitá je samozřejmě i velikost dispergovaných částic.

Pomocí difuzního koeficientu je poté stanovena velikost částic pomocí Stokes – Einsteinovy rovnice. Takto získaná veličina se nazývá hydrodynamický průměr částic, který odpovídá zhruba průměru koule, která by měla při tomto měření difuzní koeficient stejný jako analyzovaná částice. Metoda dynamického rozptylu světla poskytuje v první řadě váženou distribuci velikostí všech částic, které jsou přítomny v analyzovaném vzorku. V některých případech může dojít k zavádějícím výsledkům, a to hlavně v případě, kdy jsou ve vzorku přítomny agregáty nebo větší částice, jejich rozptyl v dané distribuci dominuje, a to i když je jejich množství poměrně malé.

Nezpochybnitelnou výhodou dynamického rozptylu světla je rychlý a jednoduchý průběh měření, jehož doba je v řádu několika sekund až 10 minut. Jedná se též o metodu absolutní tzn. není nutná kalibrace pomocí standardů o známé velikosti a distribuci, která vyžaduje jen velmi malé množství vzorku (mikrolitry) a v neposlední řadě velkou výhodou je dostupnost komerčního měřicího zařízení s automatizací, a to včetně analýzy dat. [40] [41]

3 VLIV VELIKOSTI ČÁSTIC NA VLASTNOSTI POTRAVIN

Velikost částic sypkých složek potravin má významný vliv na vlastnosti finálního výrobku.

Při výrobě čokolády se můžeme setkat s jevem, kdy velikost částic kakaového prášku a cukru použitého při výrobě, ovlivňuje krystalizaci tuku v konečném produktu. Při výrobě čokolády dochází k nejprve k přípravě suspenze pevných částic, cukru a kakaového prášku v přítomnosti tukové matrice. Pokud si uvědomíme vliv velikosti částic na fyzikální vlastnosti konečných námi požadovaných produktů, dostáváme možnost upravovat jejich výsledné vlastnosti a též zabránit případným nežádoucím jevům jako je výkvět tuku, změny chuti (její ztráty) nebo změny vzhledu.

Výše zmíněné pevné částice se v tukové matrici obvykle vyskytují ve velikostech větších než jeden mikrometr. Tato vlastnosti jim umožňuje poměrně dobře sedimentovat. K tomuto jevu dochází díky vyšší hustotě pevných částic oproti částicím v kontinuální fázi.

Hlavní úskalí vlivu pevných částic na vlastnosti výrobku spočívá v tom, že jednotlivé pevné částice představují „jádro“, kolem kterého se poté soustředí krystaly tuku. Vzorky, u kterých dochází k výskytu částic s menším poloměrem, obsahují více „jader“, které podporují nukleaci (nabalování krystalů tuku) a to při vyšších teplotách při srovnání se vzorky, které obsahují částice o větším poloměru.

Textura výrobků zahrnuje např. pevnost, která je jedním z hlavních parametrů při posuzování konzistence nebo roztíratelnosti cukrářských výrobků. Spotřebitelé jsou právě tvrdostí ovlivněni přímo při konzumaci a je tedy nutné konkrétně u této vlastnosti získání námi požadovaných texturních charakteristik. [42] [43] [44] [45]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle této diplomové práce lze charakterizovat těmito body:

- Definovat způsoby granulometrie u suchých práškových potravin
- Popsat způsoby měření granulometrie práškových potravin a jejich následné vyhodnocení
- Provedení experimentálního měření granulometrie u vybraných vzorků suchých práškových potravin a numerické modelování naměřených distribučních křivek
- Zpracování a vyhodnocení experimentálních výsledků, zhodnocení případných chyb měření, reprodukovatelnosti měření a porovnání jednotlivých vzorků vzhledem k jejich statistické odlišnosti metodou ANOVA

5 CHARAKTERISTIKA VZORKŮ

Pro tuto diplomovou práci byly vybrány vzorky kakaových prášků, sušených mlék a sušených rostlinných nápojů. Jedná se vzorky, které byly zakoupeny v tržní síti a jsou běžně dostupné. Celkově šlo o 11 výrobků a z toho se 4 řadily mezi kakaové prášky, 2 mezi sušená mléka a 5 mezi sušené rostlinné nápoje. Celkově šlo o výrobky vyrobené 6 různými výrobci. Fotografie obchodních balení všech použitých vzorků jsou obsaženy v přílohách PI – PXI.

5.1 Kakaové prášky

Vzorky kakaových prášků se lišily jak obsahem tuku a cukru, tak velikostí částic, která byla u některých výrobků zřetelná pouhým okem. Jednalo se o výrobky od 4 různých výrobců.

Marila – Kakao holandského typu

Složení: kakaový prášek se sníženým obsahem tuku (10-12 % hm.)

Obsah tuku: 11 g/100 g výrobku

Datum minimální trvanlivosti: 7.10.2023

Dr. Oetker – Holandské kakao klasické

Složení: kakaový prášek se sníženým obsahem tuku (obsah kakaového másla 10 %), regulátor kyselosti (uhličitan draselný)

Obsah tuku: 10 g/100 g výrobku

Datum minimální trvanlivosti: 23.11.2023

Kávoviny – Holandské kakao 20-22 % kakaového másla

Složení: kakaový prášek, regulátor kyselosti (uhličitan draselný)

Obsah tuku: 20,7 g/100 g výrobku

Datum minimální trvanlivosti: 14.8.2023

Manner Trink kakao – rozpustný čokoládový nápoj z 25 % nízkotučného kakaa

Složení: cukr, nízkotučné kakao 25 %

Obsah tuku: 1,9 g/100 g výrobku

Datum minimální trvanlivosti: 18.9.2023

5.2 Sušená mléka

Zakoupené vzorky sušených mlék se lišily obsahem tuku a pocházely od stejného výrobce.

Na pohled se částice obou výrobků jevíly stejně velké.

Bohe Milk – Sušené mléko polotučné 14 % tuku hm.

Obsah tuku: 14 g/100 g výrobku

Datum minimální trvanlivosti: 25.1.2023

Bohe Milk – Sušené mléko plnotučné 25 % tuku hm.

Obsah tuku: 26 g/100 g výrobku

Datum minimální trvanlivosti: 3.11.2023

5.3 Sušené rostlinné nápoje

Jednalo se o výrobky, které se lišily hlavně plodinou, ze které byly získány a také v neposlední řadě obsahem tuku a cukru. V prvních čtyřech případech šlo o jednodruhové rostlinné nápoje. Poslední vzorek byl směsí několika cereálií. Šlo o výrobky od dvou různých výrobců.

Nestlé Caro originál – rozpustný cereální nápoj

Složení: pražené cereálie 86 % (ječmen, slad z ječmene, žito), pražený kořen čekanky

Obsah tuku: 0,5 g/100 g výrobku

Obsah sacharidů: 82,6 g/100 g výrobku z toho cukry 3,2 g

Datum minimální trvanlivosti: 15.11.2023

TopNatur – Pohankový nápoj sušený natural

Složení: kokosový tuk, dextróza, sušený glukózový sirup, pohanková mouka (17 %), inulin, emulgátor: E472e (rostlinný původ), stabilizátor: fosforečnan draselný, protispěková látka: oxid křemičitý

Obsah tuku: 23 g/100 g výrobku

Obsah sacharidů: 59 g/100 g z toho cukry 29 g

Datum minimální trvanlivosti: 28.12.2023

TopNatur – Kokosový nápoj sušený natural

Složení: kokosový tuk (32 %), dextróza, sušený glukózový sirup, emulgátor: E 472e (rostlinný původ), stabilizátor: fosforečnan draselný, protispěková látka: oxid křemičitý, aroma

Obsah tuku: 32 g/100 g výrobku

Obsah sacharidů: 61 g/100 g z toho cukry 36 g

Datum minimální trvanlivosti: 15.12.2023

TopNatur – Sójový nápoj sušený extra protein

Složení: sójový proteinový izolát (34 %), dextróza, kokosový tuk, inulin, sušený glukózový sirup, ovesná mouka, premix vitamínů a minerálních látek, fruktóza, emulgátor: E 472e (rostlinný původ), stabilizátor: fosforečnan draselný, protispěková látka: oxid křemičitý

Obsah tuku: 9,8 g/100 g výrobku

Obsah sacharidů: 37 g/ 100 g z toho cukry 25 g

Datum minimální trvanlivosti: 1.1.2023

TopNatur – Rýžový nápoj sušený natural

Složení: kokosový tuk, rýžová mouka (23 %), glukózový sirup, dextróza, inulin, emulgátor: E 472e (rostlinný původ), stabilizátor: fosforečnan draselný, protispěková látka: oxid křemičitý

Obsah tuku: 24 g/100 g výrobku

Obsah sacharidů: 59 g/100 g z toho cukry 22 g

Datum minimální trvanlivosti: 7.10.2023

6 MĚŘÍCÍ METODY

6.1 Fritsch Vibratory sieve shaker Analysette 3

Jedná se o síťovou prosévačku s možností manuálního nastavení doby prosévání i amplitudy. Pro účely této diplomové práce bylo využito 9 sít s rozměry ok 0,028 mm, 0,045 mm, 0,125 mm, 0,16 mm, 0,22 mm, 0,32 mm, 0,45 mm, 0,56 mm a 0,71 mm.

Jednotlivé frakce byly poté váženy na analytických vahách KERN ABS.



Obrázek č. 16 a č. 17 Síťová třepačka Fritsch Vibratory sieve shaker Analysette 3



Obrázek č. 18 Analytické váhy KERN ABS [46]

6.1.1 Princip měření

Sítová analýza je využívána v mnoha průmyslových odvětvích. Mezi její hlavní výhody patří poměrně snadná manipulace, nízké investiční náklady, přesnost a reprodukovatelnost výsledků v poměrně krátkém čase a v neposlední řadě možnost separovat jednotlivé frakce velikostí částic.

Aby byly všechny výše zmíněné výhody zaručeny je nutné, aby síťovací stroje a jejich příslušenství splňovali požadavky k nim se vztahujících národních a nadnárodních norem. Tzn. že zkušební síta, samotné síťovací třepačky a všechny ostatní měřicí přístroje (např. váhy) musí být kalibrovány a podrobeny zkušebním měřením v rámci systému řízení kvality. Kromě všechno výše zmíněného je také nutné vždy provádět přípravu vzorku s velkou opatrností. Pouze při splnění všech těchto požadavků je možné dosáhnout výsledků, které nám poté umožní spolehlivou charakterizaci námi testovaného produktu.

Během samotného prosévání je vzorek vystaven pohybu buď ve vertikálním (vibrační prosévání) nebo horizontálním směru (horizontální prosévání). Pravděpodobnost, že analyzovaný vzorek projde sítím, je udávána poměrem velikosti částic k otvorům síta, orientací příslušné částice a počtem interakci mezi částicí a otvory síta. Samotný rozsah

měření je vymezen vlastnostmi konkrétního vzorku, mezi které můžeme zařadit např. jeho sklon k aglomeraci, hustotu nebo elektrostatický náboj. [47]

6.2 Analysette 28 ImageSizer

Dále byl využit třídíč částic značky Fritsch Analysette 28 ImageSizer využívaný pro laserovou difrakci. Jedná se o vhodnou alternativu síťové analýzy. Tento přístroj umožňuje měření jak suchých prášků a sypkých látek v rozsahu 20 μm až 20 mm, tak mokré měření suspenzí a emulzí v rozsahu 5 μm až 3 mm. Pro účely této diplomové práce bylo využito pouze měření suchých prášků.



Obrázek č. 19 Třídíč částic Fritsch Analysette 28 ImageSizer [48]

6.2.1 Princip měření

Přístroj využívaný k měření velikosti částic pomocí laserové difrakce má vždy světelný zdroj neboli laser, průtokovou celu (tzn. průtokovou kyvetu s určitým tvarem, která je spojena s reservoárem vzorku nebo např. kádinkou) a fotodetektor (např. čtvrtkruhový, polokruhový nebo klínový segmentovaný), který poté transformuje získaný optický signál na signál elektrický, který poté putuje do počítače, kde dojde k vygenerování příslušných dat. Tvar již výše zmíněného fotodetektoru je rozhodující při měření tvaru částic, které se provádí na základě konkrétní odchylky interferenčního obrazu od kruhové symetrie. Vzdálenost mezi laserem, optickou celou a fotodetektorem spolu s polohou a rozlišením příslušného fotodektoru určuje rozsah měření, kterého lze v konkrétním případě docílit (typicky od 0,1 μm do $> 1 \text{ mm}$).

Na začátku měření je vybraný vzorek umístěn do zásobníku – nálevky, ze které poté putuje do měřicí komory. Propadem průtokovou celou, která je umístěna mezi kamerou a LED světlem dochází k průběžnému zachycení snímků částic daného vzorku. Materiál je poté zachytáván ve sběrné nádobě a zůstává zcela nepoškozený během celého procesu měření.



Obrázek č. 20 Sběrná nádoba třídiče částic [48]

Díky bi – telecentrickým čočkám, kterými tento přístroj disponuje jsou zaručeny vždy přesné údaje o každé jednotlivé částici, nezávisle na tom, kde se daná částice v měřeném objemu vyskytuje. [49]



Obrázek č. 21 Bi- telecentrické čočky [50]

V případě laserové difrakce mluvíme o ensemblové metodě tzn. velký počet částic je osvícen současně a získaný difrakční obraz snímaný příslušným fotodetektorem zobrazuje superpozici interferenčních obrazů jednotlivých částic.

Při vyhodnocování dat získaných laserovou difrakcí mluvíme především o tzv. Fraunhoferově aproximaci. Při analyzování polydisperzního prášku spočívá vyhodnocení v dekonvoluci difrakčního obrazu podle integrální rovnice

$$I \propto I_0 \int_0^{\infty} \left(\frac{J_1(\alpha \sin \theta)}{\alpha \sin \theta} \right)^2 f(D) dD$$

kde funkce $f(D)$ je příslušné hledané rozdělení velikosti částic tzv. hustota pravděpodobnosti.

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

7.1 Síťová analýza

Nejprve byla provedena síťová analýza všech vzorků pomocí síťové prosévačky, a to konkrétně Fritsch Vibratory sieve shaker Analysette 3 s devíti síty o průměru ok od 0,71 mm po 0,028 mm. K měření bylo vždy použito 200 g vzorku s dobou třepání 15 minut s výjimkou vzorku Holandského kakaa od značky Kávoviny, kterého bylo použito pouze 100 g z důvodu nedostatečného množství. Měření každého vzorku bylo prováděno vždy třikrát při běžné laboratorní teplotě a vlhkosti. Výsledkem analýzy byla hmotnost jednotlivých frakcí, podle velikostí ok daných sít. Z hodnot získaných měření byly poté vypočteny hodnoty poloměru velikosti částic na jednotlivých sítích, diferenciální rozdělovací funkce, která je definována vztahem

$$F_w(r) = \frac{dm_r}{m \cdot dr}$$

Kde m_r – hmotnost skupiny částic o poloměru r

m – celková hmotnost všech částic (disperzního podílu)

$F_w(r) \cdot dr$ – podíl hmotnosti frakce částic s rozměrem r a $(r+dr)$ ku celkové hmotnosti částic v systému – hmotnostní zlomek příslušné frakce [51]

A také doplňková, která představuje podíl hmotnosti z celkové hmotnosti částic disperzního podílu, který tvoří frakce jejichž částice mají poloměr větší nebo stejný než určitá zvolená hodnota r_c . a integrální rozdělovací funkce, která udává, jaký podíl hmotnosti z celkové hmotnosti částic disperzního podílu tvoří frakce, jejichž částice mají poloměr menší nebo stejný než určitá zvolená hodnota r_c . [51]

$$I(r) = \int_0^{r_c} F(r) dr$$

$$Q(r) = \int_{r_c}^{\infty} F(r) dr$$

Po získání výše zmíněných hodnot byly poté vytvořeny grafy integrální funkce pro klasický poloměr a diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr.

Naměřené hodnoty vybraných vzorků č.1 holandské kakao zn. Marila, č. 5 kakao zn. Manner, č.6 sušeného plnotučného mléka zn. Bohemilk a vzorku č. 9 sušeného kokosového nápoje zn. TopNatur jsou spolu s grafy jsou uvedeny níže. Hodnoty vzorků č.2, č.3, č.4, č.7, č.8 a č.10 jsou uvedeny v přílohách P XII – P XVIII.

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	lwr
3,0286	0,71	0,355			0,9995	0,0006
3,7321	0,56	0,28	0,075	0,3673	0,9719	0,0281
1,5643	0,45	0,225	0,055	0,2134	0,9601	0,0400
34,8483	0,32	0,16	0,065	3,9533	0,7034	0,2967
65,2734	0,22	0,11	0,05	9,6478	0,2210	0,7790
27,5692	0,16	0,08	0,03	6,7894	0,0173	0,9826
1,8879	0,125	0,0625	0,0175	0,7975	0,0034	0,9966
0,4525	0,045	0,0225	0,04	0,0841	0,0000	1,0000
0,0027	0,028	0,001	0,0085	0,0023	0	1,0000
135,3305						

Tabulka č. 3 Průměrné naměřené hodnoty – holandské kakao zn. Marila

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	lwr
19,9029	0,71	0,355			1	0
19,06963	0,56	0,28	0,075	1,965579	0,852582	0,147418
16,42437	0,45	0,225	0,055	2,308539	0,725612	0,274388
18,1906	0,32	0,16	0,065	2,163556	0,584981	0,415019
15,7535	0,22	0,11	0,05	2,435785	0,463192	0,536808
19,88733	0,16	0,08	0,03	5,124282	0,309463	0,690537
18,2483	0,125	0,0625	0,0175	8,061036	0,168395	0,831605
19,82043	0,045	0,0225	0,04	3,830682	0,015168	0,984832
1,962067	0,028	0,001	0,0085	1,784428	0	1
129,1006						

Tabulka č. 4 Průměrné naměřené hodnoty – kakao zn. Manner

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	lwr
0,469933	0,71	0,355			1	0
0,910433	0,56	0,28	0,075	0,081251	0,993906	0,006094
2,4489	0,45	0,225	0,055	0,298136	0,977509	0,022491
66,75687	0,32	0,16	0,065	6,879794	0,530322	0,469678
65,32673	0,22	0,11	0,05	8,747562	0,092944	0,907056
12,4017	0,16	0,08	0,03	2,765024	0,009993	0,990007
1,378567	0,125	0,0625	0,0175	0,524272	0,000819	0,999181
0,091	0,045	0,0225	0,04	0,015293	0,000207	0,999793
0,0309	0,028	0,001	0,0085	0,024334	0	1
150,6317						

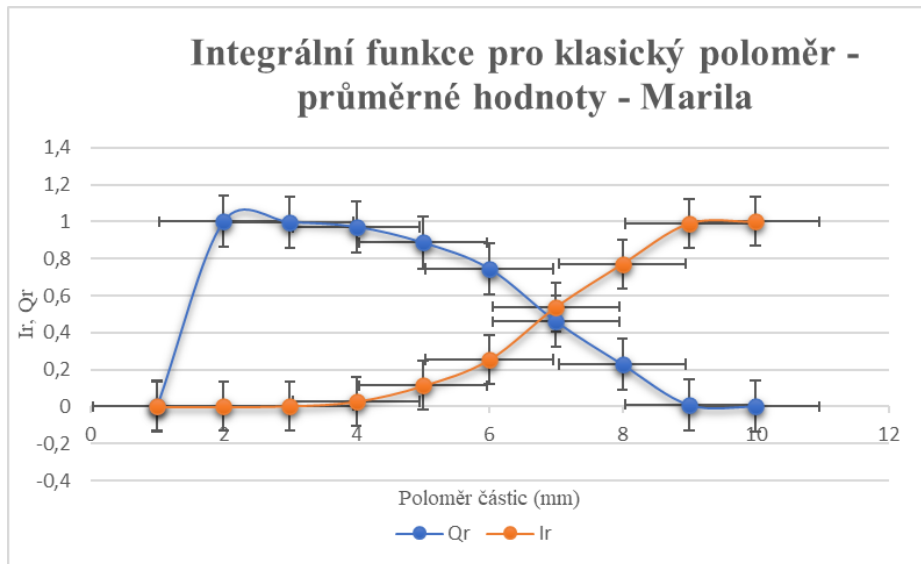
Tabulka č. 5 Průměrné naměřené hodnoty – sušené mléko plnotučné zn. Bohemilk

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	lwr
0,5527	0,71	0,355			1	0
0,7971	0,56	0,28	0,075	0,069927	0,994755	0,005245
2,9163	0,45	0,225	0,055	0,348578	0,975584	0,024416
12,49287	0,32	0,16	0,065	1,264098	0,893417	0,106583
29,48007	0,22	0,11	0,05	3,878748	0,69948	0,30052
58,02267	0,16	0,08	0,03	12,72488	0,317734	0,682266
42,2429	0,125	0,0625	0,0175	15,8675	0,040052	0,959948
6,0671	0,045	0,0225	0,04	0,991443	0,000395	0,999605
0,060067	0,028	0,001	0,0085	0,046423	0	1
153,0758						

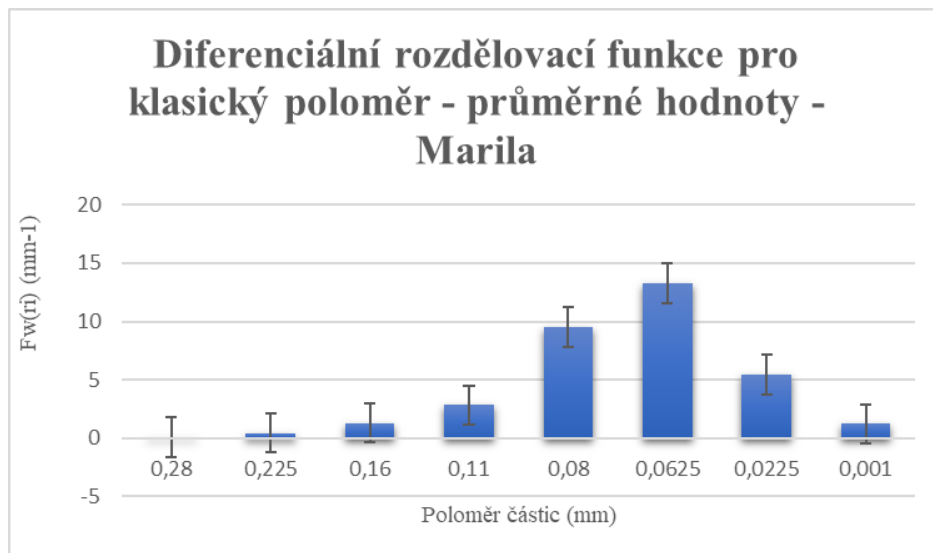
Tabulka č. 6 Průměrné naměřené hodnoty – sušený kokosový nápoj zn. Topnatur

Z těchto tabulek vyplývá, že u vzorku č.1 holandského kakaa značky Marila byl největší objem zachycených částic detekován na síť o průměru ok 0,22 mm. U vzorku č. 5 kakaa od značky Manner byl největší záchyt na prvním síť o průměru ok 0,71 mm, tento vzorek byl již po vizuální stránce poměrně hrubě zrnitý. Při měření vzorku č.6 sušeného plnotučného mléka značky Bohemilk se největší část částic zachytila na síť o průměru ok 0,32 mm. A u

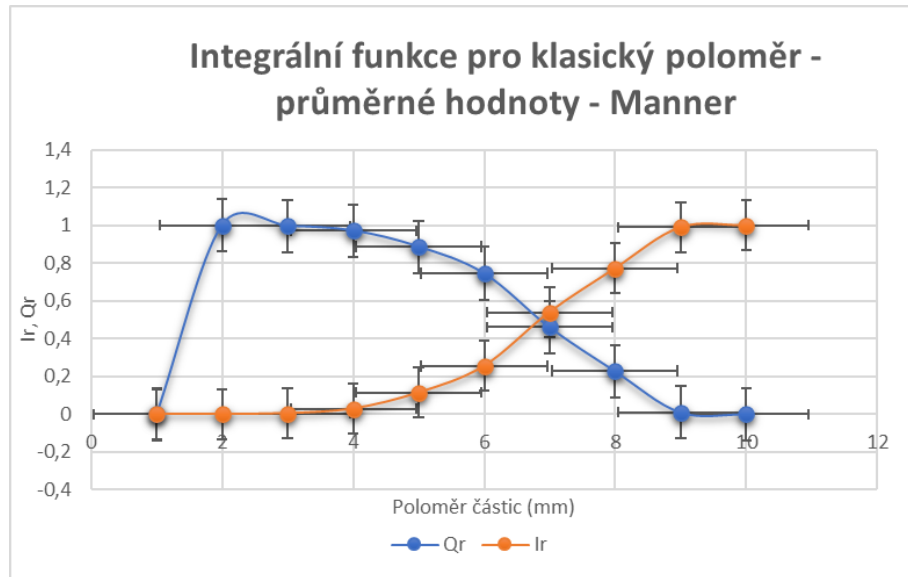
posledního vzorku č. 9 sušeného kokosového nápoje značky Topnatur byl největší podíl částic zachycen na síti o průměru ok 0,16 mm.



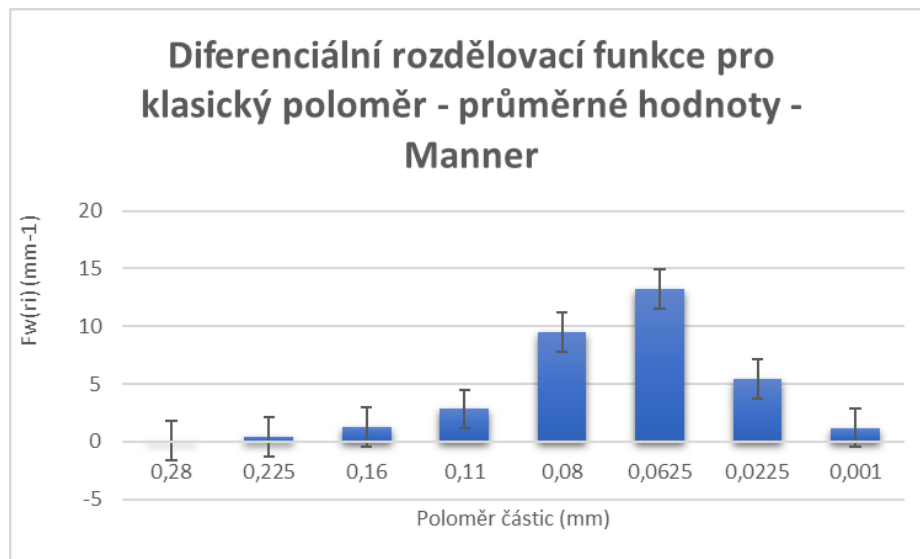
Graf č. 2 Integrální funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Marila



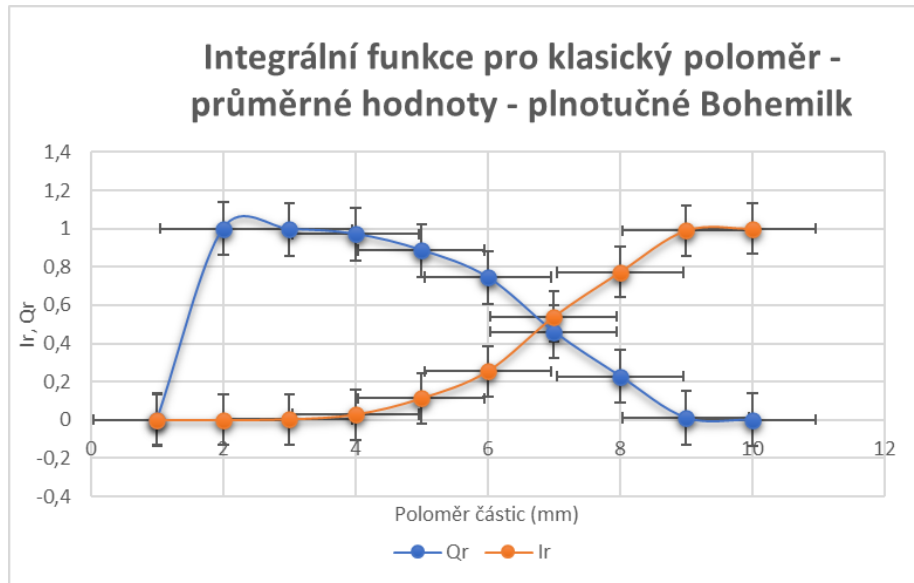
Graf č. 3 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Marila



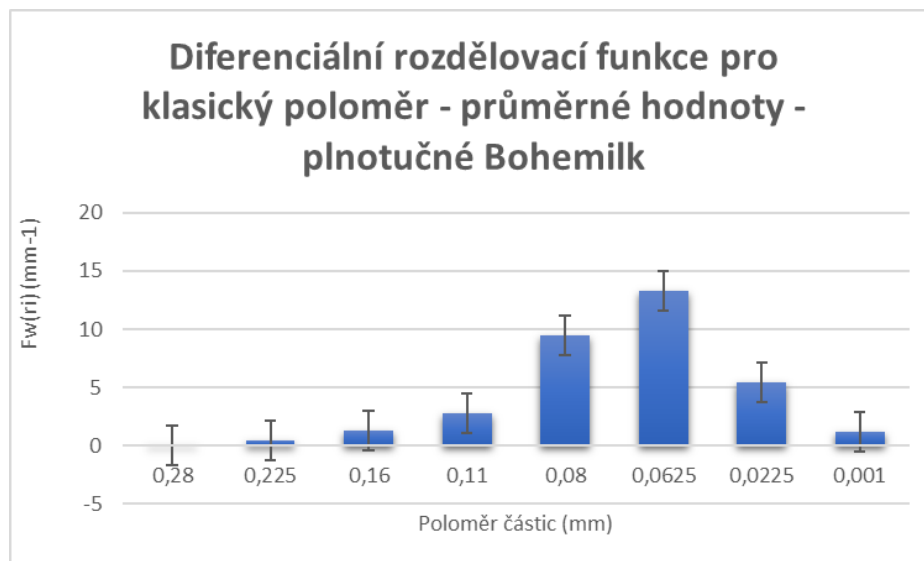
Graf č.4 Integrální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Manner



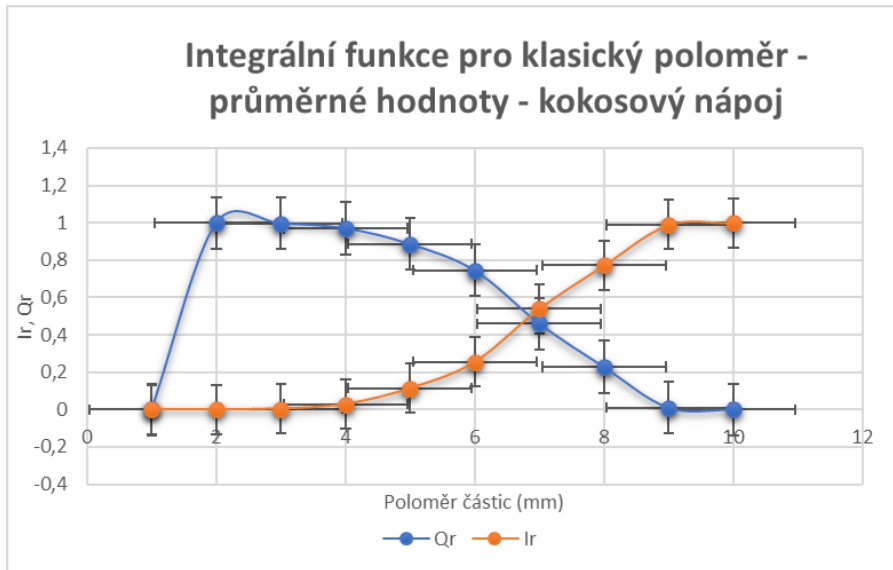
Graf č.5 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Manner



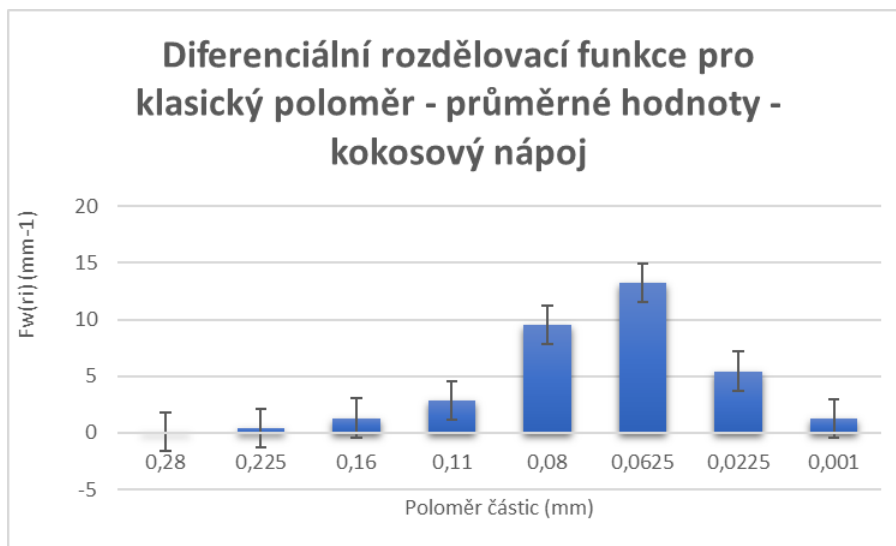
Graf č. 6 Integrální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – plnotučné Bohemilk



Graf č. 7 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – plnotučné Bohemilk



Graf č. 8 Integrální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – kokosový nápoj



Graf č. 9 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – kokosový nápoj

Po zvážení jednotlivých frakcí na sítích u všech tří měření byly ze získaných hmotností vypočteny průměrné hodnoty hmotnosti.

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	2,9903	2,9834	3,1122	3,0286
2.	0,56	3,6983	3,7504	3,7476	3,7321
3.	0,45	1,7457	1,4531	1,4942	1,5643
4.	0,32	34,7583	34,6895	35,0971	34,8483
5.	0,22	65,2047	65,3122	65,3033	65,2734
6.	0,16	27,5202	27,5806	27,6069	27,5692
7.	0,125	1,8931	1,8837	1,8870	1,8879
8.	0,045	0,4708	0,4428	0,4438	0,4525
9.	0,028	0,0011	0,0040	0,0031	0,0027

Tabulka č.7 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – holandské kakao zn.

Marila

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	20,8034	18,1009	20,8044	19,9029
2.	0,56	18,9924	19,2158	19,0007	19,06963
3.	0,45	16,3767	16,5154	16,381	16,42437
4.	0,32	18,3763	17,8137	18,3818	18,1906
5.	0,22	15,8953	15,4738	15,8914	15,7535
6.	0,16	19,4502	20,7569	19,4549	19,88733
7.	0,125	18,1501	18,4497	18,1451	18,2483
8.	0,045	19,8975	19,6677	19,8961	19,82043
9.	0,028	1,9479	1,9887	1,9496	1,962067

Tabulka č.8 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – kakao zn. Manner

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,2933	0,8244	0,2921	0,46993
2.	0,56	0,9382	0,8541	0,939	0,91043
3.	0,45	2,4723	2,4048	2,4696	2,44890
4.	0,32	65,7147	68,8429	65,713	66,75687
5.	0,22	66,2625	63,4566	66,2611	65,32673
6.	0,16	13,2777	10,649	13,2784	12,40170
7.	0,125	1,8704	0,3961	1,8692	1,37857
8.	0,045	0,0724	0,1304	0,0702	0,09100
9.	0,028	0,0323	0,0292	0,0312	0,03090

Tabulka č.9 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – sušené mléko plnotučné zn. Bohemilk

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,3735	0,912	0,3726	0,5527
2.	0,56	0,7642	0,8604	0,7667	0,7971
3.	0,45	2,9872	2,7759	2,9858	2,9163
4.	0,32	12,3523	12,7723	12,354	12,49287
5.	0,22	28,6297	31,1804	28,6301	29,48007
6.	0,16	55,9031	62,2635	60,9014	59,68933
7.	0,125	43,536	39,6561	39,5366	40,90957
8.	0,045	8,8372	0,5281	0,836	3,400433
9.	0,028	0,0643	0,0507	0,0652	0,060067

Tabulka č.10 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – sušený kokosového nápoje zn. Topnatur

Z těchto dat byla poté vytvořena křivka rozsevu, která udává hmotnostní podíl zrn x_z větších, než je rozměr ok daného síta x v závislosti na x .

$$R(x) = \frac{\Delta m (x_z > x)}{m}$$

Kde Δm [g] udává hmotnosti zrn s rozměrem ok x a větších

m [g] udává hmotnost celkové použité navážky vzorku

Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,015143167
2.	0,56	0,033803667
3.	0,45	0,041625333
4.	0,32	0,215866833
5.	0,22	0,542233833
6.	0,16	0,68008
7.	0,125	0,689519667
8.	0,045	0,691782
9.	0,028	0,691795667

Tabulka č.11 Hodnoty křivky rozsevu holandské kakao zn. Marila

Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,0995145
2.	0,56	0,194862667
3.	0,45	0,2769845
4.	0,32	0,3679375
5.	0,22	0,446705
6.	0,16	0,546141667
7.	0,125	0,637383167
8.	0,045	0,736485333
9.	0,028	1,508808333

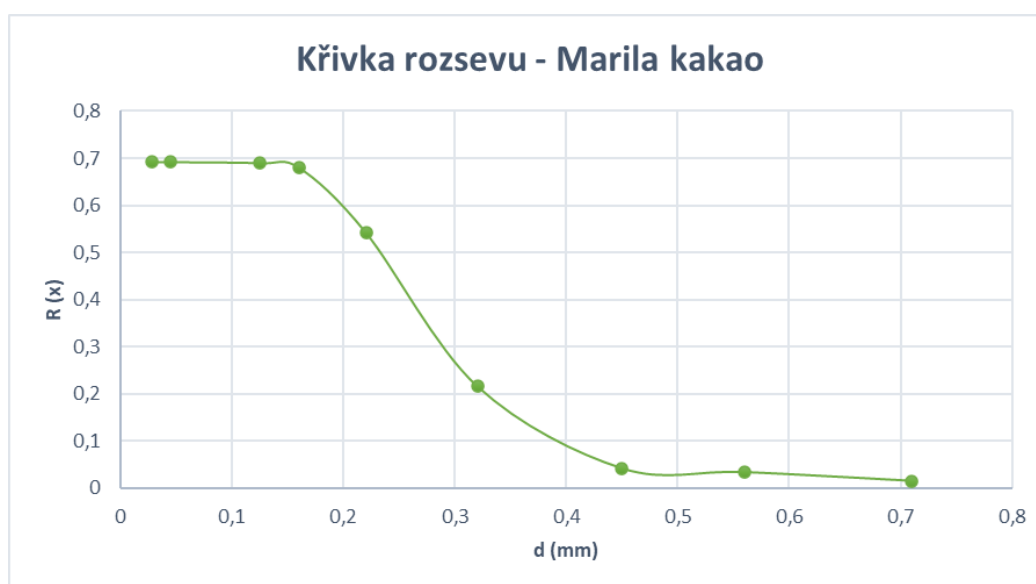
Tabulka č.12 Hodnoty křivky rozsevu kakao zn. Manner

Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,002349667
2.	0,56	0,006901833
3.	0,45	0,019146333
4.	0,32	0,352930667
5.	0,22	0,679564333
6.	0,16	0,741572833
7.	0,125	0,748465667
8.	0,045	0,748920667
9.	0,028	0,749075167

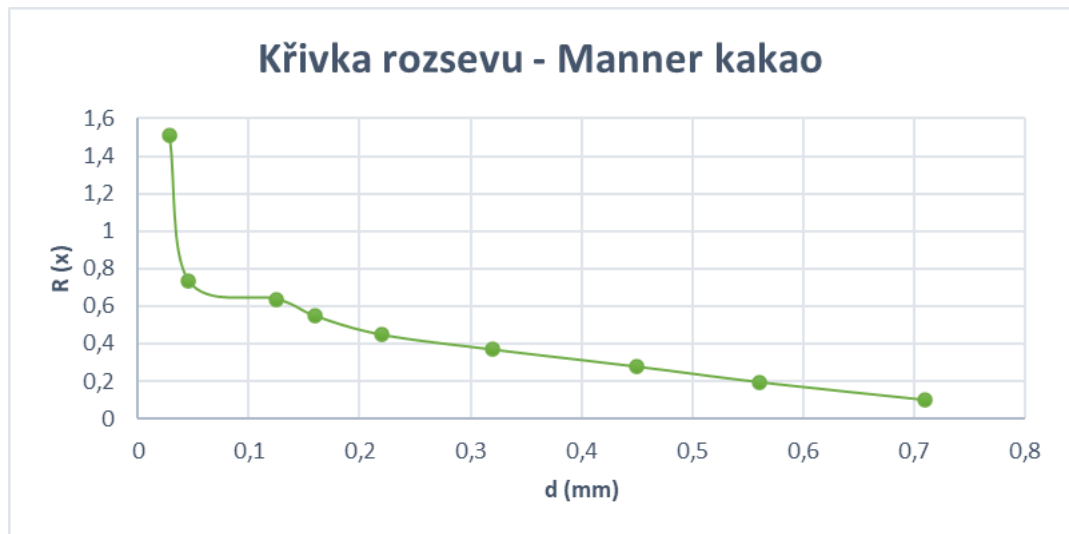
Tabulka č.13 Hodnoty křivky rozsevu sušeného plnotučného mléka zn. Bohemilk

Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,0027635
2.	0,56	0,006749
3.	0,45	0,0213305
4.	0,32	0,083794833
5.	0,22	0,231195167
6.	0,16	0,529641833
7.	0,125	0,734189667
8.	0,045	0,751191833
9.	0,028	0,751492167

Tabulka č.14 Hodnoty křivky rozsevu sušený kokosový nápoj zn. Topnatur



Graf č. 10 Křivka rozsevu – Marila kakao



Graf č. 11 Křivka rozsevu – Manner kakao



Graf č. 12 Křivka rozsevu – sušené plnotučné mléko Bohemilk



Graf č. 13 Křivka rozsevu – Kokosový nápoj

Dále byla ze shodných hodnot vytvořena křivka propadu, která je dána hmotnostním podílem zrn o velikosti $x_z = x$ a menších, než je rozměr oka síta x v závislosti na x .

$$P(x) = \frac{\Delta m(x_z \leq x)}{m}$$

Kde Δm [g] udává hmotnost propadu na síte s rozměrem ok rovným x

m [g] udává hmotnost celkové použité navážky vzorku

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,984856833
2.	0,56	0,966196333
3.	0,45	0,958374667
4.	0,32	0,784133167
5.	0,22	0,457766167
6.	0,16	0,31992
7.	0,125	0,310480333
8.	0,045	0,308218
9.	0,028	0,308204333

Tabulka č. 15 Hodnoty křivky propadu – holandské kakao zn. Marila

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,9004855
2.	0,56	0,805137333
3.	0,45	0,7230155
4.	0,32	0,6320625
5.	0,22	0,553295
6.	0,16	0,453858333
7.	0,125	0,362616833
8.	0,045	0,263514667
9.		

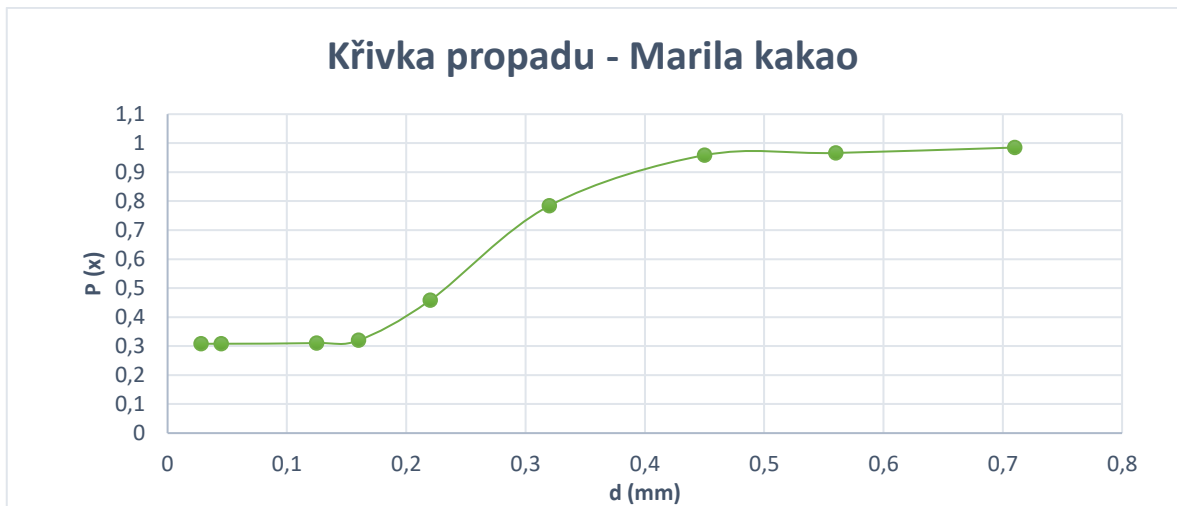
Tabulka č. 16 Hodnoty křivky propadu – kakao zn. Manner

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,997650333
2.	0,56	0,993098167
3.	0,45	0,980853667
4.	0,32	0,647069333
5.	0,22	0,320435667
6.	0,16	0,258427167
7.	0,125	0,251534333
8.	0,045	0,251079333
9.	0,028	0,250924833

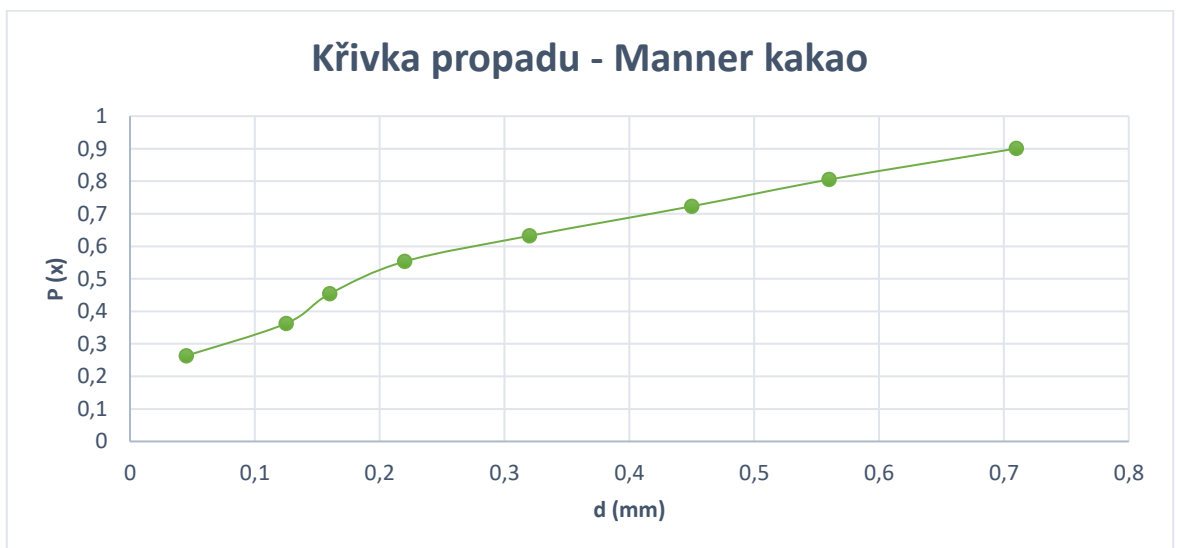
Tabulka č. 17 Hodnoty křivky propadu – sušené plnotučné mléko zn. Bohemilk

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,9972365
2.	0,56	0,993251
3.	0,45	0,9786695
4.	0,32	0,916205167
5.	0,22	0,768804833
6.	0,16	0,470358167
7.	0,125	0,265810333
8.	0,045	0,248808167
9.	0,028	0,248507833

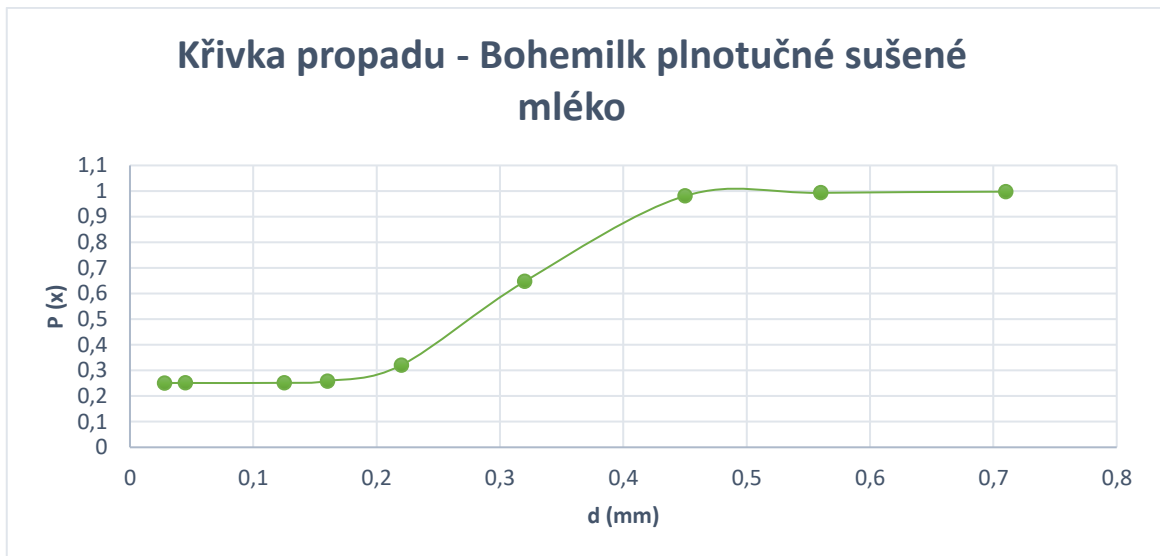
Tabulka č. 18 Hodnoty křivky propadu – sušený kokosový nápoj zn. Topnatur



Graf č. 14 křivka propadu – Marila kakao



Graf č. 15 Křivka propadu – Manner kakao



Graf č. 16 Křivka propadu – Bohemilk plnotučné sušené mléko

Následně po získání výše uvedené křivky propadu, byl podle hodnot první a druhé derivace vytvořen graf, který sloužil především jako materiál pro pomocný výpočet, a to konkrétně pro odečtení hodnoty MODUS, která představuje střední hodnotu velikosti částic.

Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,98486	0,1244	0,17766
0,56	0,9662	0,09775	-2,67462
0,45	0,95837	0,70571	-8,90299
0,32	0,78413	2,30199	-8,53234
0,22	0,45777	2,78055	10,08206
0,16	0,31992	1,28357	28,68312
0,125	0,31048	0,14899	17,04858
0,045	0,30822	0,01454	1,24436
0,028	0,3082	8,04E-04	0,8081

Tabulka č.19 Hodnoty 1. a 2. derivace – Marila kakao

Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,90049	0,63565	-0,36969
0,56	0,80514	0,69111	-0,33026
0,45	0,72302	0,7231	-0,22448
0,32	0,63206	0,74366	-2,47316
0,22	0,55329	1,22248	-9,9742
0,16	0,45386	2,13209	-4,59081
0,125	0,36262	1,92284	7,26467
0,045	0,26351	1,23878	8,55077

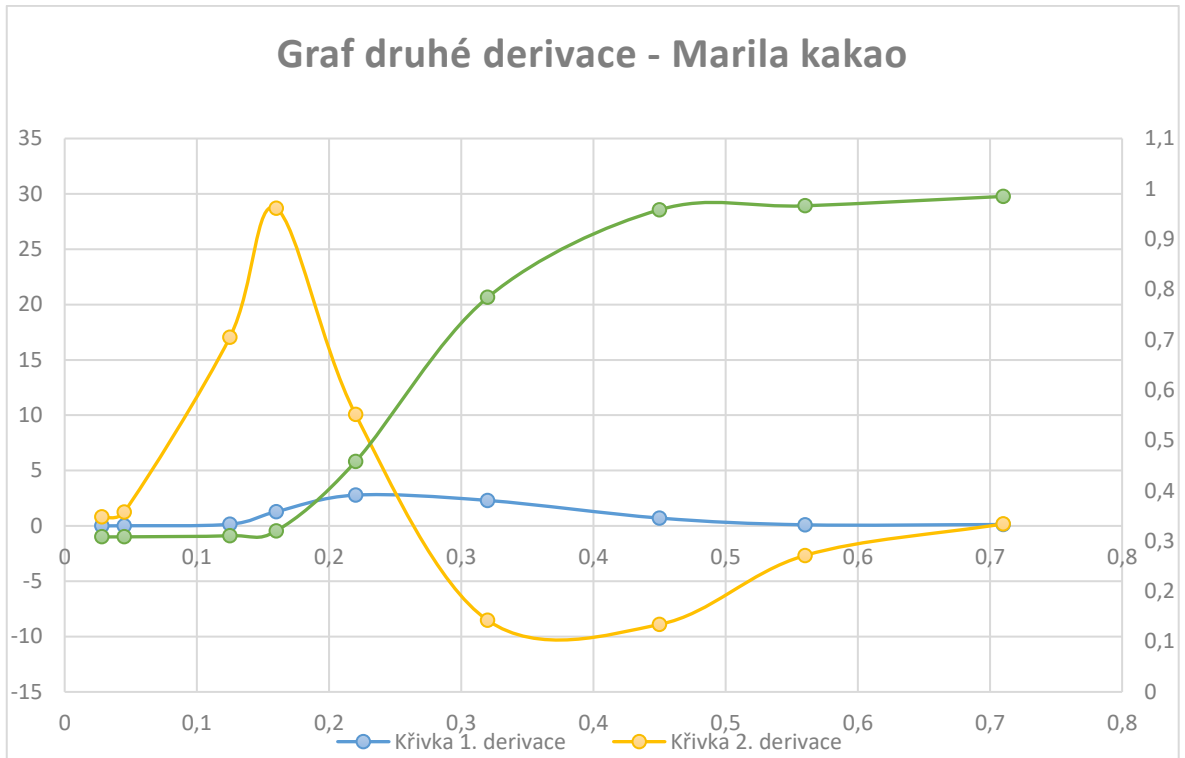
Tabulka č. 20 Hodnoty 1. a 2. derivace – kakao Manner

Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,99765	0,03035	-0,26989
0,56	0,9931	0,07083	-5,90136
0,45	0,98085	1,33944	-11,83377
0,32	0,64707	2,91695	-2,23211
0,22	0,32044	2,14991	16,6244
0,16	0,25843	0,61521	20,1305
0,125	0,25153	0,10131	7,92837
0,045	0,25108	0,00739	0,53702
0,028	0,25092	0,00909	-0,10002

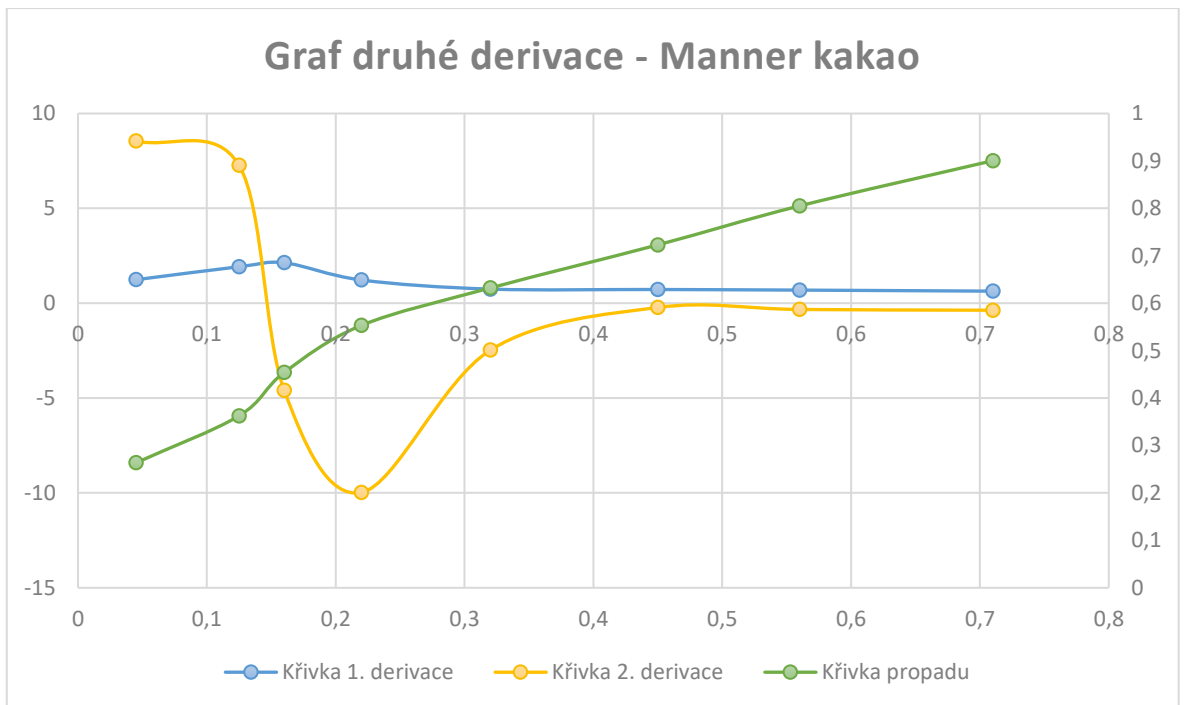
Tabulka č. 21 Hodnoty 1. a 2. derivace – sušené plnotučné mléko Bohemilk

Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,99724	0,02657	-0,3533
0,56	0,99325	0,07956	-1,2083
0,45	0,97867	0,30653	-3,61135
0,32	0,91621	0,97725	-13,81374
0,22	0,7688	3,22406	-29,44329
0,16	0,47036	5,40917	15,80206
0,125	0,26581	3,02838	52,21931
0,045	0,24881	0,1151	21,07359
0,028	0,24851	0,01767	5,73119

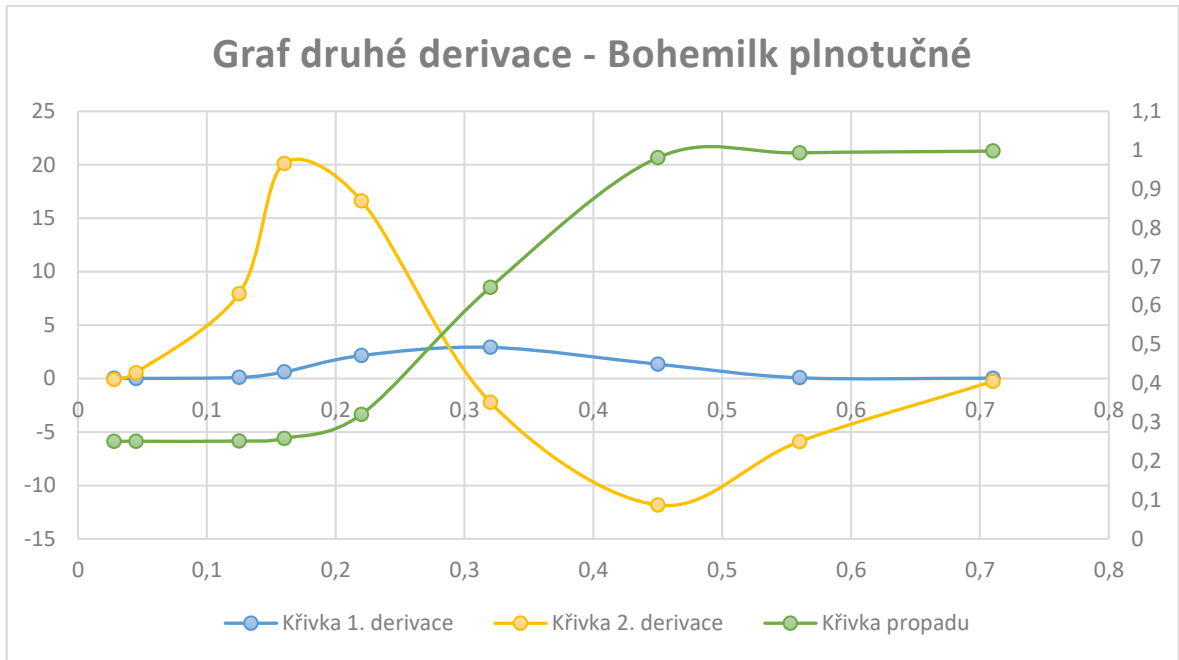
Tabulka č. 22 Hodnoty 1. a 2. derivace – sušený kokosový nápoj zn Topnatur



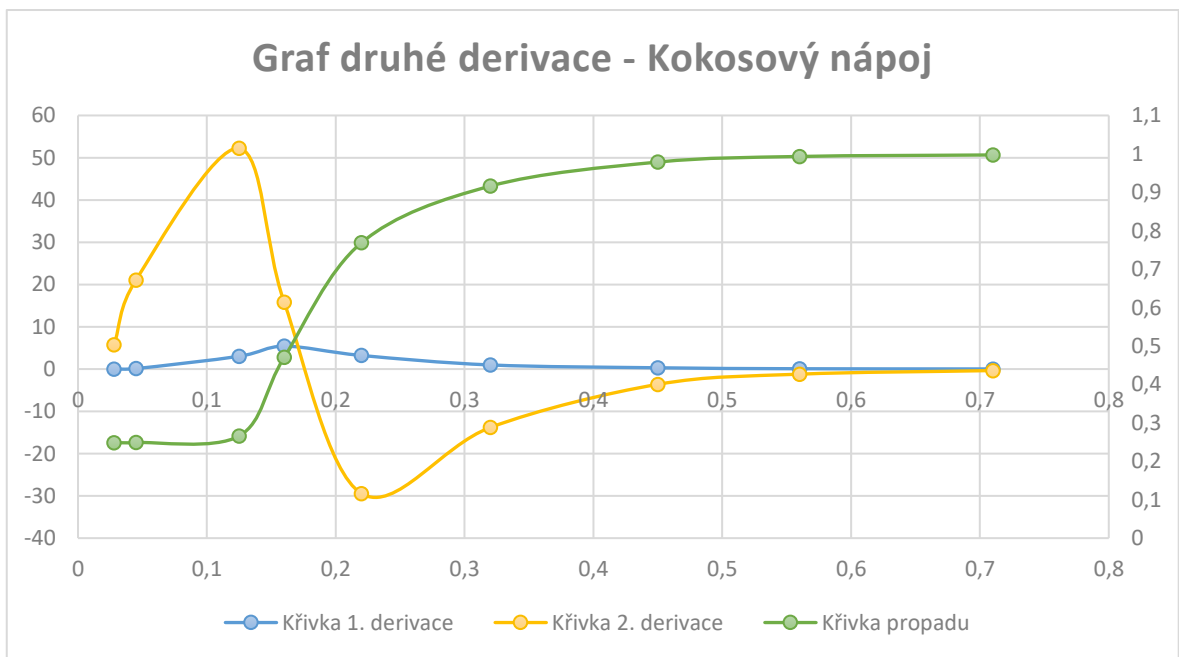
Graf č. 17 Graf druhé derivace – Marila kakao



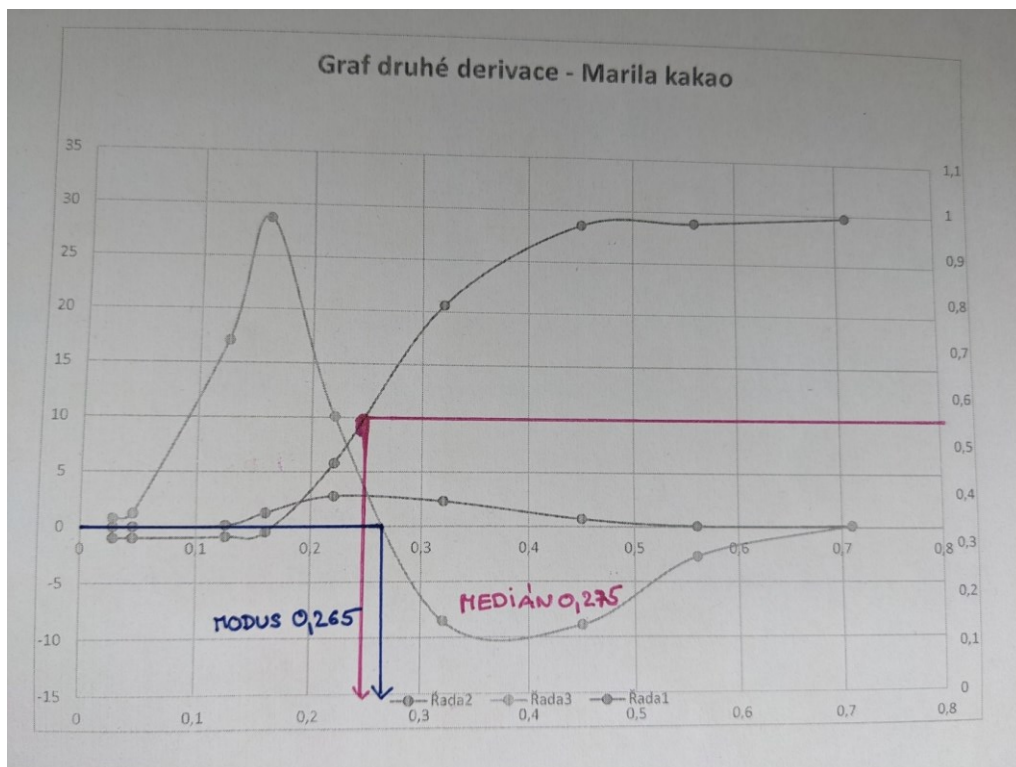
Graf č. 18 Graf druhé derivace – Manner kakao



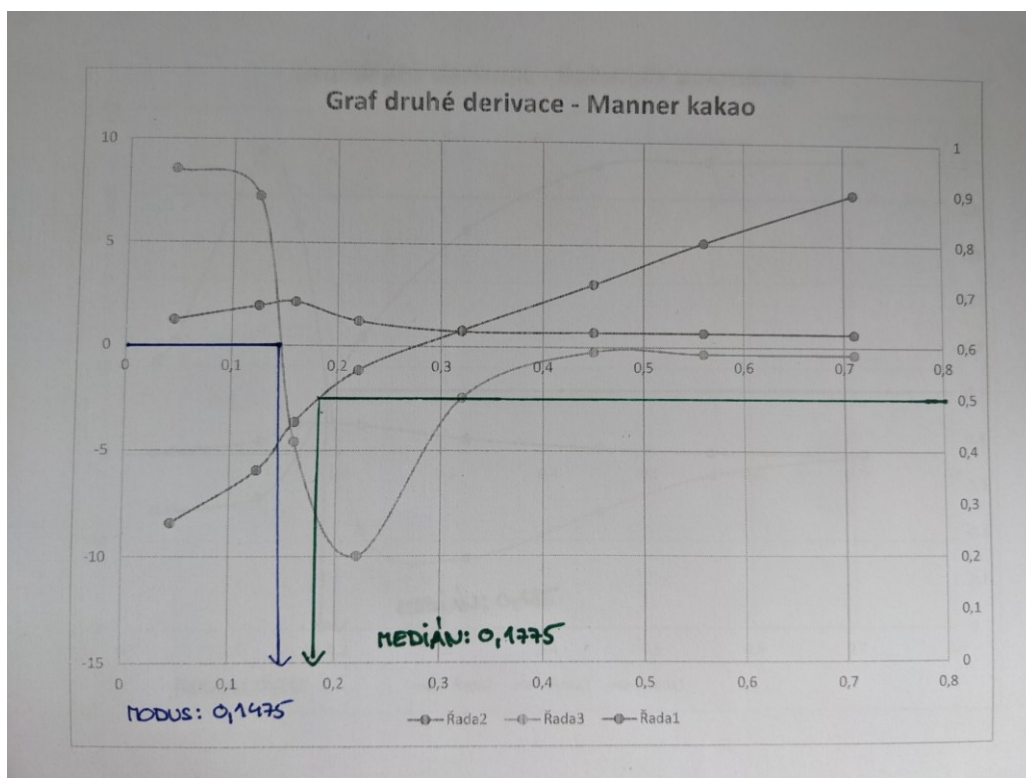
Graf č. 19 Graf druhé derivace – Bohemilk plnotučné sušené mléko



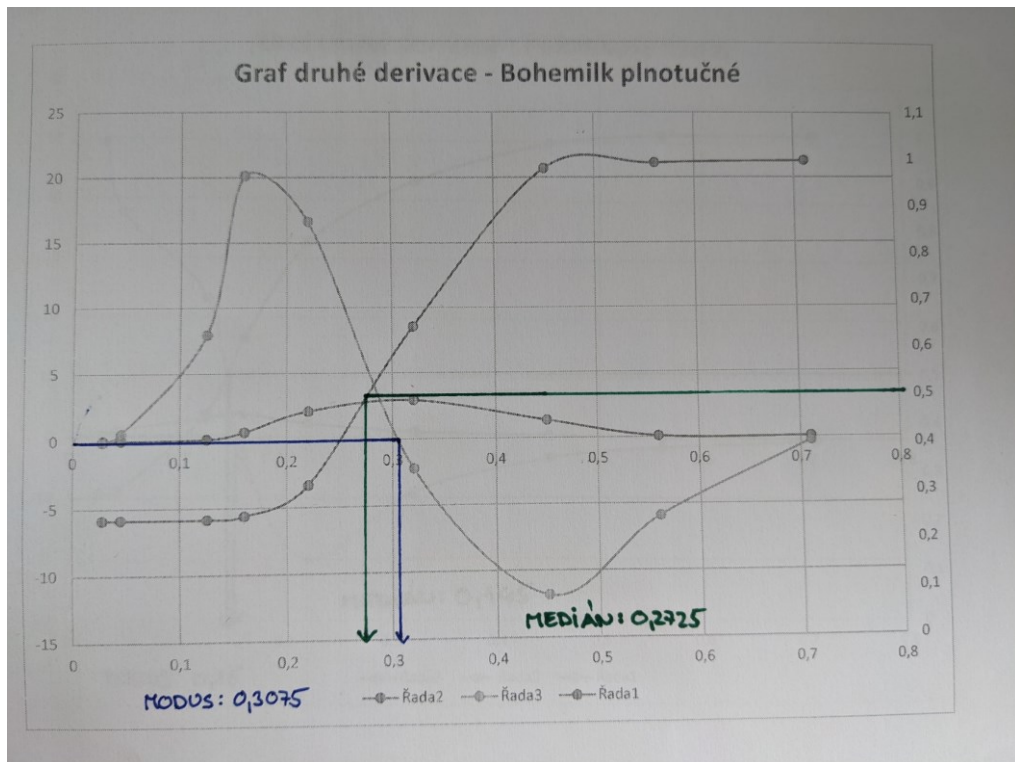
Graf č. 20 Graf druhé derivace



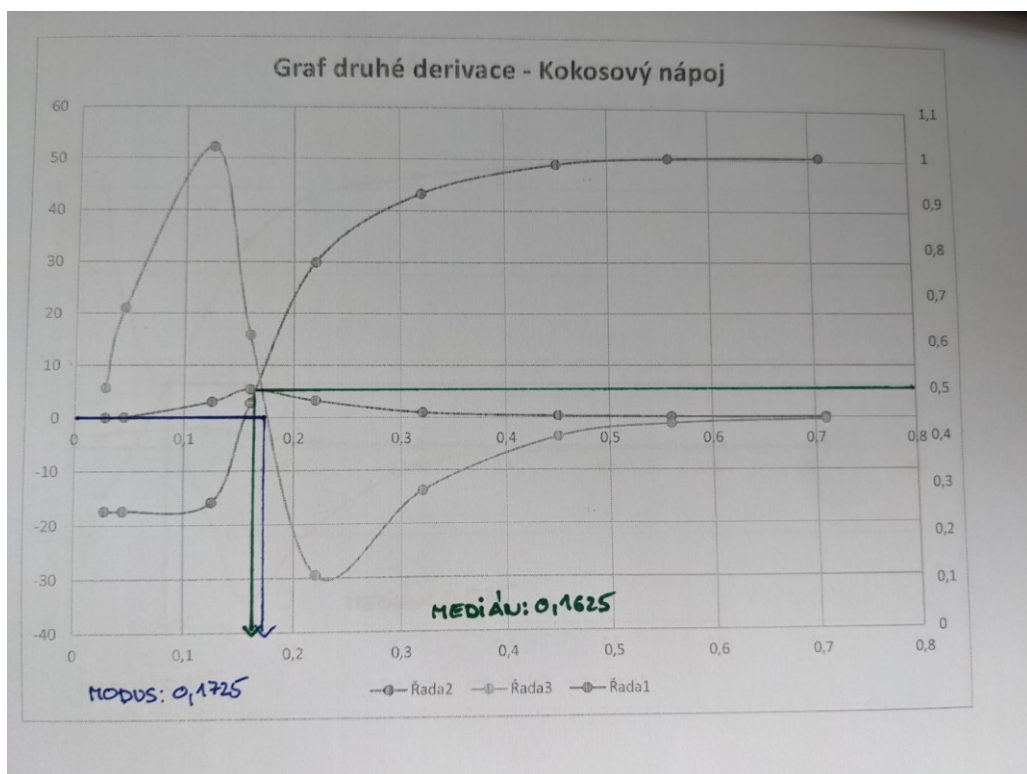
Obrázek č. 22 Odečet hodnoty MODUS – Marila kakao



Obrázek č. 23 Odečet hodnoty MODUS – Manner kakao



Obrázek č. 24 Odečet hodnoty MODUS – plnotučné sušené mléko Bohemilk



Obrázek č. 25 Odečet hodnoty MODUS – kokosový nápoj

Z tohoto obrázku vyplývá, že modus hodnot neboli střední hodnota velikosti částic pro holandské kakao značky Marila je 0,265, pro vzorek kakaa Manner 0,1475, pro sušené plnotučné mléko zn. Bohemilk 0,3075 a pro sušený kokosový nápoj zn. Topnatur 0,1725. Z těchto vybraných vzorků se částice s největším průměrem nacházely u sušeného plnotučného mléka značky Bohemilk.

V níže uvedené tabulce naleznete střední hodnoty velikosti částic pro všechny vzorky měřené metodou síťové analýzy spolu s jejich směrodatnými odchylkami.

Název vzorku	Střední hodnota velikosti částic
Marila kakao	0,265 ± 0,016
Dr. Oetker kakao	0,18 ± 1,80
Kávoviny kakao	0,090 ± 0,181
Nestlé Caro	0,1925 ± 0,028
Manner kakao	0,1475 ± 0,058
Bohemilk polotučné	0,20 ± 0,046
Bohemilk plnotučné	0,3075 ± 0,101
Pohankový nápoj	0,15 ± 0,059
Kokosový nápoj	0,1725 ± 0,186
Sójový nápoj	0,105 ± 0,121
Rýžový nápoj	0,155 ± 0,048

Tabulka č. 23 Střední hodnoty velikosti částic pro všechny měřené vzorky vč. směrodatné odchylky

Na základě získaných výsledků můžeme tedy říct, že částice s největším průměrem se nacházely u vzorků holandského kakaa Marila a také u sušeného plnotučného mléka značky Bohemilk. Tato skutečnost je pravděpodobně dána tím, že u vzorku sušeného plnotučného mléka byl deklarován nejvyšší obsah tuku, což mohlo ovlivnit případné shlukování částic v útvary s větším průměrem. U vzorku značky Marila však nejvyšší obsah tuku uváděn nebyl, je tedy možné říct, že poměrně vysokou hodnotu střední velikosti částic mohlo ovlivnit nesprávné skladování výrobku např. jeho vystavení vzdušné vlhkosti, čímž došlo k aglomeraci částic ve větší útvary.

7.2 Laserová difrakce

Další metodou využitou pro měření distribuce velikosti částic byla laserová difrakce. Použit byl třídič částic Analysette 28 ImageSizer. Měření bylo opakováno pro každý vzorek třikrát.

Měření probíhalo v proudu vzduchu s dobou trvání zhruba 10-40 sekund, hmotnost byla dávkována přístrojem automaticky ze zásobníku, který je jeho součástí.

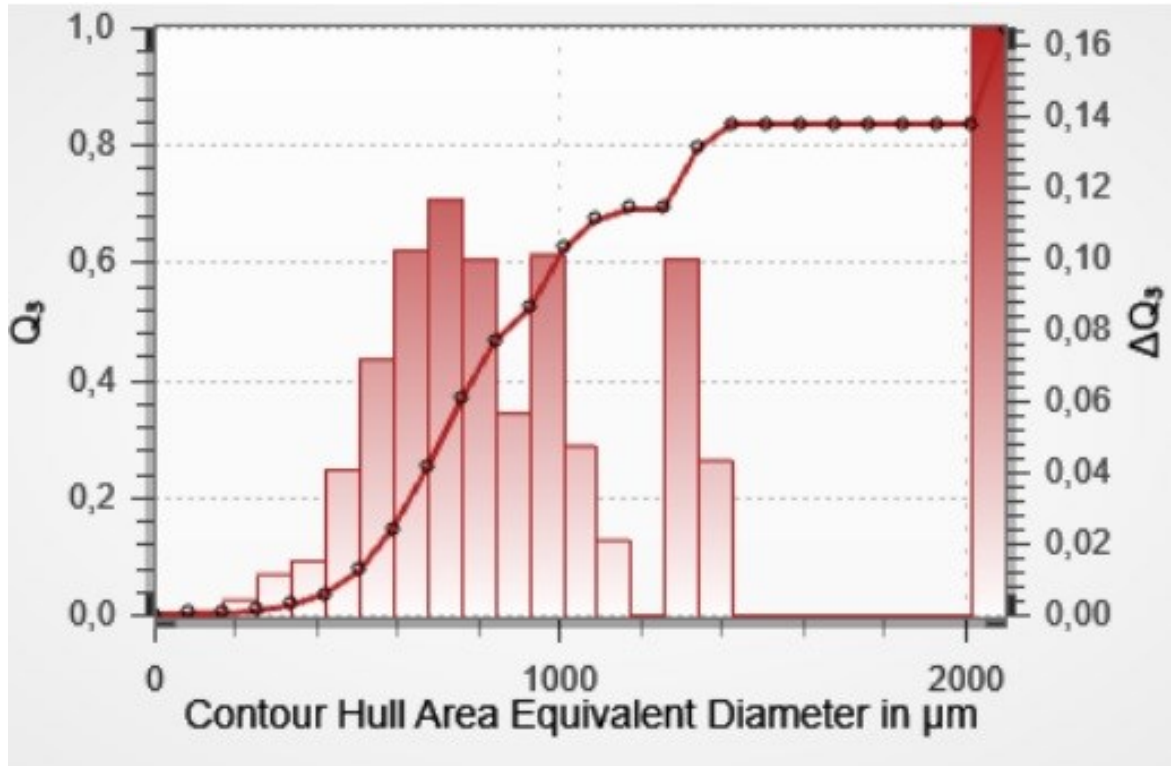
Jako výsledek jsme získali procentuální zastoupení velikosti částic v celém objemu testovaného vzorku.

V níže uvedené tabulce a grafech nalezneme hodnoty pro vzorek č. 1 holandské kakao značky Kávoviny s obsahem tuku 10-12 %.

Hodnoty pro další vybrané vzorky naleznete v přílohách XXVI – XXVIII

		D-Values		
		Q3 = 10 %	Q3 = 50 %	Q3 = 90 %
Contour Hull Area Equivalent Diameter	kakao holandskeho typu 100% extra dark_10-12% hm tuku_01	0,54	0,90	2,09
Maximum Feret Diameter	kakao holandskeho typu 100% extra dark_10-12% hm tuku_01	0,62	1,02	2,16
Minimum Feret Diameter	kakao holandskeho typu 100% extra dark_10-12% hm tuku_01	0,50	0,80	2,05

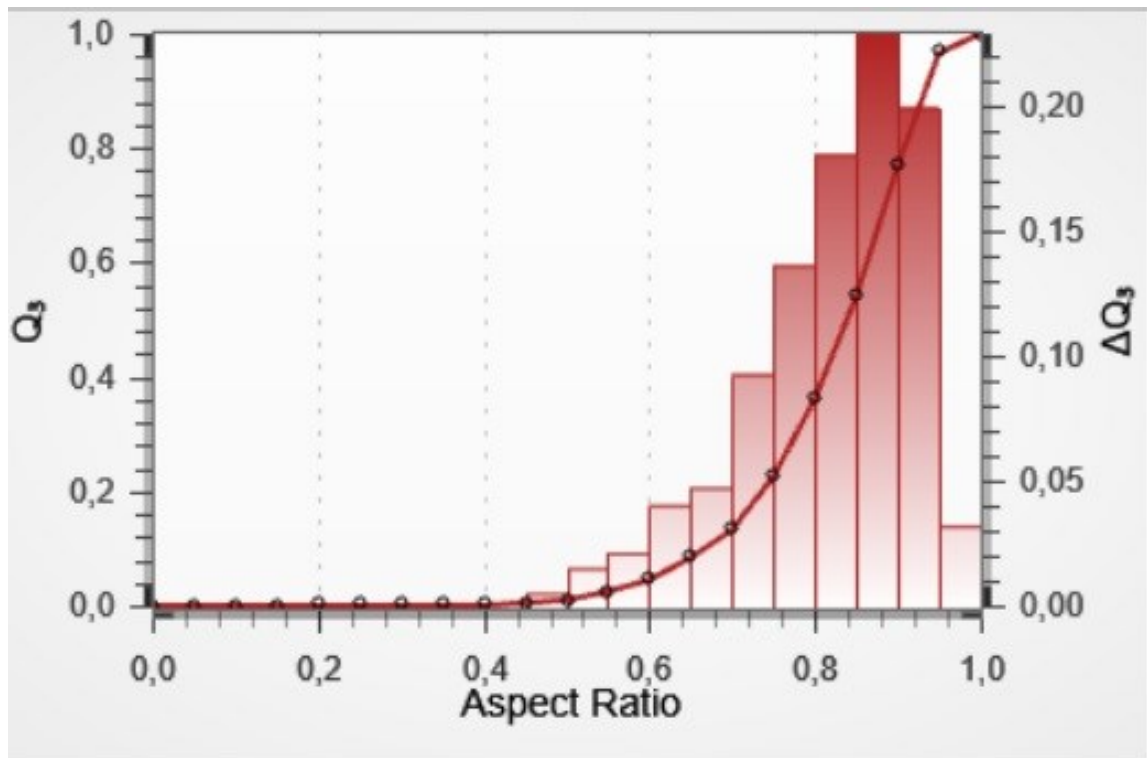
Tabulka č. 24 Naměřené hodnoty pomocí laserové difrakce – holandské kakao Marila



Graf č. 21 Graf pro naměřené hodnoty laserové difrakce – holandské kakao Marila

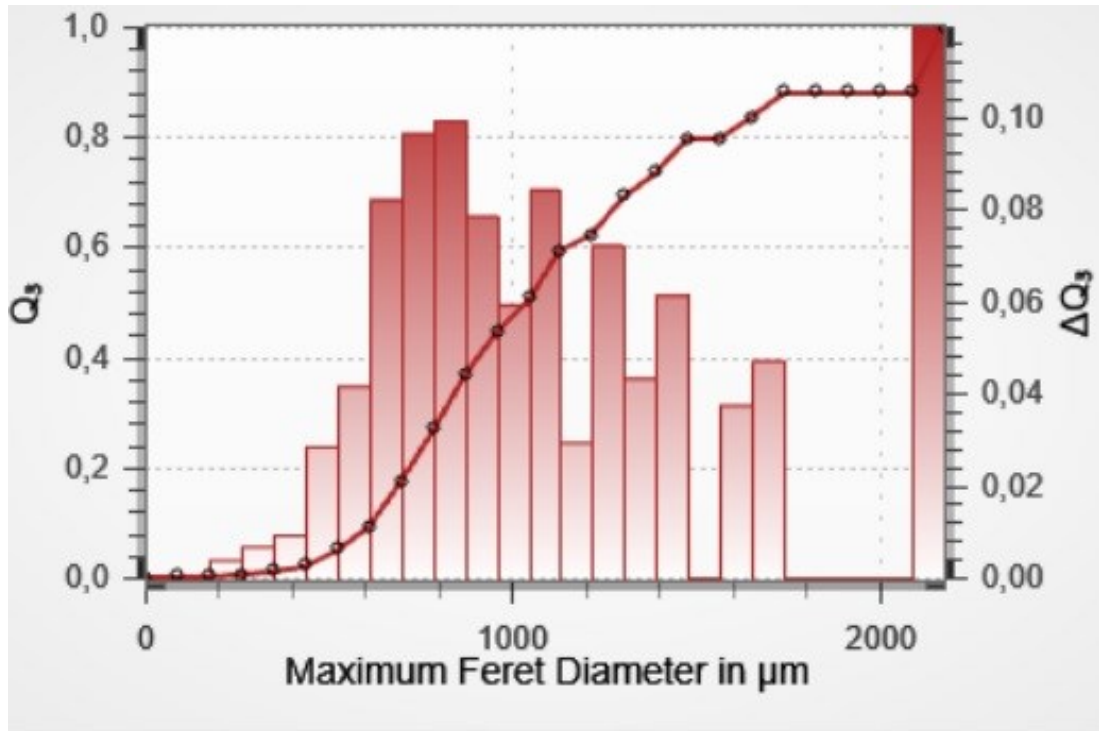
Výše uvedená tabulka nám udává velikost částic a jejich procentuální zastoupení v celém objemu vzorku. Pro naše měření jsme se řídili hodnotou 0,54 v 10% zastoupení ve vzorku, z toho důvodu, že námi zkoumané vzorky se řadí mezi materiály špatně tekoucí, tudíž dochází v průběhu měření k jejich aglomeraci.

Dále byl získán graf, který znázorňuje distribuci částic v závislosti na poměru stran. Čím víc se hodnoty blíží 1, tím jsou částice souměrnější a jedná se souměrnou částici, naopak čím jsou hodnoty bližší 0, tím více se jedná o nesouměrnou částici. V níže uvedeném grafu vidíme nejvyšší zastoupení částic o velikosti 0,9 mm jejichž hodnoty poměru se blíží nebo rovnají jedné. U tohoto vzorku holandského kakaa šlo tedy z velké části o monodisperzní soustavu – většina částic má stejný nebo velmi podobný tvar.

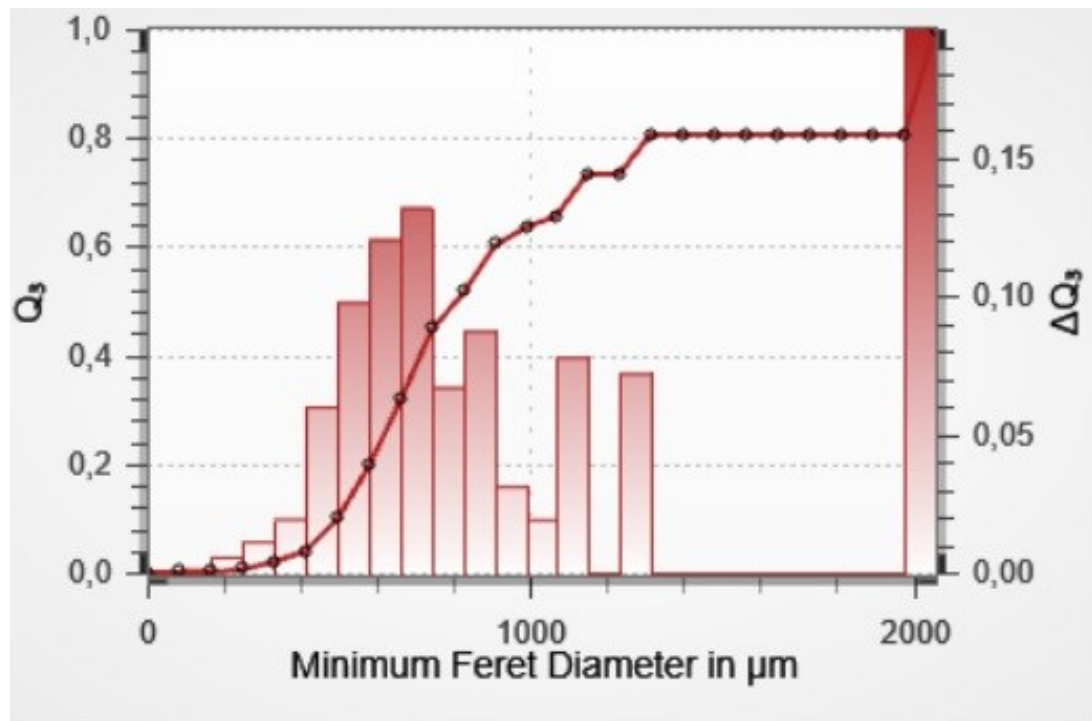


Graf č. 22 Graf distribuce částic v závislosti na poměru stran

Poté byly měření získány grafy maximálního a minimálního Feretova průměru, který je využíván k popisu disperzních částic, které mají nepravidelný tvar. Hodnota Feretova průměru je rovna vzdálenosti bodů, ve kterých se dvě paralelní tečny dotýkají obvodu průmětu částice.



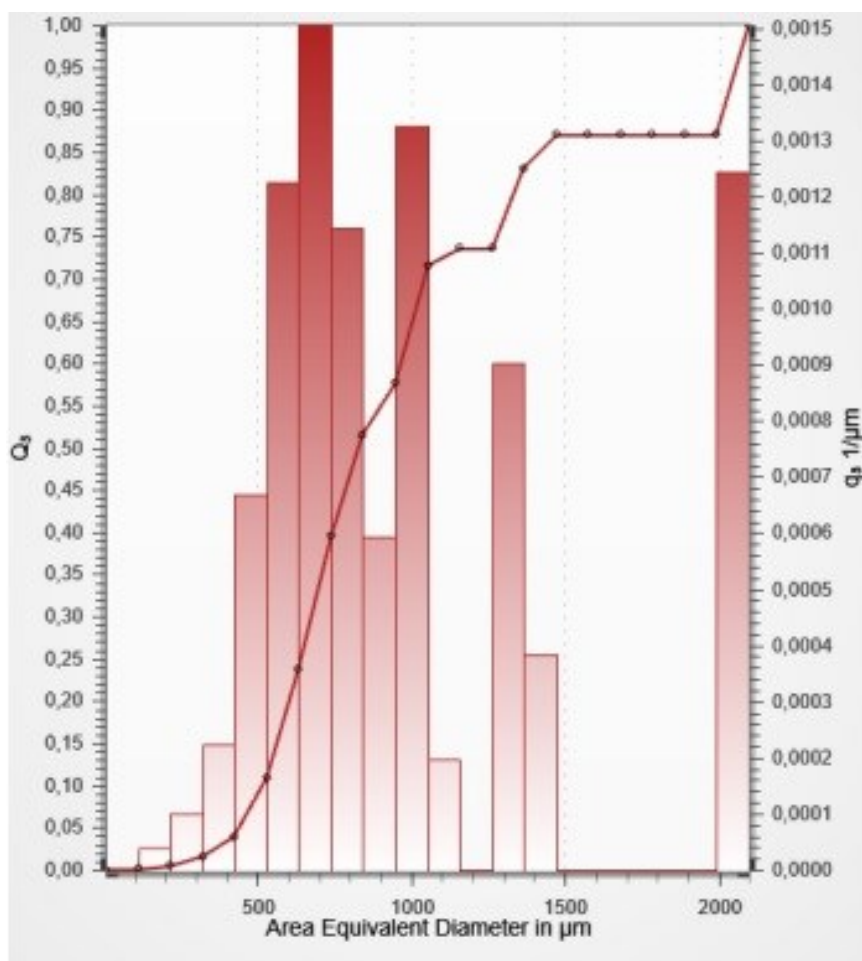
Graf č. 23 Maximální Feretův průměr



Graf č. 24 Minimální Feretův průměr

Z výše uvedených grafů lze tedy vyvodit, že částice s nejvyššími hodnotami maximálního Feretova průměru měly průměr 800–900 μm což odpovídá hodnotě při $Q_3=50\%$ 0,90 mm v tabulce č. 18, a naopak částice s nejvyššími hodnotami minimálního Feretova průměru byly částice o průměru kolem 500 μm což je shodné s hodnotou $Q_3=10\%$ 0,54 mm.

A jako poslední byl vytvořen graf plošně ekvivalentního průměru, který je roven průměru kruhu o stejné ploše jako je plocha průmětu námi sledované částice. Středně ekvivalentní průměr je udáván v mikrometrech na ose x v závislosti na procentuálním zastoupení ve vzorku.



Graf č. 25 Graf plošně ekvivalentního průměru

V tabulce č. 19 naleznete střední hodnoty velikosti částic změřené pomocí metody laserové difrakce. Částice o největším rozměru byly zaznamenány u vzorku plnotučného sušeného mléka značky Bohemilk a to pravděpodobně z toho důvodu, že tento vzorek deklaroval až 24 % obsahu tuku, tudíž mohlo docházet k aglomeraci částic jak v samotném spotřebitelském balení, tak v průběhu analýzy při průchodu vzorku měřící celou přístroje.

Název vzorku	Středí hodnota velikosti částic (mm)
Marila kakao	0,54
Manner kakao	0,41
Bohemilk plnotučné	1,3
Kokosový nápoj	0,36

Tabulka č. 21 Střední hodnoty velikosti částic – laserová difrakce

ZÁVĚR

Pokud srovnáme hodnoty velikosti částic získané výše uvedenými metodami, dojdeme k závěru, že jsou mezi nimi poměrně značné rozdíly. U vzorku holandského kakaa značky Marila s 10–12% obsahem tuku byla pomocí sítové analýzy naměřena střední velikost částic $0,265 \pm 0,016$ mm, u laserové difrakce potom 0,54 mm. U vzorku kakaa Manner s 25% obsahem tuku byla pomocí sítové analýzy naměřena střední velikost částic $0,1475 \pm 0,058$ mm, u laserové difrakce 0,41 mm. Při měření vzorku sušeného mléka plnotučného značky BoheMilk s 24% obsahem tuku bylo pomocí sítové analýzy naměřena střední velikost částic $0,3075 \pm 0,101$ mm, u laserové difrakce 1,3 mm. U posledního vzorku instantního kokosového nápoje bylo naměřena střední velikost částic pomocí sítové analýzy $0,1725 \pm 0,186$ mm, u laserové difrakce 0,36 mm. Tyto významné rozdíly jsou způsobeny především použitou analyzační technikou. Při použití sítové analýzy dochází k vibračnímu pohybu po poměrně dlouhý časový úsek. Za tuto dobu, v našem případě 15 minut, dojde na sítích k rozrušení případných velkých shluků částic, které se ve vzorku mohly vytvořit ať už v průběhu výroby, skladování nebo manipulace. V průběhu těchto operací může tedy docházet k aglomeraci částic tzn. že se malé částice spojují do větších útvarů. Při analýze vzorků pomocí laserové difrakce dochází při samotném měření k propad vzorku měřicí celou, ve které prochází skrze laserový paprsek. Tento děj se uskutečňuje v poměrně krátkém časovém úseku a bez využití vibračních vln, tudíž nedochází k rozrušení aglomerátů částic naopak může docházet ke vzniku nových, hlavně u špatně tekoucích materiálů, mezi které můžeme zařadit jak kakaové prášky, tak sušená mléka. Tato vlastnost může být také ovlivněna obsahem tuku, který je v těchto dvou komoditách poměrně vysoký. Pokud se tedy podíváme na získané výsledky, zjistíme, že hodnoty naměřené pomocí laserové difrakce jsou jak u kakaových prášků, tak u sušeného mléka vyšší. U posledního porovnávaného vzorku instantního kokosového nápoje není rozdíl naměřených hodnot tak markantní jak u předchozích vzorků. Aglomeráty vznikají pravděpodobně i zde, ale díky obsahu protispékavých látek, které jsou uvedeny v složení těchto produktů, nedochází k tak intenzivní tvorbě velkých shluků. Závěrem lze tedy ze získaných dat vyvodit, že jako vhodnější metoda pro analýzu velikosti částic u sypkých potravin se jeví síťová analýza.

8 BIBLIOGRAFIE

- [1] HRDLIČKA, Jiří. Přetrvávající zájem o laserovou difrakci. In: *Anamet Analytical and measuring and testing* [online]. Praha [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.anamet.cz/pretrvavajici-zajem-o-laserovou-difrakci/>
- [2] ŠIMEK, M., V. GRUNWALDOVÁ a B. KRATOCHVÍL. *Současné metody měření velikosti částic farmaceutických látek a jejich omezení*. 53.
- [3] KOMÁREK, P. *Technologie léků*. 2006, . ISBN 9788072624232. Dostupné také z: <https://is.muni.cz/publication/1665526/cs/Technologie-leku>
- [4] HICKEY A. J., CROWDER T. M., LOUEY M. D., Orr N. *A Guide to Pharmaceutical Particulate Science*. 1. Informa Healthcare, 2003, .
- [5] BRITTAIN, H. *Analytical Profiles of Drug Substances and Excipients*. 1st. Academic Press, 2001. ISBN 9780080861234.
- [6] KEENEN TAYLOR, John a Cheryl CIHON. *Statistical techniques for data analysis*. 2nd ed. London: Chapman & Hall/CRC, 2004. ISBN 1584883855 9781584883852 9780203492390 0203492390.
- [7] BHANDARI, Bhesh, Nidhi BANSAL, Min ZHANG a Pierre SCHUCK. 1.1 Introduction. *Handbook of Food Powders - Processes and Properties*. Woodhead Publishing, , s. 2-3. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C5B5B3/handbook-food-powders/introduction>
- [8] BHANDARI, Bhesh, Nidhi BANSAL, Min ZHANG a Pierre SCHUCK. 1.2 Crystalline and Amorphous Microstructure of Powders. *Handbook of Food Powders - Processes and Properties*. Woodhead Publishing, , s. 3-4. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C5B5B3/handbook-food-powders/introduction>
- [9] BHANDARI, Bhesh, Nidhi BANSAL, Min ZHANG a Pierre SCHUCK. 1.2.2 Amorphous Structure. *Handbook of Food Powders - Processes and Properties*. Woodhead Publishing, , s. 4-5. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C5B5B3/handbook-food-powders/introduction>
- [10] HARTEL, Richard W. Crystallization in foods. *Handbook of Industrial Crystallization* [online]. Elsevier, 2002, s. 287-304 [cit. 2022-05-05]. ISBN 9780750670128. Dostupné z: doi:10.1016/B978-075067012-8/50015-X
- [11] Amorfni struktura. In: *Molekulová fyzika a termika* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/264/01.html>
- [12] BHANDARI, Bhesh, Nidhi BANSAL, Min ZHANG a Pierre SCHUCK. 1.2.3 Mixed Structure. *Handbook of Food Powders - Processes and Properties*. Woodhead Publishing, , s. 5-6. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C5B5B3/handbook-food-powders/introduction>
- [13] BHANDARI, Bhesh, Nidhi BANSAL, Min ZHANG a Pierre SCHUCK. 1.3.1 Liquid Bridges. *Handbook of Food Powders - Processes and Properties*. Woodhead Publishing, , s. 6-7. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C5B5B3/handbook-food-powders/introduction>

- [14] *Kohezní a adhezní síly* [online]. In: . [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=129487
- [15] *Kapalinové můstky* [online]. In: . [cit. 2022-05-05].
- [16] BHANDARI, Bhesh, Nidhi BANSAL, Min ZHANG a Pierre SCHUCK. 1.3.3 Van der Waals Forces. *Handbook of Food Powders - Processes and Properties*. Woodhead Publishing, , s. 7-8. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C5B5B3/handbook-food-powders/introduction>
- [17] FENG, James a Dan HAYS. Relative importance of electrostatic forces on powder particles. *Powder Technology* [online]. 2003, **135-136**, 65-75 [cit. 2022-05-05]. ISSN 00325910. Dostupné z: doi:10.1016/j.powtec.2003.08.005
- [18] BARBOSA-CANOVAS, G.V., E. ORTEGA-RIVAS, P. JULIANO a , YAN. *Food Powders, Physical Properties, Processing, and Functionality*. New York, 2005. ISBN 978-0-387-27613-7.
- [19] Kakaové máslo. In: *Ekomania.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.ekomania.cz/kakaove-maslo-deodorizovane-250g>
- [20] Kakaový prášek. In: *Grizly.cz* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.grizly.cz/grizly-kakaovy-prasek-bio-500-g>
- [21] KOVAC, J. a S. BECKETT. The Science of Chocolate (Beckett, Stephen T.). *Journal of Chemical Education* [online]. 2002, **79(2)** [cit. 2022-05-05]. ISSN 0021-9584. Dostupné z: doi:10.1021/ed079p167.2
- [22] HRABĚ, Jan, Otakar ROP a Ignác HOZA. *Technologie výroby potravin rostlinného původu: bakalářský stupeň*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. ISBN 80-7318-372-2.
- [23] Sušené mléko. In: *Laktea, o.p.s.* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.laktea.cz/index.php?page=zdrava-vyziva&article=susene-mleko>
- [24] BUŇKA, František. *Mlékárenská technologie I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-80-7454-254-1.
- [25] Rostlinné náhražky mléka. In: *D test* [online]. Praha, 2017 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: https://www.dtest.cz/clanek-5698/rostlinne-nahrazky-mleka?gclid=CjwKCAjw682TBhATEiwA9crl3-7Ac2yuGqpKykQ_7U3APMO0ghUza9sh6HefeVrJaEeCYXoi1LZKRxoCtjYQAvD_BwE
- [26] Rostlinné nápoje. In: *Daily Sabah* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.dailysabah.com/life/food/oat-almond-or-soy-how-to-choose-a-plant-based-milk>
- [27] ZOUBKOVÁ, L. *Návody k laboratorním cvičením z pedologie*. Ústí nad Labem, 2014. Učební text. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem.
- [28] PANSU, M. a J. GAUTHEYROU. *Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. New York: Springer, 2006. ISBN 978-3-540-31210-9.
- [29] Odhad distribuce velikosti částic analytickým proséváním. *Český lékopis 2009 – Doplněk 2014*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2014, s. 420- 423.
- [30] HOLAS, O. *Granulometrie (Farmaceutická technologie)*. Hradec Králové, 2016. Učební text. Farmaceutická fakulta, Univerzita Karlova.

- [31] *Sítová analýza - třepačka* [online]. In: . [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.ilabo.cz/firmy/fritsch-vyhradni-zastoupeni-v-cr/sitova-analyza-prosevacky/analysette-3-pro/>
- [32] *Laboratorní síto* [online]. In: . [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://dratenasita.cz/produkt/laboratorni-sito-oko-355-mm-prumer-sita-200-mm-vyska-sita-50-mm/>
- [33] GÜNWALDOVÁ, a VERONIKA. *Velikost a tvar částic*. (). Dostupné také z: <https://docplayer.cz/4283922-Velikost-a-tvar-castic.html>
- [34] *Air - jet* [online]. In: . [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.retsch.cz/cz/produkty/sitovani/analyticke-sitovaci-stroje/as-200-jet/funkce-a-charakteristiky/>
- [35] *Ruční síto* [online]. In: . [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.tescoma.cz/rucni-sito-delicia-18-cm>
- [36] GREGOROVÁ, E. a W. PABST. *Charakterizace částic a částicových soustav* [online]. Praha, 2007 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/sil/keramika/Characterization_of_particles/CPPS%20_Czech%20version_.pdf. Studijní materiály. VŠCHT Praha.
- [37] ZÁRYBNICKÁ, M. a J. POSPÍŠIL. *Možnosti stanovení velikosti tuhých částic* [online]. In: . s. 128 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2012/15_ZARYBNICKA.pdf
- [38] Laserový analyzátor. In: *Microtrac.cz* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.microtrac.cz/cz/produkty/analiza-velikosti-a-tvaru-castic/laserova-difrakce/sync/>
- [39] ZÁRYBNICKÁ, M. *Comparison of sieve analysis and laser diffraction for size distribution of fine ash particles* [online]. Brno, 2012 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <http://147.229.133.8/file/361?file=361&lang=1>. Vědecký poster.
- [40] JOHNSON, C. a D. GABRIEL. *Laser Light Scattering*. New York: Dover, 1994. ISBN 9781351076814.
- [41] INFO@SABRE.CZ, Sabre, a Věra KAŠPÁRKOVÁ. *Dynamický rozptyl světla | Technický týdeník*. Praha, 2015, (). Dostupné také z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-medicinska-technika/dynamicky-rozptyl-svetla_30935.html
- [42] FERNANDES, Vanessa, Alejandro MÜLLER a Aleida SANDOVAL. Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. *Journal of Food Engineering* [online]. 2013, **116**(1), 97-108 [cit. 2022-05-05]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.12.002
- [43] KALIC, M., V. KRSTONOSIC, M. HADNADEV, S. GREGERSEN, N. JOVANOVIĆ LJESKOVIC a L. WIKING. Impact of different sugar and cocoa powder particle sizes on crystallization of fat used for the production of confectionery products. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2018, **42**(12) [cit. 2022-05-05]. ISSN 0145-8892. Dostupné z: doi:10.1111/jfpp.13848
- [44] SVANBERG, L., L. AHRNÉ, N. LORÉN a E. WINDHAB. Effect of pre-crystallization process and solid particle addition on microstructure in chocolate model systems. *Food Research International* [online]. 2011, **44**(5), 1339-1350 [cit. 2022-05-05]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2011.01.018
- [45] AFOAKWA, E., A. PATERSON, M. FOWLER a J. VIEIRA. Characterization of melting properties in dark chocolates from varying particle size distribution and

- composition using differential scanning calorimetry. *Food Research International* [online]. 2008, **41**(7), 751-757 [cit. 2022-05-05]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2008.05.009
- [46] *Analytické váhy KERN - ABS* [online]. In: . [cit. 2022-05-05].
- [47] Sieving methods of sieve analysis. In: *Retsch* [online]. 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.retsch.com/applications/knowledge-base/sieve-analysis/>
- [48] *Třídíč částic Fritsch Analysette 28 ImageSizer* [online]. In: . [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/particle-sizing/dynamic-image-analysis/details/product/particle-sizer-analysette-28-imagesizer/>
- [49] Particle sizer Fritsch Analysette 28 ImageSizer. In: *Fritsch* [online]. 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/particle-sizing/dynamic-image-analysis/details/product/particle-sizer-analysette-28-imagesizer/>
- [50] *Bi-telecentrické čočky* [online]. In: . [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/particle-sizing/dynamic-image-analysis/details/product/particle-sizer-analysette-28-imagesizer/>
- [51] *Určování distribuční funkce podle velikosti částic mouky sítovou analýzou*. Zlín, 2021. Učební text. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta Technologická.

Seznam použitých symbolů a zkratk

Např. například

Tzn. to znamená

Tzv. takzvané

Zn. značka

č. číslo

m hmotnost

d průměr

r poloměr

g gram

mm milimetr

ml mililitr

μm mikrometr

% procento

m/m hmotnostní procento

% hm. hmotnostní procento

MPa megapascal

$\sqrt{\quad}$ odmocnina

Fwr diferenciální rozdělovací funkce

Iwr integrální rozdělovací funkce

Qwr doplňková rozdělovací funkce

R hodnoty křivky rozsevu

P hodnoty křivky propadu

$F_w(r) \cdot dr$ podíl hmotnosti frakce částic s rozměrem r ku celkové hmotnosti částic v systému

DVČ distribuce velikosti částic

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č.1 Příklady potravinářských prášků.....	14
Obrázek č.2 Amorfni látka.....	16
Obrázek č. 3 Kohezni a adhezni síly.....	17
Obrázek č.4 Kapalinové mústky.....	18
Obrázek č.5 Kakaové máslo.....	21
Obrázek č. 6 Kakaový prášek.....	21
Obrázek č. 7 Sušené mléko.....	22
Obrázek č. 8 Schéma technologického postupu sušení mléka.....	23
Obrázek č. 9 Rostlinné nápoje.....	24
Obrázek č. 10 Sítová analýza – třepačka.....	27
Obrázek č. 11 Laboratorní síto.....	28
Obrázek č. 12 Air-jet.....	28
Obrázek č. 13 Ruční síto.....	29
Obrázek č. 14 Stokesův zákon.....	30
Obrázek č. 15 Laserový analyzátor.....	32
Obrázek č. 16 Sítová třepačka Fritsch Vibratory sieve shaker Analysette 3.....	43
Obrázek č. 17 Sítová třepačka Fritsch Vibratory sieve shaker Analysette 3.....	43
Obrázek č. 18 Analytické váhy KERN ABS.....	44
Obrázek č. 19 Třidič částic Fritsch Analysette 28 ImageSizer.....	45
Obrázek č. 20 Sběrná nádoba třidiče částic.....	46
Obrázek č. 21 Bi – telecentrické čočky.....	47
Obrázek č. 22 Odečet hodnoty MODUS – Marila kakao.....	67
Obrázek č. 23 Odečet hodnoty MODUS – Manner kakao.....	67
Obrázek č. 24 Odečet hodnoty MODUS – plnotučné sušené mléko Bohemilk.....	68
Obrázek č. 25 Odečet hodnoty MODUS – kokosový nápoj.....	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka č.1 Příklady terminologie používané v rámci kategorií potravinářských prášků ...	13
Tabulka č.2 Možnosti mezi částicové interakce v prášcích.....	19
Tabulka č. 3 Průměrné naměřené hodnoty – holandské kakao zn. Marila.....	49
Tabulka č. 4 Průměrné naměřené hodnoty – kakao zn. Manner.....	49
Tabulka č. 5 Průměrné naměřené hodnoty – sušené mléko plnotučné zn. Bohemilk.....	50
Tabulka č.6 Průměrné naměřené hodnoty – sušený kokosový nápoj zn. Topnatur.....	50
Tabulka č.7 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – holandské kakao zn. Marila	55
Tabulka č.8 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – kakao zn. Manner.....	55
Tabulka č.9 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – sušené mléko plnotučné zn. Bohemilk.....	56
Tabulka č.10 Průměrné hodnoty hmotností jednotlivých frakcí – sušený kokosového nápoje zn. Topnatur.....	56
Tabulka č.11 Hodnoty křivky rozsevu holandské kakao zn. Marila.....	57
Tabulka č.12 Hodnoty křivky rozsevu kakao zn. Manner.....	57
Tabulka č.13 Hodnoty křivky rozsevu sušeného plnotučného mléka zn. Bohemilk.....	58
Tabulka č.14 Hodnoty křivky rozsevu sušený kokosový nápoj zn. Topnatur.....	58
Tabulka č. 15 Hodnoty křivky propadu – holandské kakao zn. Marila.....	60
Tabulka č. 16 Hodnoty křivky propadu – kakao zn. Manner.....	61
Tabulka č. 17 Hodnoty křivky propadu – sušené plnotučné mléko zn. Bohemilk.....	61
Tabulka č. 18 Hodnoty křivky propadu – sušený kokosový nápoj zn. Topnatur.....	61
Tabulka č.19 Hodnoty 1. a 2. derivace – Marila kakao.....	63
Tabulka č. 20 Hodnoty 1. a 2. derivace – kakao Manner.....	64
Tabulka č. 21 Hodnoty 1. a 2. derivace – sušené plnotučné mléko Bohemilk.....	64
Tabulka č. 22 Hodnoty 1. a 2. derivace – sušený kokosový nápoj zn Topnatur.....	64
Tabulka č. 23 Střední hodnoty velikosti částic pro všechny měřené vzorky vč. směrodatné odchyly.....	69
Tabulka č. 24 Naměřené hodnoty pomocí laserové difrakce – holandské kakao Marila	70
Tabulka č. 25 Střední hodnoty velikosti částic – laserová difrakce.....	73

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 Grafické vyjádření laserové difrakce – distribuce velikosti částic.....	33
Graf č. 2 Integrální funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Marila.....	51
Graf č. 3 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Marila.....	51
Graf č.4 Integrální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Manner	52
Graf č.5 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – Manner.....	52
Graf č. 6 Integrální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – plnotučné Bohemilk.....	53
Graf č. 7 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – plnotučné Bohemilk.....	53
Graf č. 8 Integrální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – kokosový nápoj.....	54
Graf č. 9 Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr – průměrné hodnoty – kokosový nápoj.....	54
Graf č. 10 Křivka rozsevu – Marila kakao.....	58
Graf č. 11 Křivka rozsevu – Manner kakao.....	59
Graf č. 12 Křivka rozsevu – sušené plnotučné mléko Bohemilk.....	59
Graf č. 13 Křivka rozsevu – Kokosový nápoj.....	60
Graf č. 14 křivka propadu – Marila kakao.....	62
Graf č. 15 Křivka propadu – Manner kakao.....	62
Graf č. 16 Křivka propadu – Bohemilk plnotučné sušené mléko.....	63
Graf č. 17 Graf druhé derivace – Marila kakao.....	65
Graf č. 18 Graf druhé derivace – Manner kakao.....	65
Graf č. 19 Graf druhé derivace – Bohemilk plnotučné sušené mléko.....	66
Graf č. 20 Graf druhé derivace – kokosový nápoj.....	66
Graf č. 21 Graf pro naměřené hodnoty laserové difrakce – holandské kakao Marila.....	70
Graf č. 22 Graf distribuce částic v závislosti na poměru stran.....	71
Graf č. 23 Maximální Feretův průměr.....	72
Graf č. 24 Minimální Feretův průměr.....	72
Graf č. 25 Graf plošně ekvivalentního průměru.....	73

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Kakao holandského typu zn. Marila

Příloha P II: Kakao holandského typu klasické zn. Dr. Oetker

Příloha P III: Kakao holandského typu zn. Kávoviny

Příloha P IV: Trink cacao zn. Manner

Příloha P V: Sušené mléko polotučné zn. BoheMilk

Příloha P VI: Sušené mléko plnotučné zn. BoheMilk

Příloha P VII: Caro original rozpustný cereální nápoj zn. Nestlé

Příloha P VIII: Pohankový nápoj sušený natural zn. TopNatur

Příloha P IX: Kokosový nápoj sušený natural zn TopNatur

Příloha P X: Sójový nápoj sušený extra protein zn. TopNatur

Příloha P XI: Rýžový nápoj sušený natural zn. TopNatur

Příloha P XII Průměrné hodnoty diferenciální rozdělovací funkce a doplňkové a integrální funkce pro vzorek č.2 – Holandské kakao Dr. Oetker

Příloha P XIII Průměrné hodnoty hmotnosti jednotlivých frakcí, Křivka rozsevu a propadu, Křivka druhé derivace pro vzorek č.2 – Holandské kakao Dr. Oetker

Příloha P XIV Průměrné hodnoty diferenciální rozdělovací funkce a doplňkové a integrální funkce pro vzorek č.3 – Holandské kakao zn. Kávoviny

Příloha P XV Průměrné hodnoty hmotnosti jednotlivých frakcí, Křivka rozsevu a propadu, Křivka druhé derivace pro vzorek č.3 – Holandské kakao zn. Kávoviny

Příloha P XVI Průměrné hodnoty diferenciální rozdělovací funkce a doplňkové a integrální funkce pro vzorek č.4 – Nestlé Caro

Příloha P XVII Průměrné hodnoty hmotnosti jednotlivých frakcí, Křivka rozsevu a propadu, Křivka druhé derivace pro vzorek č.4 – Nestlé caro

Příloha P XVIII Průměrné hodnoty diferenciální rozdělovací funkce a doplňkové a integrální funkce pro vzorek č.6 – sušené mléko polotučné zn. Bohemilk

Příloha P XIX Průměrné hodnoty hmotnosti jednotlivých frakcí, Křivka rozsevu a propadu, Křivka druhé derivace pro vzorek č.6 – sušené mléko polotučné zn. Bohemilk

Příloha P XX Průměrné hodnoty diferenciální rozdělovací funkce a doplňkové a integrální funkce pro vzorek č.8 – Pohankový instantní nápoj zn. Topnatur

Příloha P XXI Průměrné hodnoty hmotnosti jednotlivých frakcí, Křivka rozsevu a propadu, Křivka druhé derivace pro vzorek č.8 – pohankový instantní nápoj zn. Topnatur

Příloha P XXII Průměrné hodnoty diferenciální rozdělovací funkce a doplňkové a integrální funkce pro vzorek č.10 – sójový instantní nápoj zn. Topnatur

Příloha P XXIII Průměrné hodnoty hmotnosti jednotlivých frakcí, Křivka rozsevu a propadu, Křivka druhé derivace pro vzorek č.10 – sójový instantní nápoj zn. Topnatur

Příloha P XXIV Průměrné hodnoty diferenciální rozdělovací funkce a doplňkové a integrální funkce pro vzorek č.11 – rýžový instantní nápoj zn. Topnatur

Příloha P XXV Průměrné hodnoty hmotnosti jednotlivých frakcí, Křivka rozsevu a propadu, Křivka druhé derivace pro vzorek č.11 – rýžový instantní nápoj zn. Topnatur

Příloha P XXVI Výsledky měření laserovou difrakcí – kakao zn. Manner

Příloha P XXVII výsledky měření laserovou difrakcí – sušené mléko plnotučné zn. Bohemilk

Příloha P XXVIII výsledky měření laserovou difrakcí – instantní nápoj kokosový zn. Topnatur

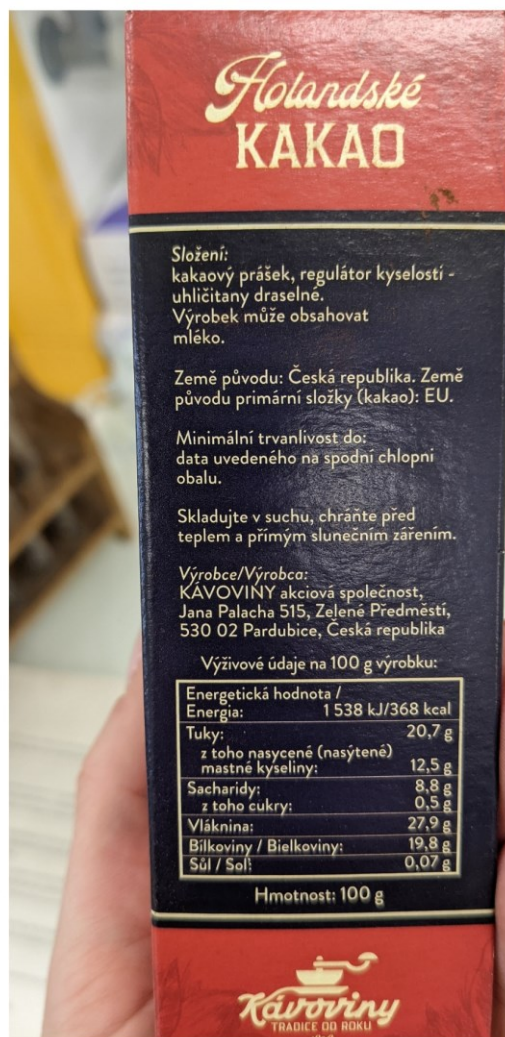
PŘÍLOHA P I: KAKAO HOLANDSKÉHO TYPU ZN. MARILA



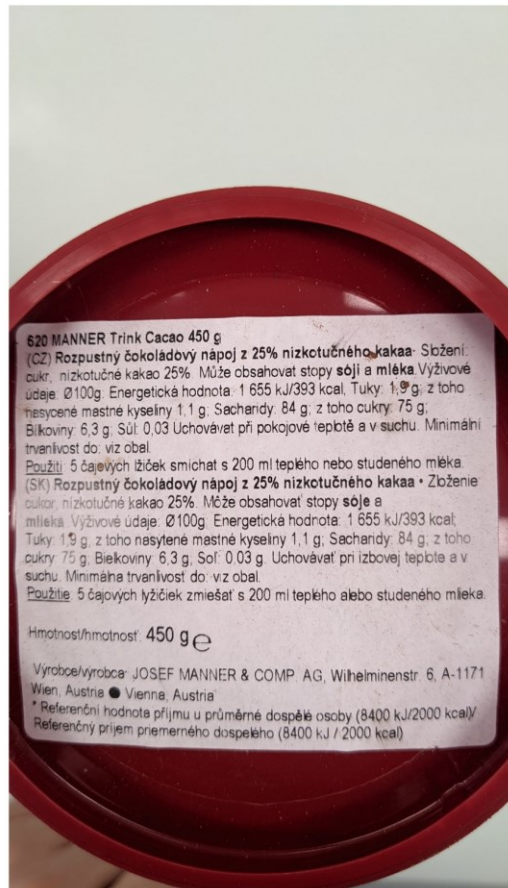
PŘÍLOHA P II: HOLANDSKÉ KAKAO KLASICKÉ ZN. DR. OETKER



PŘÍLOHA P III: HOLANDSKÉ KAKAO ZN. KÁVOVINY



PŘÍLOHA P IV: TRINK CACAO ZN. MANNER



PŘÍLOHA P V: SUŠENÉ MLÉKO POLOTUČNÉ ZN. BOHEMILK



POLOTUČNÉ snadno rozpustné

(GB) Skim milk powder BOHEMILK is made of best-quality pasteurized milk. An extensive inspection system ensures steady product quality. It should be used anywhere you need milk – to make coffee, cocoa, soups, sauces, dough, paste, pudding, etc.

Preparation:
Add 5 to 6 teaspoons (1 heaping teaspoon is approximately 5,5 g of powder) of powdered milk into 200 ml of drinking water of temperature 40 – 50 °C hot and stir it. Milk prepared in this way does not need to be cooked.

Recommended dilution ratio:
1 part of powder and 7 parts of water

Use the content within 2 weeks after opening the bag, it's suitable for infants up 12 months of age.*

Makes 2.8 litres of half fat milk 1,5 %.

(RUS) Сухое молоко БОГЕМИЛК изготовлено из качественного пастеризованного молока. Обширная система контроля гарантирует идеально постоянную качество. Мы используем его всюду там, где нужно молоко – для приготовления кофе с молоком, супов, соусов, теста, каш, пудингов и др.

Инструкция для приготовления:
5 – 6 чайных ложек (1 чайная ложка с верхом содержит приблизительно 5,5 г порошка) сухого молока БОГЕМИЛК "BOHEMILK" размешайте в 200 мл питьевой воды нагретой до 40 – 50 °С. Молоко, приготовленное таким способом, уже не надо кипятить.

Рекомендуемое разбавление:
1 часть порошка – 7 частей воды

Содержимое упаковки израсходуйте в течение 2 недель со дня ее открытия. *Предназначено для питания младенцев с 12 месяцев.*

Из этой упаковки вы можете получить 2,8 л качественного полужирного молока с содержанием жира 1,5 %.

Skim Milk powder **BOHE MILK** **Сухое молоко**

MLÉKÁRNA OPOČNO 1936

Perfect for drinks, desserts, cooking, just add water. Продукт пригоден для приготовления напитков, десертов и для готовки пищи. Достаточно добавить воды.

Muzivné údaje na 100 g / Nutritional information per 100 g / Средняя питательная ценность 100 г	
Energie/Energy/Энергетическая ценность:	1810 kJ/430 kcal/1810 кДж/430 ккал
Tuky/Fat – Total/Жиры	14g/14 g
z toho nasycené/nasytené mastné kyseliny/ Fat – Saturated/s.t.c. насыщенные жирные кислоты	9,3 g/9,3 g
Sacharidy/Carbohydrates/Сахариды	45 g/45 g
z toho cukry/Sugars/s.t.c. сахар	45 g/45 g
Bilkoviny/Belekoviny/Протеин/Белки	31 g/31 g
Sůl/Sol /Salt/Соль	1,0 g/1,0 g

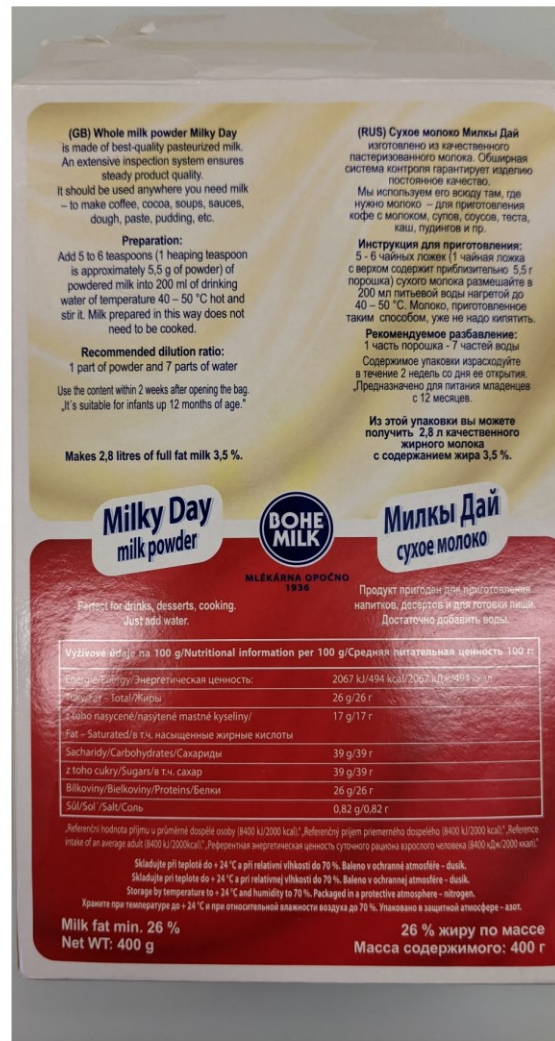
*Referenční hodnota příjmu u průměrné dospělé osoby (8400 kJ/2000 kcal). *Референция энергетическая ценность суточного рациона взрослого человека (8400 кДж/2000 ккал). *Referenz intake of an average adult (8400 kJ/2000 kcal).

Skladujte při teplotě do +24 °C a při relativní vlhkosti do 70 %. Baleno v ochranné atmosféře – dusík. Storage by temperature to +24 °C and humidity to 70 %. Packaged in a protective atmosphere – nitrogen.

Хранить при температуре до +24 °C и при относительной влажности воздуха до 70 %. Упаковано в защитной атмосфере – азот.

Milk fat min. 14% **14% жиру по массе**
Net WT: 400 g **Масса содержимого: 400 г**

PŘÍLOHA P VI: SUŠENÉ MLÉKO PLNOTUČNÉ ZN. BOHEMILK



PŘÍLOHA P VII: CARO ORIGINAL – ROZPUSTNÝ CEREÁLNÍ NÁPOJ ZN. NESTLÉ



**PŘÍLOHA P VIII: POHANKOVÝ NÁPOJ SUŠENÝ NATURAL ZN.
TOPNATUR**



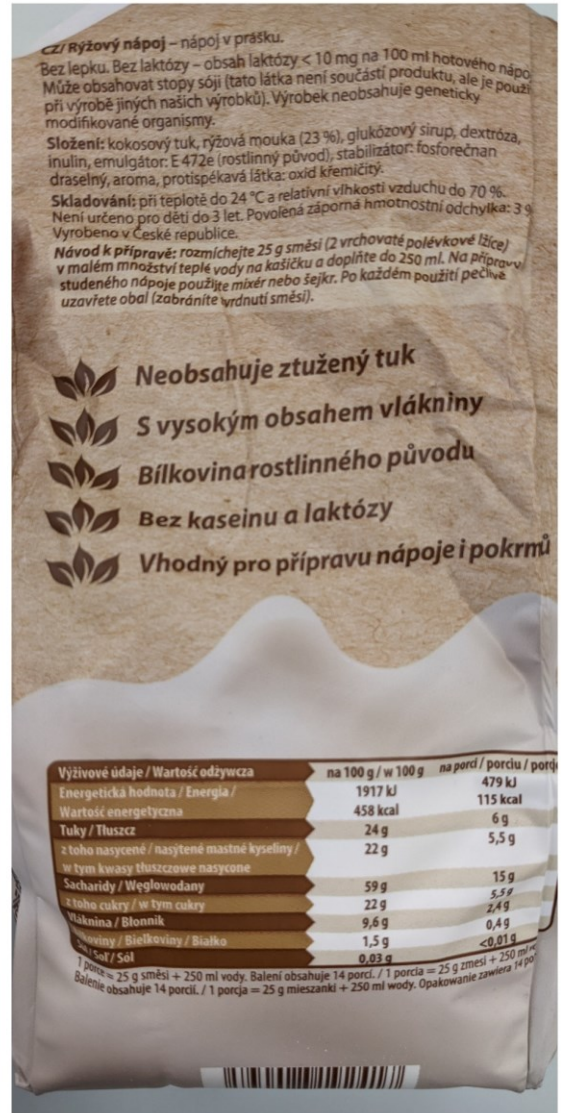
**PŘÍLOHA P IX: KOKOSOVÝ NÁPOJ SUŠENÝ NATURAL ZN.
TOPNATUR**



PŘÍLOHA P X: SÓJOVÝ NÁPOJ SUŠENÝ EXTRA PROTEIN ZN. TOPNATUR

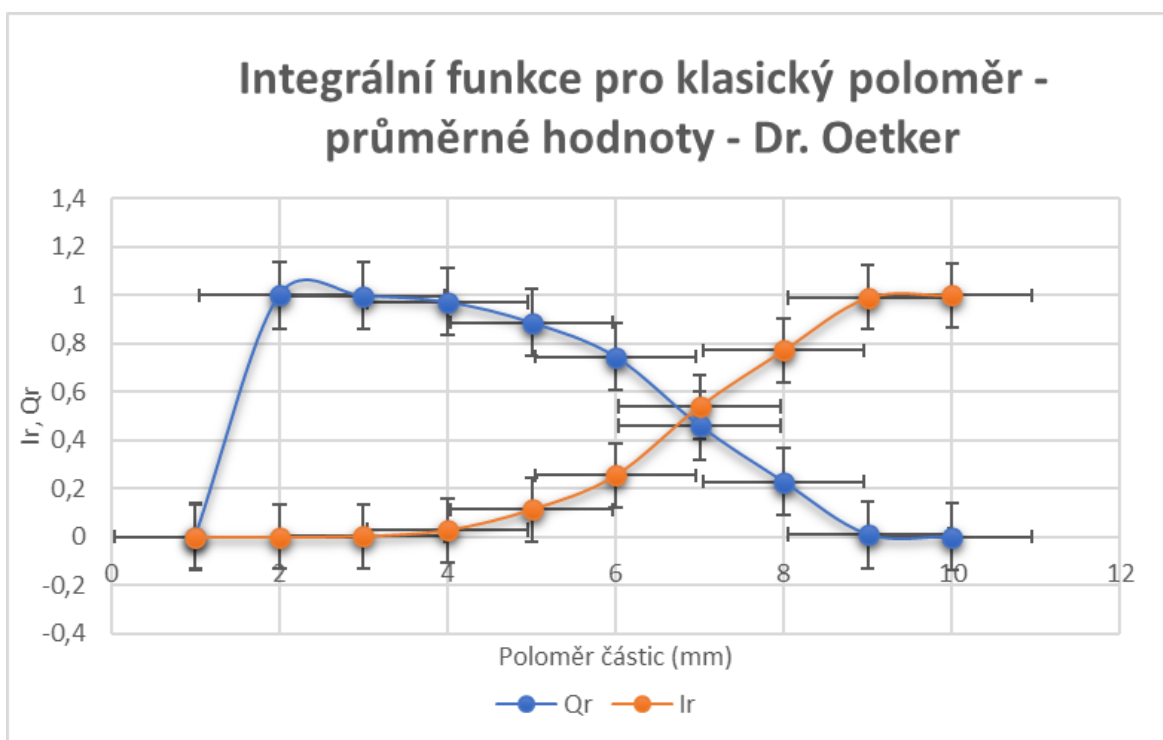


**PŘÍLOHA P XI: RÝŽOVÝ NÁPOJ SUŠENÝ NATURAL ZN.
TOPNATUR**

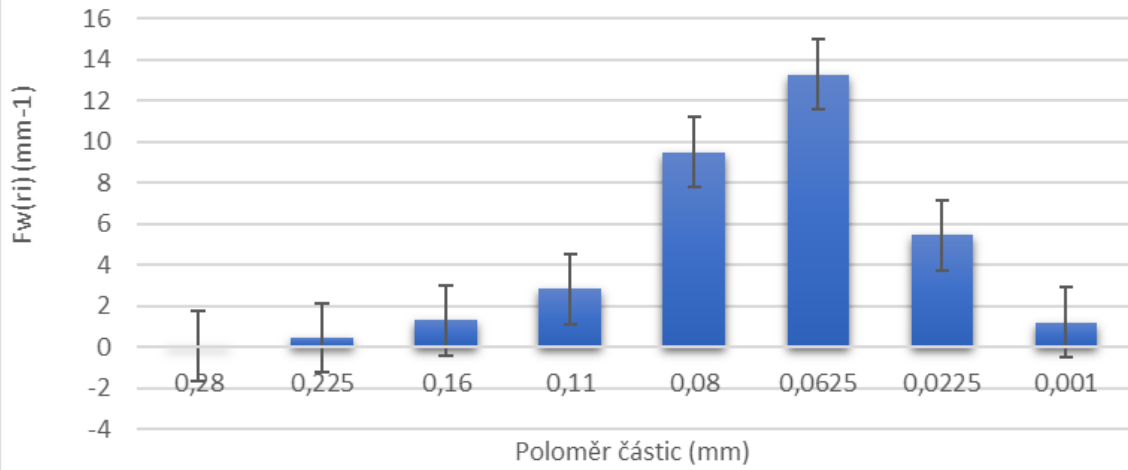


**PŘÍLOHA P XII PRŮMĚRNÉ HODNOTY DIFERENCIÁLNÍ
ROZDĚLOVACÍ FUNKCE A DOPLŇKOVÉ A INTEGRÁLNÍ
FUNKCE PRO VZOREK Č.2 – HOLLANDKÉ KAKAO DR. OETKER**

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	Iwr
0,2594	0,71	0,355			0,9967	0,013339
1,4328	0,56	0,28	0,075	0,126292	0,9874	0,02265
2,0046	0,45	0,225	0,055	0,234509	0,9748	0,035166
27,6771	0,32	0,16	0,065	2,953311	0,7821	0,228032
49,40243	0,22	0,11	0,05	6,887977	0,4359	0,574815
42,14023	0,16	0,08	0,03	9,260928	0,1619	0,84759
39,3701	0,125	0,0625	0,0175	10,48998	0,0072	0,992671
0,810833	0,045	0,0225	0,04	0,169459	0,0000	0,999989
0,001633	0,028	0,001	0,0085	0,001301	0,0000	1
162,8397						



Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr - průměrné hodnoty - Dr. Oetker



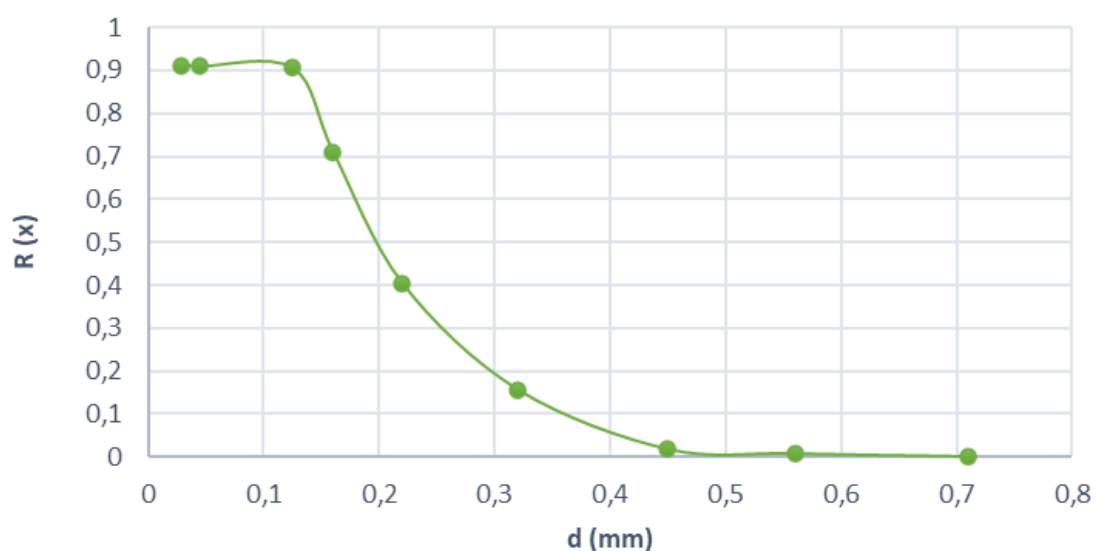
**PŘÍLOHA P XIII PRŮMĚRNÉ HODNOTY HMOTNOSTI
JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ, KŘIVKA ROZSEVU A PROPADU,
KŘIVKA DRUHÉ DERIVACE PRO VZOREKČ.2 – HOLANDKÉ
KAKAO DR. OETKER**

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,2116	0,3531	0,2135	0,2594
2.	0,56	1,1189	1,5889	1,5906	1,4328
3.	0,45	1,2552	2,3785	2,3801	2,0046
4.	0,32	29,4493	26,7903	26,7917	27,6771
5.	0,22	54,0972	47,0527	47,0574	49,40243
6.	0,16	32,2026	47,1083	103,9439	61,08493
7.	0,125	25,719	15,1597	77,2316	39,3701
8.	0,045	1,8708	0,2815	0,2802	0,810833
9.	0,028	0,0021	0,0011	0,0017	0,001633

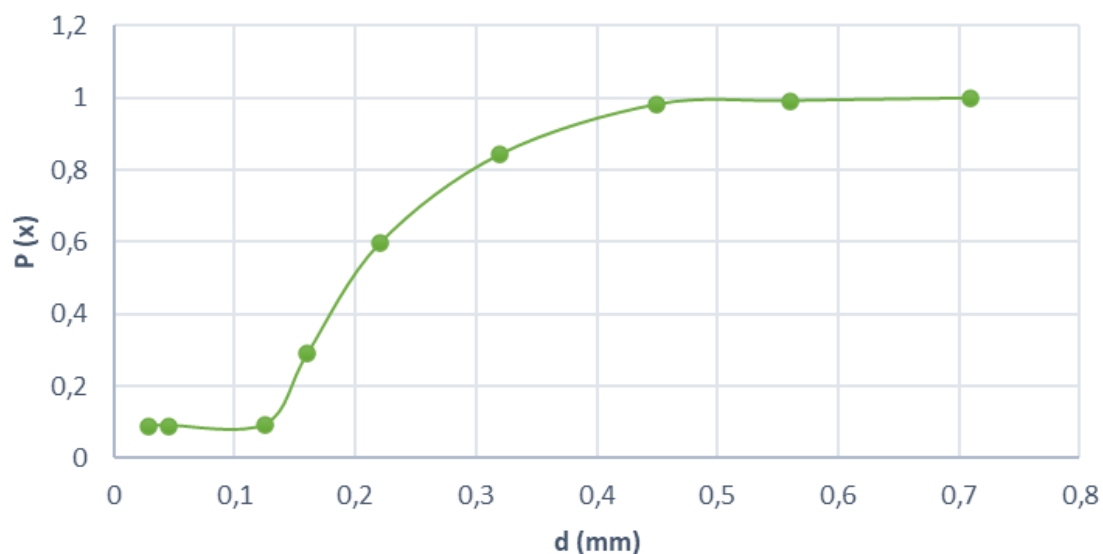
Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,001297
2.	0,56	0,008461
3.	0,45	0,018484
4.	0,32	0,1568695
5.	0,22	0,403881667
6.	0,16	0,709306333
7.	0,125	0,906156833
8.	0,045	0,910211
9.	0,028	0,910219167

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,998703
2.	0,56	0,991539
3.	0,45	0,981516
4.	0,32	0,8431305
5.	0,22	0,596118333
6.	0,16	0,290693667
7.	0,125	0,093843167
8.	0,045	0,089789
9.	0,028	0,089780833

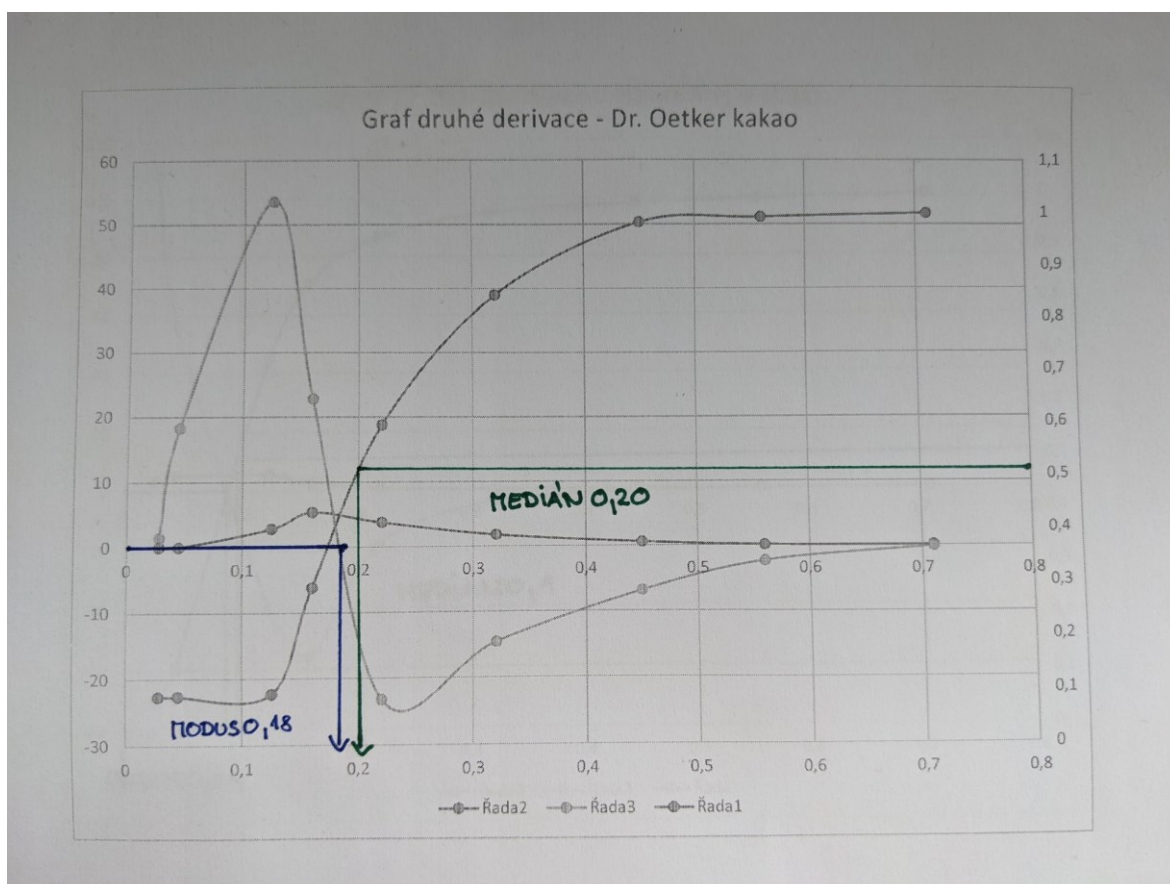
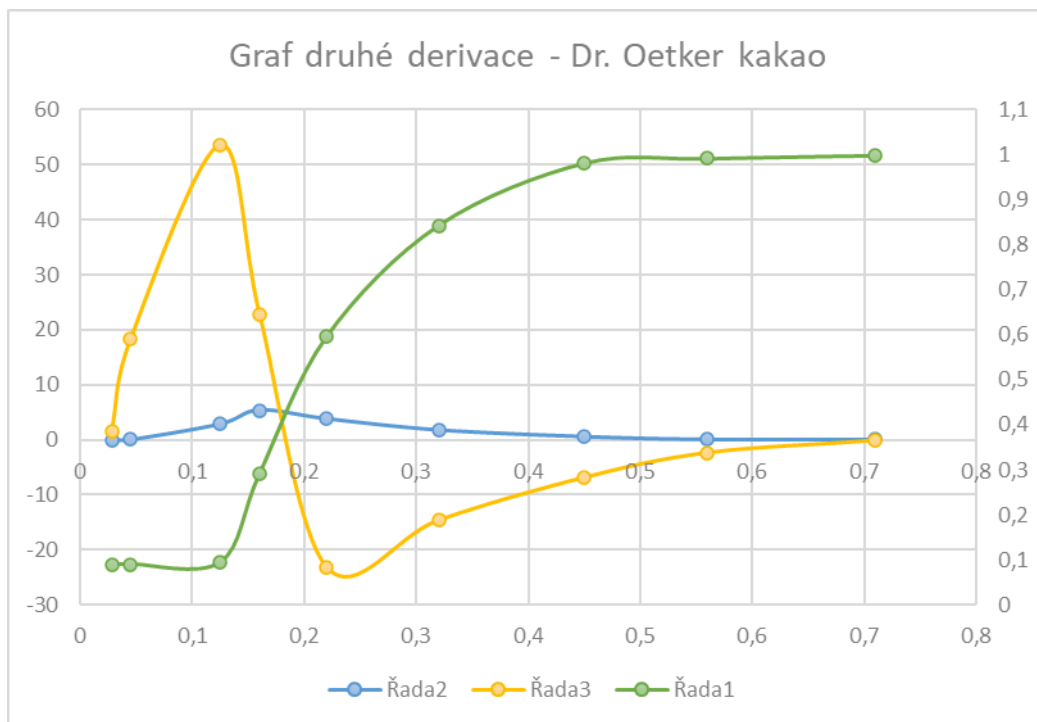
Křivka rozsevu - Dr. Oetker kakao



Křivka propadu - Dr. Oetker kakao

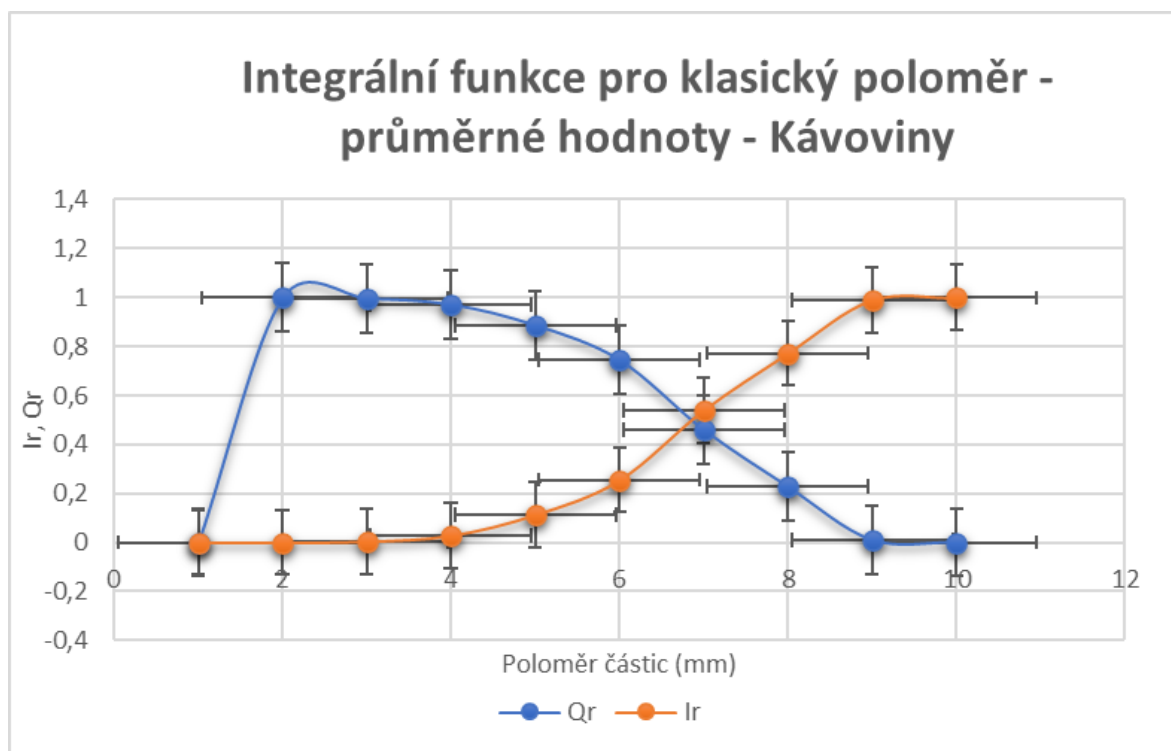


Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,9987	0,04776	-0,14453
0,56	0,99154	0,06944	-2,38305
0,45	0,98152	0,57781	-6,88579
0,32	0,84313	1,76731	-14,63977
0,22	0,59612	3,78027	-23,20718
0,16	0,29069	5,35736	22,85569
0,125	0,09384	2,83749	53,57254
0,045	0,08979	0,02558	18,31262
0,028	0,08978	4,80E-04	1,47637

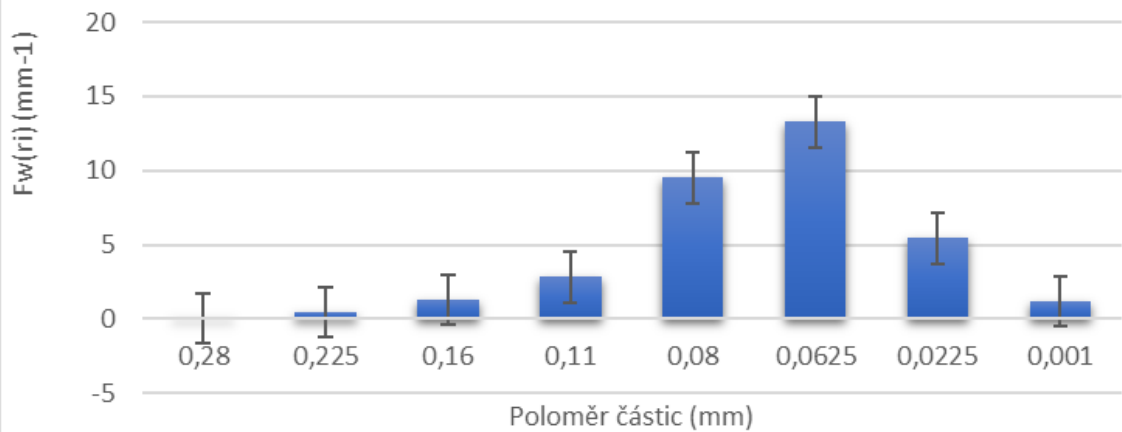


**PŘÍLOHA P XIV PRŮMĚRNÉ HODNOTY DIFERENCIÁLNÍ
ROZDĚLOVACÍ FUNKCE A DOPLŇKOVÉ A INTEGRÁLNÍ
FUNKCE PRO VZOREK Č.3 – HOLLANDKÉ KAKAO ZN.
KÁVOVINY**

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	Iwr
0,428033	0,71	0,355			1	0
0,794433	0,56	0,28	0,075	0,114304	0,991427	0,008573
0,8925	0,45	0,225	0,055	0,171773	0,98198	0,01802
1,6028	0,32	0,16	0,065	0,259344	0,965122	0,034878
4,616733	0,22	0,11	0,05	0,966891	0,916778	0,083222
8,6921	0,16	0,08	0,03	3,039932	0,82558	0,17442
14,2171	0,125	0,0625	0,0175	8,643385	0,674321	0,325679
57,36837	0,045	0,0225	0,04	15,28865	0,062775	0,937225
5,930033	0,028	0,001	0,0085	7,385241	0	0
96,1318						



Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr - průměrné hodnoty - Kávoviny



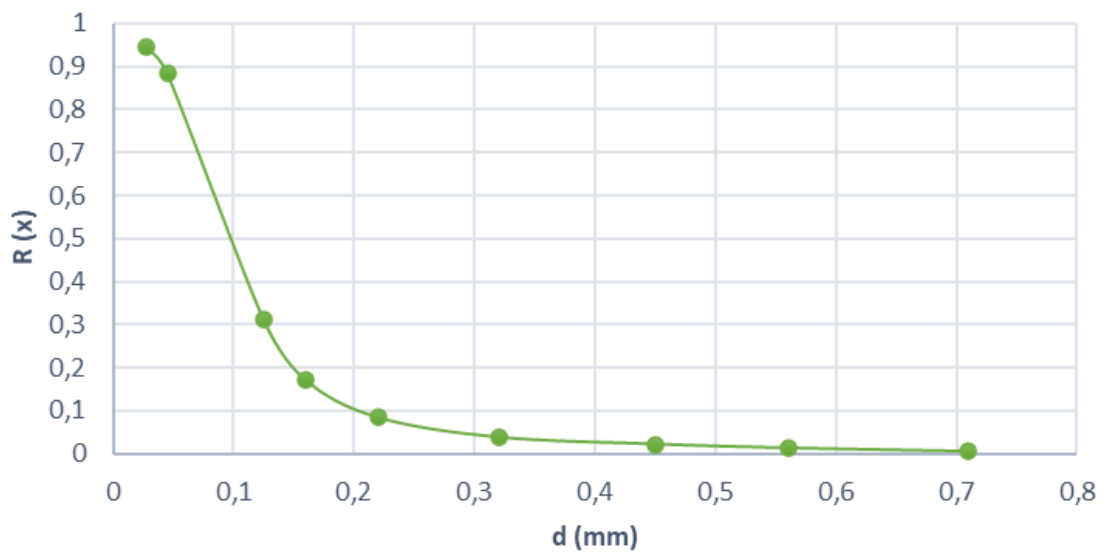
**PŘÍLOHA P XV PRŮMĚRNÉ HODNOTY HMOTNOSTI
JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ, KŘIVKA ROZSEVU A PROPADU,
KŘIVKA DRUHÉ DERIVACE PRO VZOREK Č.3 – HOLANDSKÉ
KAKAO ZN. KÁVOVINY**

Navážka(g)	100				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,4068	0,464	0,4133	0,428033
2.	0,56	0,5298	1,327	0,5265	0,794433
3.	0,45	0,9875	0,7008	0,9892	0,8925
4.	0,32	2,0071	0,7896	2,0117	1,6028
5.	0,22	6,2423	1,3634	6,2445	4,616733
6.	0,16	11,3757	3,3323	11,3683	8,6921
7.	0,125	14,0968	14,456	14,0985	14,2171
8.	0,045	54,3239	63,4527	54,3285	57,36837
9.	0,028	6,558	4,6675	6,5646	5,930033

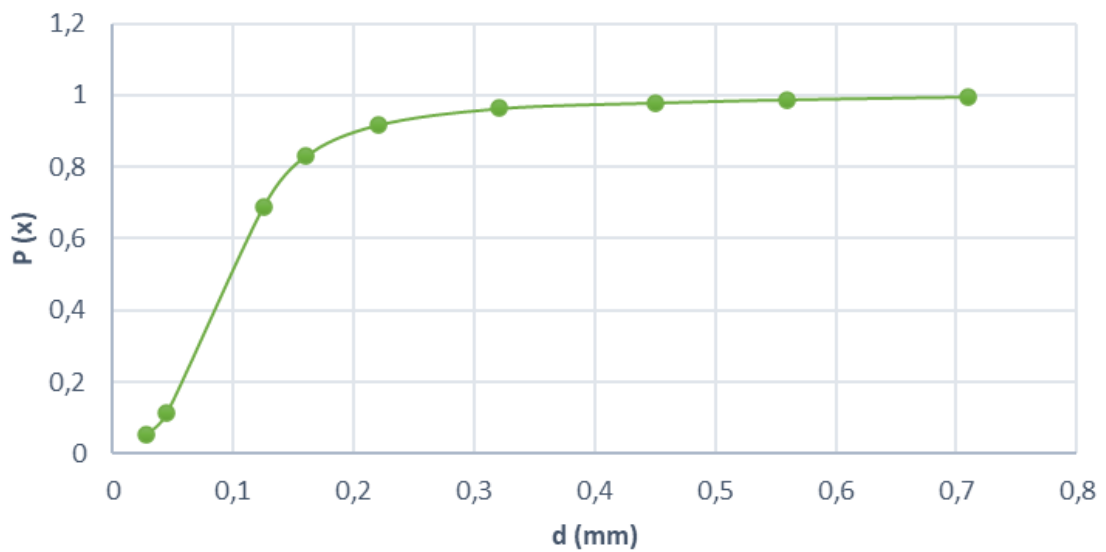
Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,004280333
2.	0,56	0,012224667
3.	0,45	0,021149667
4.	0,32	0,037177667
5.	0,22	0,083345
6.	0,16	0,170266
7.	0,125	0,312437
8.	0,045	0,886120667
9.	0,028	0,945421

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,995719667
2.	0,56	0,987775333
3.	0,45	0,978850333
4.	0,32	0,962822333
5.	0,22	0,916655
6.	0,16	0,829734
7.	0,125	0,687563
8.	0,045	0,113879333
9.	0,028	0,054579

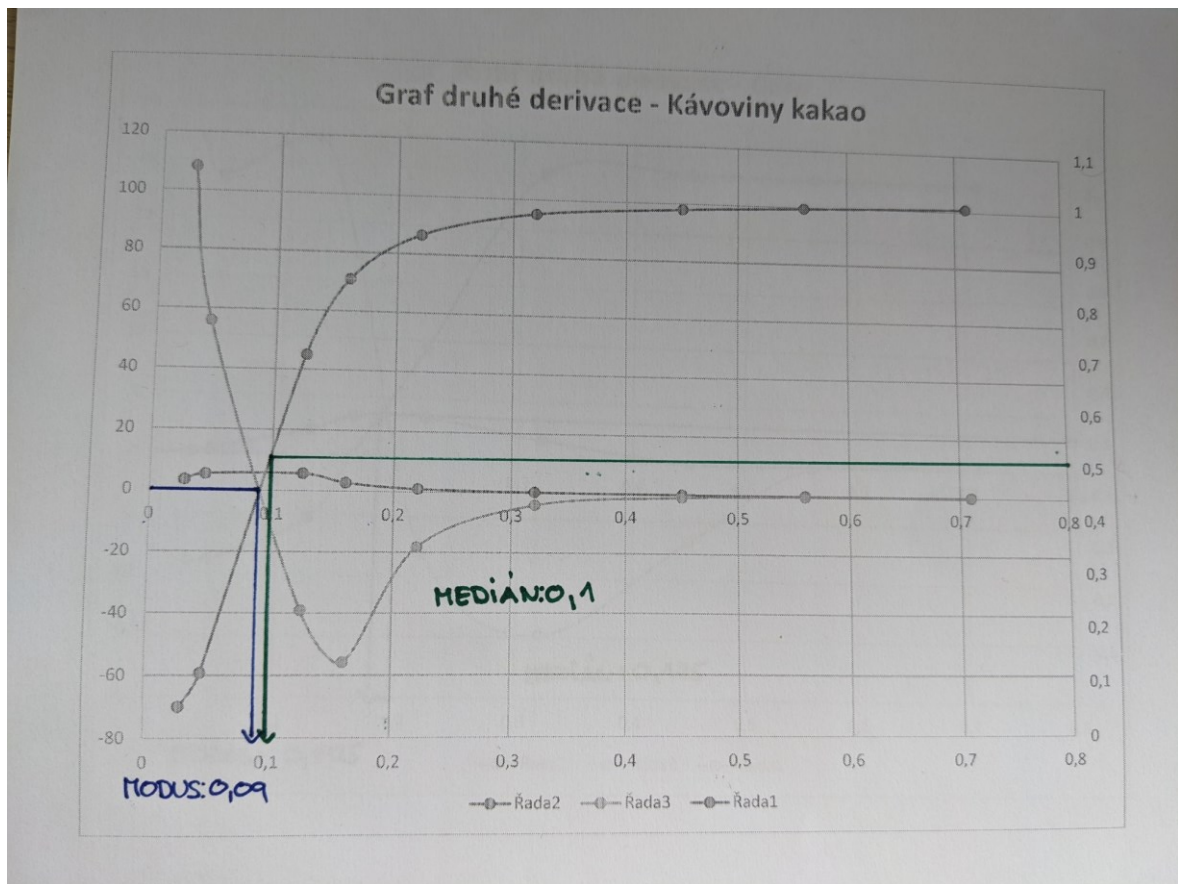
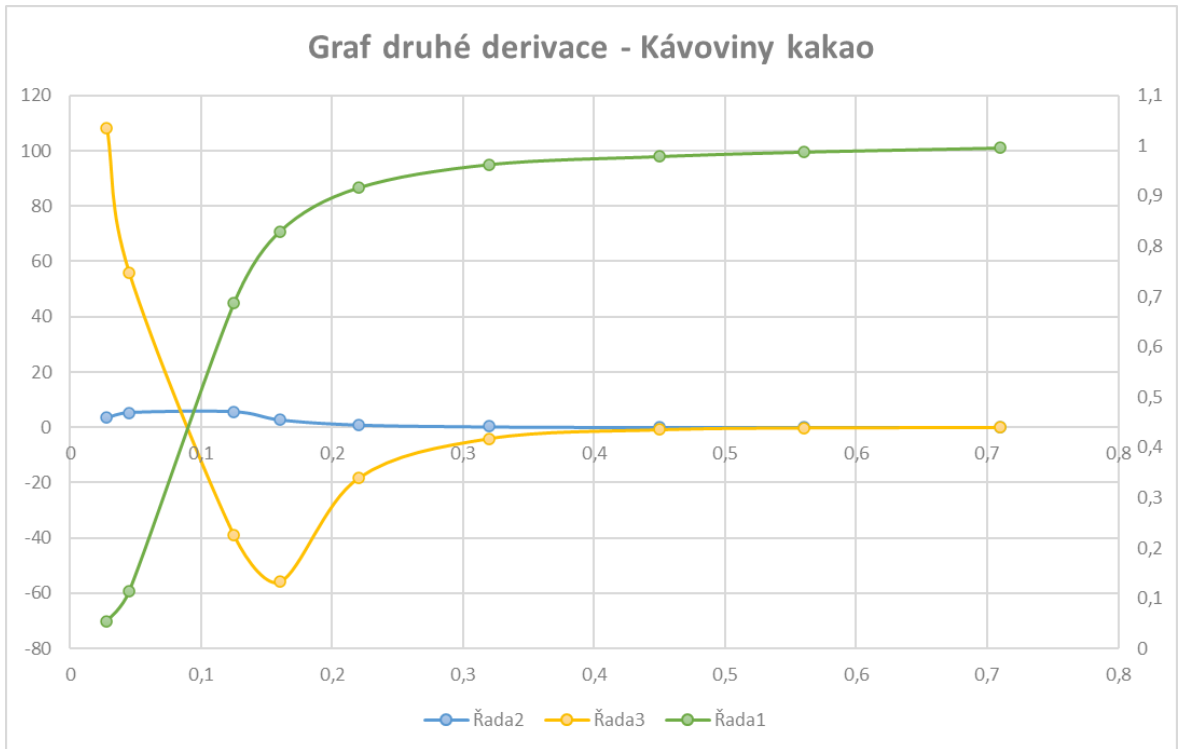
Křivka rozsevu - Kávoviny kakao



Křivka propadu - Kávoviny kakao

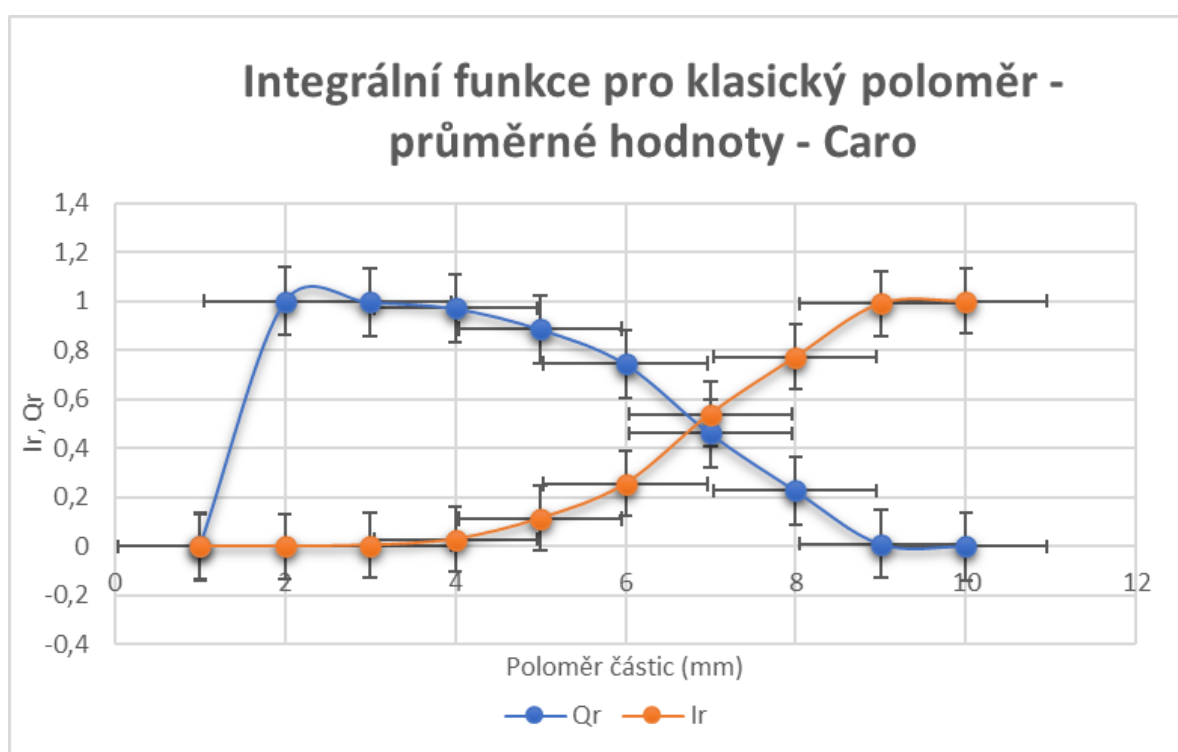


Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,99572	0,05296	-0,09391
0,56	0,98778	0,06705	-0,2068
0,45	0,97885	0,10221	-0,89164
0,32	0,96282	0,29248	-4,04528
0,22	0,91666	0,95518	-18,31496
0,16	0,82973	2,75536	-55,8755
0,125	0,68756	5,61654	-39,08098
0,045	0,11388	5,32965	55,95173
0,028	0,05458	3,48825	108,31738

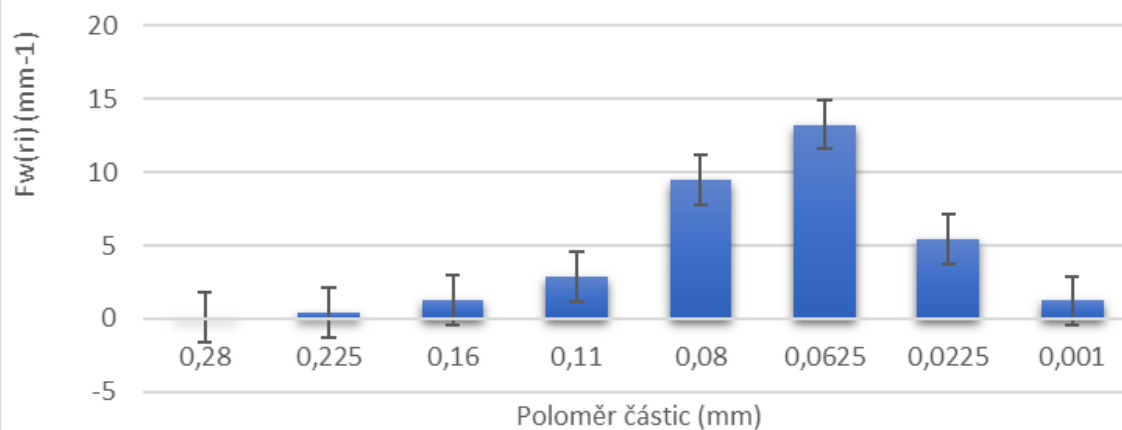


**PŘÍLOHA P XVI PRŮMĚRNÉ HODNOTY DIFERENCIÁLNÍ
ROZDĚLOVACÍ FUNKCE A DOPLŇKOVÉ A INTEGRÁLNÍ
FUNKCE PRO VZOREK Č.4 – NESTLÉ CARO**

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	Iwr
0	0,71	0,355			1	0
0,1824	0,56	0,28	0,075	0,016102	0,998792	0,001208
0,195433	0,45	0,225	0,055	0,023545	0,997497	0,002503
1,729567	0,32	0,16	0,065	0,17637	0,986033	0,013967
33,31923	0,22	0,11	0,05	4,416241	0,765221	0,234779
75,74507	0,16	0,08	0,03	16,73475	0,263179	0,736821
23,7189	0,125	0,0625	0,0175	8,982529	0,105984	0,894016
15,75307	0,045	0,0225	0,04	2,610247	0,001575	0,998425
0,237167	0,028	0,001	0,0085	0,185237	0	0
151,1913						



Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr - průměrné hodnoty - Caro



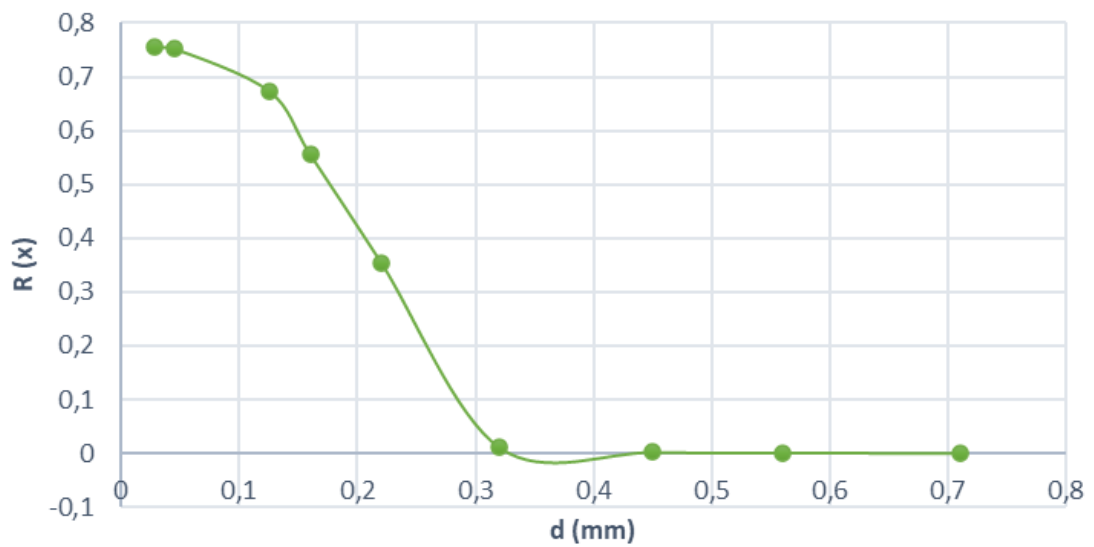
**PŘÍLOHA P XVII PRŮMĚRNÉ HODNOTY HMOTNOSTI
JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ, KŘIVKA ROZSEVU A PROPADU,
KŘIVKA DRUHÉ DERIVACE PRO VZOREK Č.4 – NESTLÉ CARO**

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0	0	0	0
2.	0,56	0,2278	0,0929	0,2265	0,1824
3.	0,45	0,2069	0,1716	0,2078	0,195433
4.	0,32	1,7002	1,7902	1,6983	1,729567
5.	0,22	34,0941	31,7657	34,0979	33,31923
6.	0,16	75,0488	77,1453	75,0411	75,74507
7.	0,125	24,0823	22,9914	24,083	23,7189
8.	0,045	15,6895	15,8736	15,6961	15,75307
9.	0,028	0,1425	0,4284	0,1406	0,237167

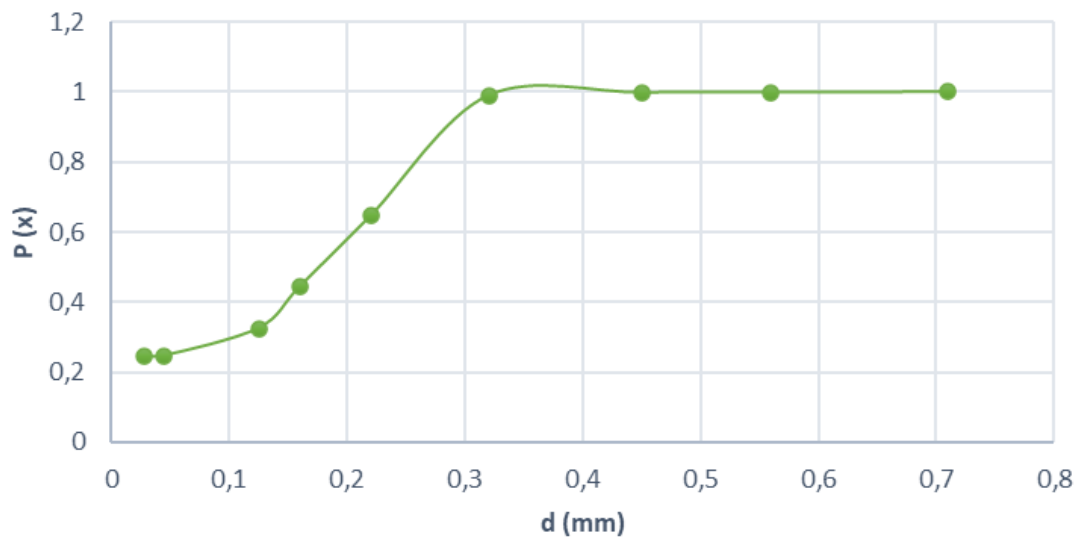
Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0
2.	0,56	0,000912
3.	0,45	0,001889167
4.	0,32	0,010537
5.	0,22	0,354266333
6.	0,16	0,5558585
7.	0,125	0,674453
8.	0,045	0,753218333
9.	0,028	0,754404167

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	1
2.	0,56	0,999088
3.	0,45	0,998110833
4.	0,32	0,989463
5.	0,22	0,645733667
6.	0,16	0,4441415
7.	0,125	0,325547
8.	0,045	0,246781667
9.	0,028	0,245595833

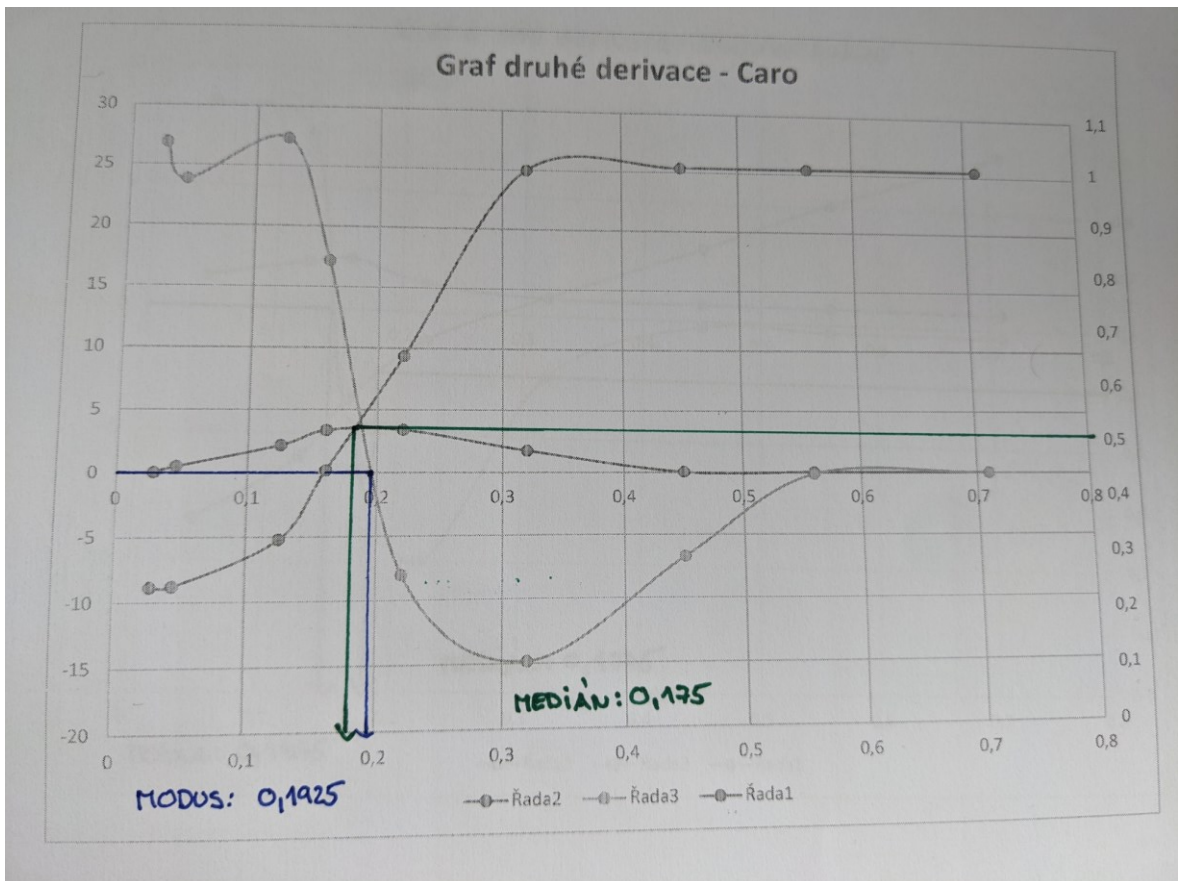
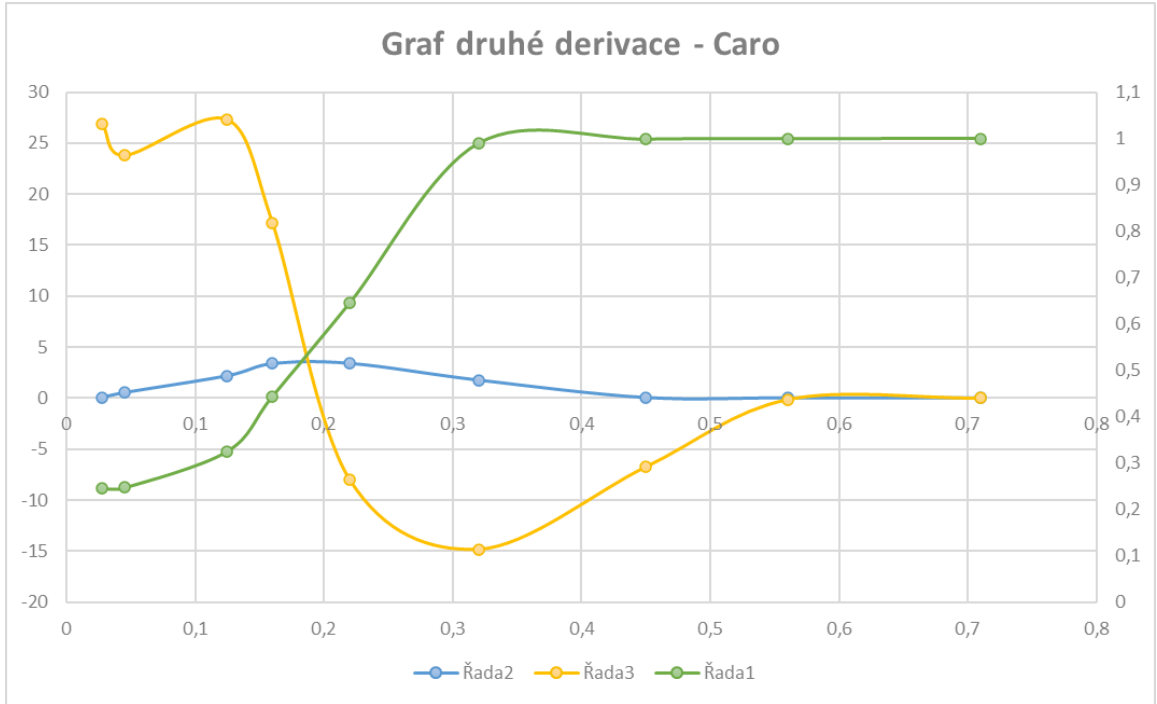
Křivka rozsevu - Caro



Křivka propadu - Caro

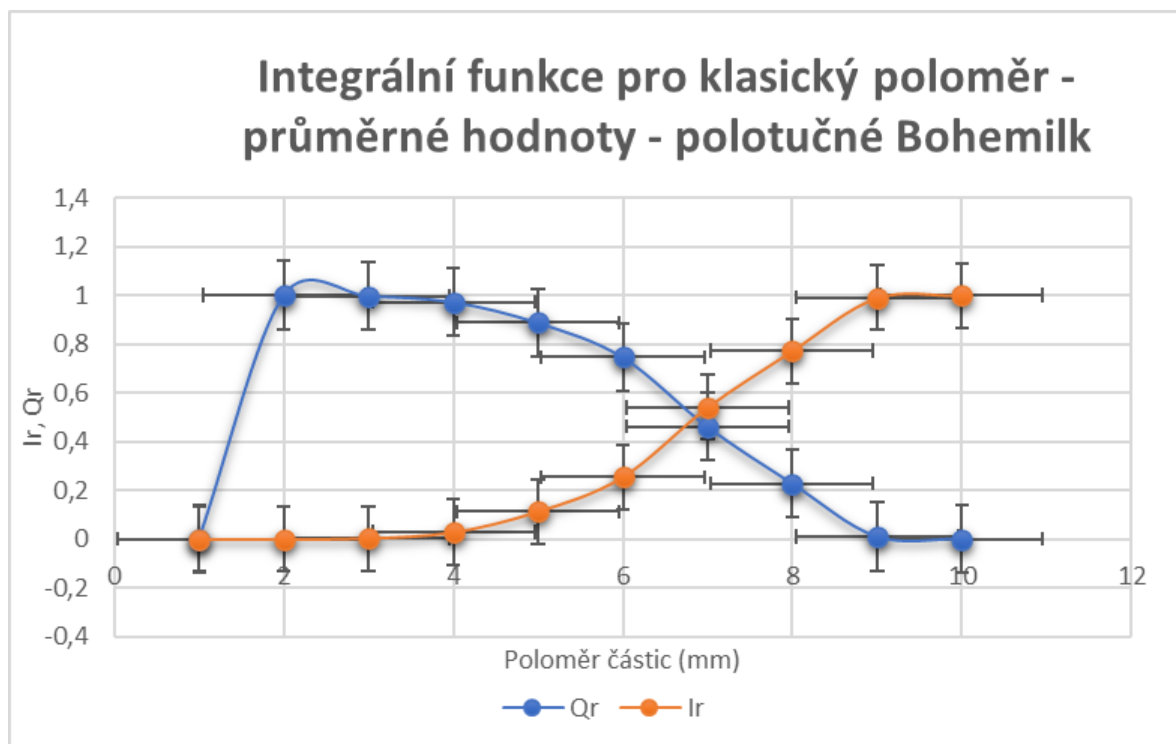


Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	1	0,00608	-0,00934
0,56	0,99909	0,00748	-0,14204
0,45	0,99811	0,0377	-6,73046
0,32	0,98946	1,75191	-14,82647
0,22	0,64573	3,39858	-8,02971
0,16	0,44414	3,37414	17,17011
0,125	0,32555	2,18649	27,33726
0,045	0,24678	0,52716	23,82392
0,028	0,2456	0,06975	26,90623

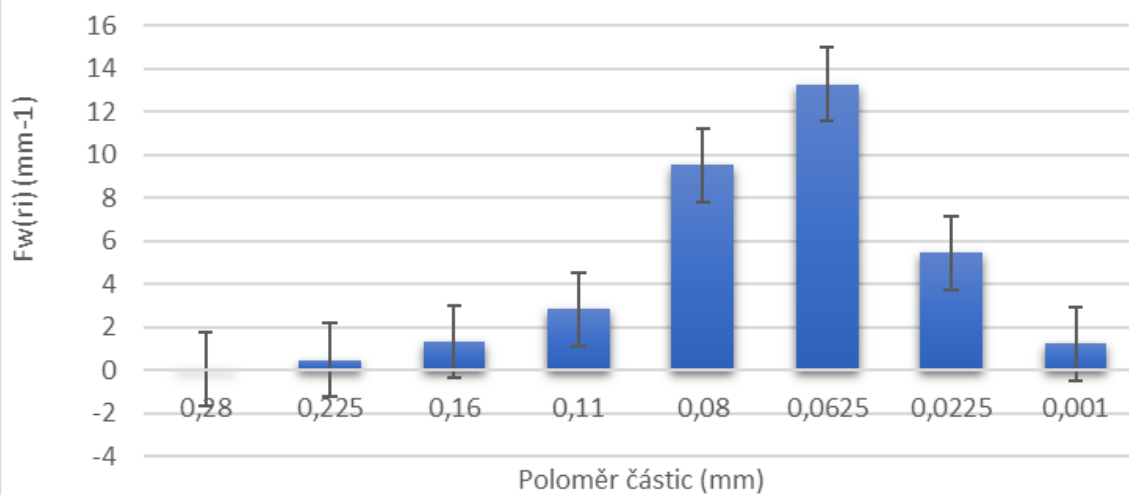


**PŘÍLOHA P XVIII PRŮMĚRNÉ HODNOTY DIFERENCIÁLNÍ
ROZDĚLOVACÍ FUNKCE A DOPLŇKOVÉ A INTEGRÁLNÍ
FUNKCE PRO VZOREK Č.6 – SUŠENÉ MLÉKO POLOTUČNÉ ZN.
BOHEMILK**

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	lwr
0,176867	0,71	0,355			1	0
0,6453	0,56	0,28	0,075	0,057097	0,995917	0,004282
1,890667	0,45	0,225	0,055	0,228082	0,983698	0,016827
28,19907	0,32	0,16	0,065	2,877838	0,795245	0,203886
46,06767	0,22	0,11	0,05	6,113352	0,498521	0,509554
50,4755	0,16	0,08	0,03	11,16374	0,173138	0,844466
17,5594	0,125	0,0625	0,0175	6,654263	0,051207	0,960916
5,882367	0,045	0,0225	0,04	0,973519	0,000144	0,999857
0,021633	0,028	0,001	0,0085	0,01688	0	1
151,2542						



Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr - průměrné hodnoty



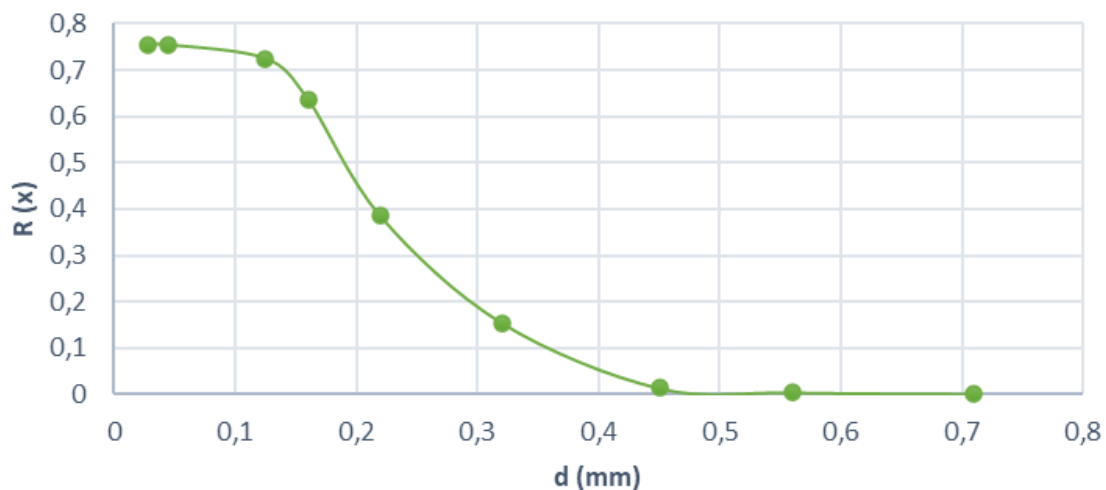
**PŘÍLOHA P XIX PRŮMĚRNÉ HODNOTY HMOTNOSTI
JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ, KŘIVKA ROZSEVU A PROPADU,
KŘIVKA DRUHÉ DERIVACE PRO VZOREK Č.6 – SUŠENÉ MLÉKO
POLOTUČNÉ ZN. BOHEMILK**

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,1773	0,1798	0,1735	0,176867
2.	0,56	0,6149	0,7035	0,6175	0,6453
3.	0,45	1,8548	1,9689	1,8483	1,890667
4.	0,32	28,5023	27,5907	28,5042	28,19907
5.	0,22	44,8747	48,4475	44,8808	46,06767
6.	0,16	49,2185	52,9924	49,2156	50,4755
7.	0,125	18,4423	15,7933	18,4426	17,5594
8.	0,045	7,7199	2,2038	7,7234	5,882367
9.	0,028	0,0232	0,0199	0,0218	0,021633

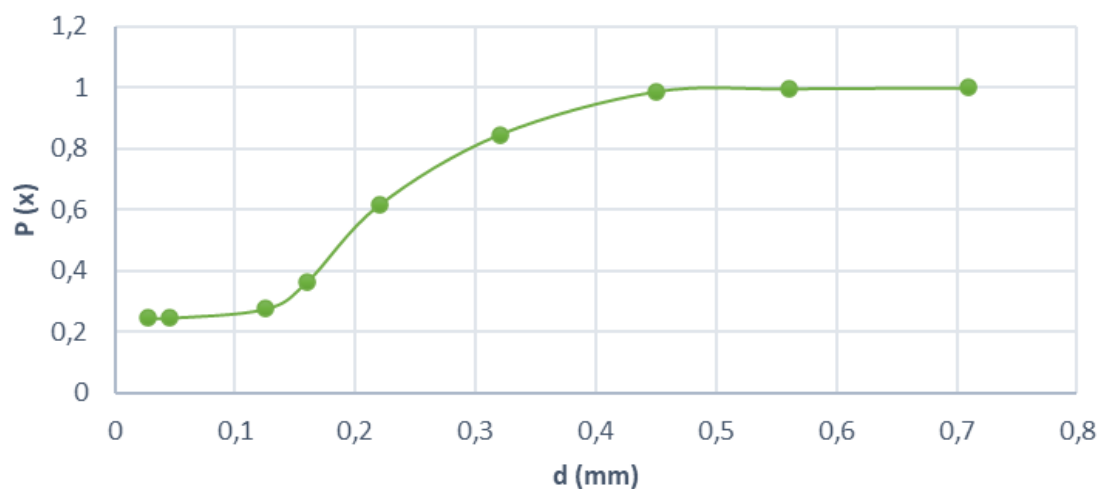
Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,000884333
2.	0,56	0,004110833
3.	0,45	0,013564167
4.	0,32	0,1545595
5.	0,22	0,384897833
6.	0,16	0,637275333
7.	0,125	0,725072333
8.	0,045	0,754484167
9.	0,028	0,754592333

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,999115667
2.	0,56	0,995889167
3.	0,45	0,986435833
4.	0,32	0,8454405
5.	0,22	0,615102167
6.	0,16	0,362724667
7.	0,125	0,274927667
8.	0,045	0,245515833
9.	0,028	0,245407667

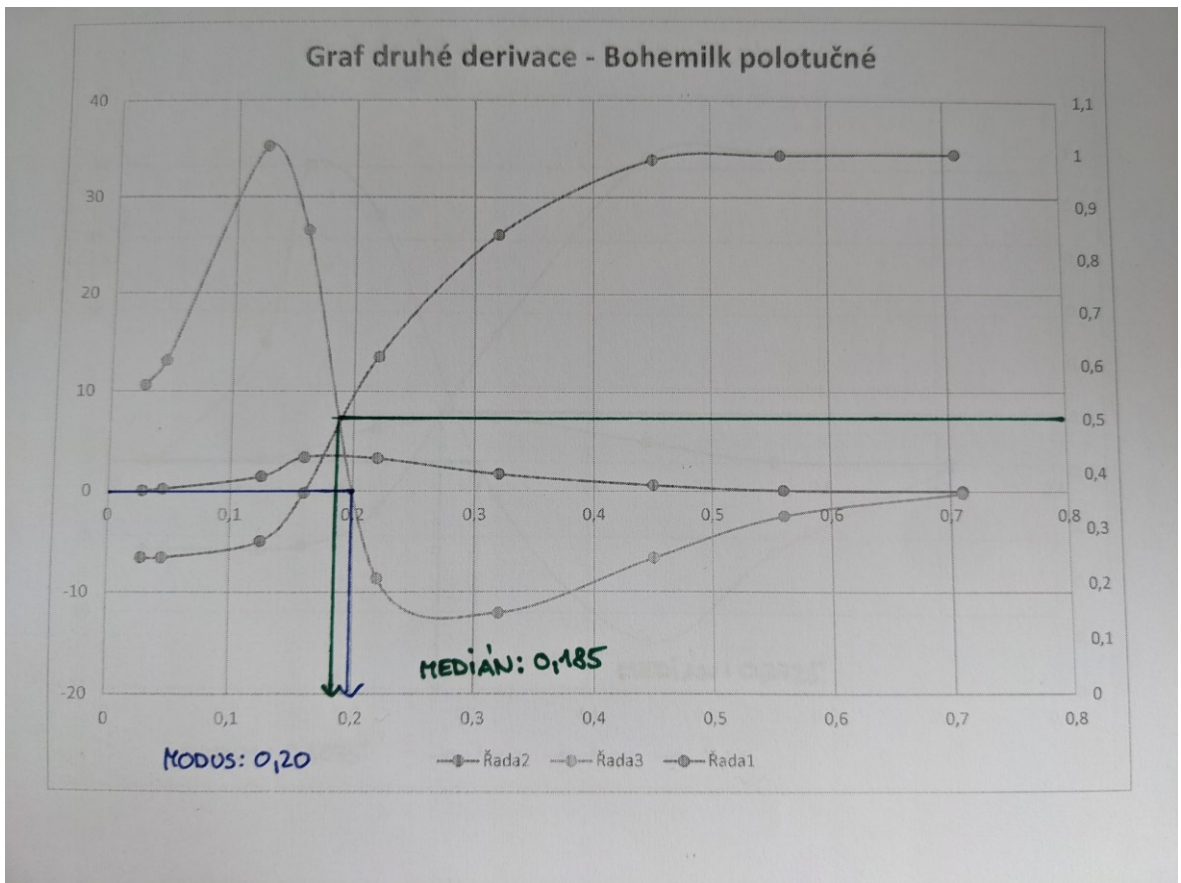
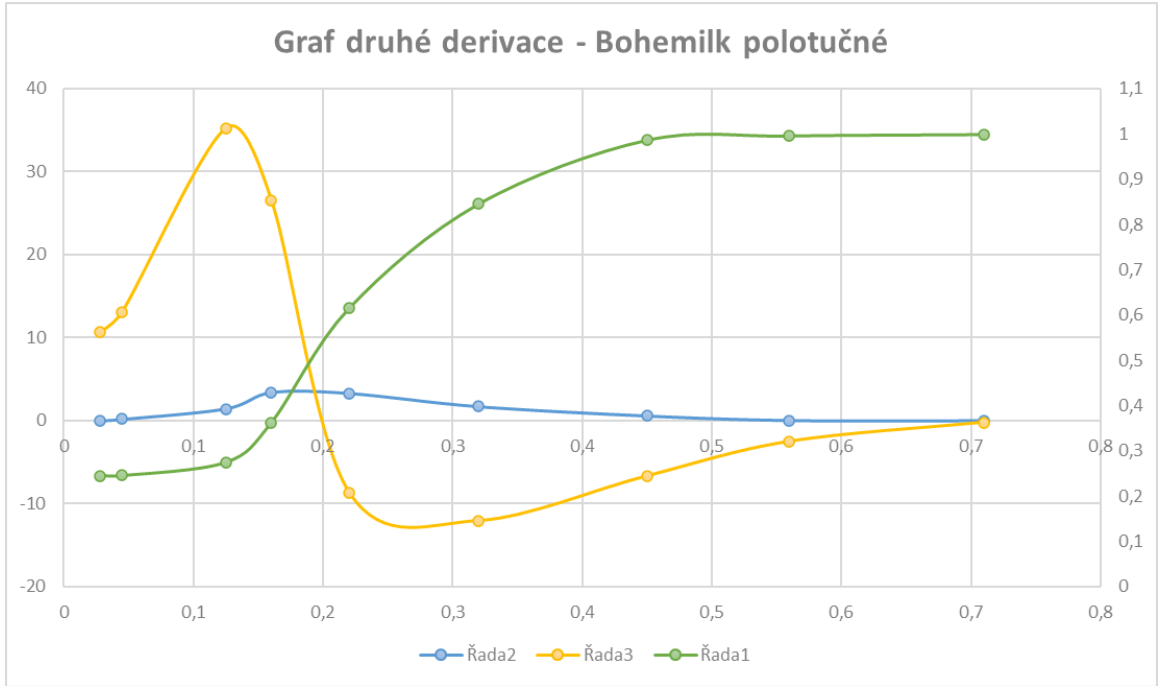
Křivka rozsevu - Bohemilk polotučné sušené mléko



Křivka propadu - Bohemilk polotučné sušené mléko

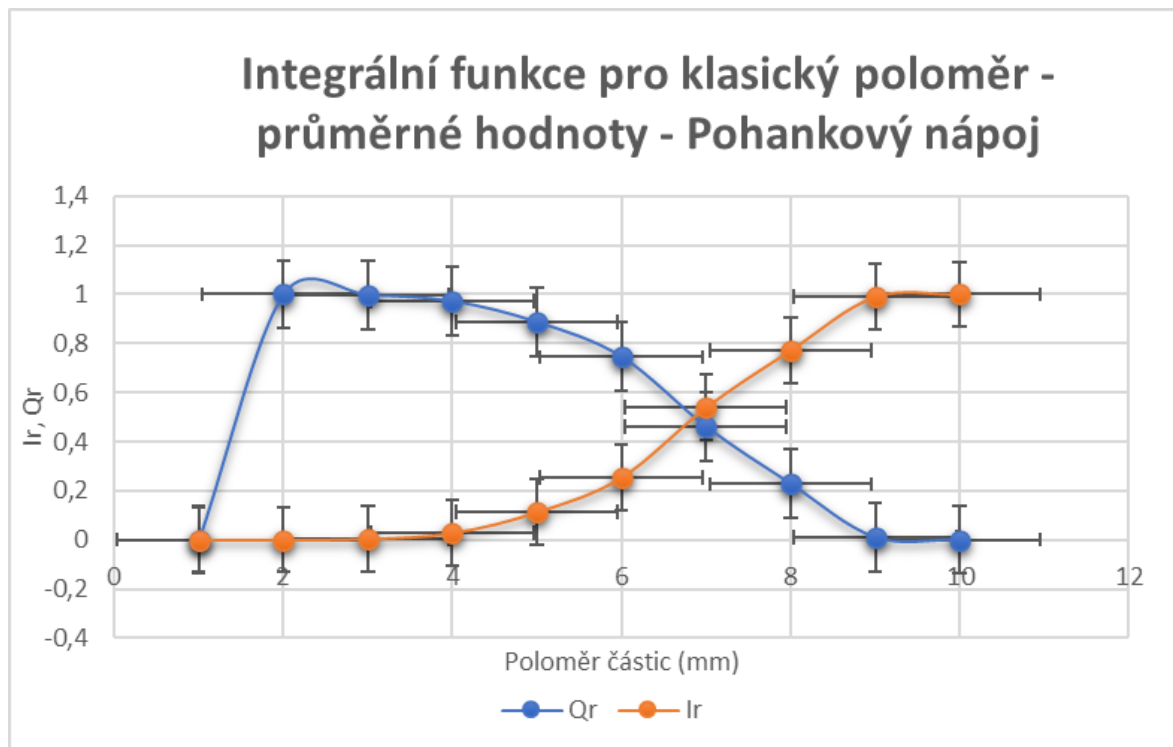


Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,99912	0,02151	-0,21476
0,56	0,99589	0,05372	-2,52345
0,45	0,98644	0,58526	-6,68038
0,32	0,84544	1,69398	-12,0686
0,22	0,6151	3,25484	-8,65887
0,16	0,36272	3,35739	26,56429
0,125	0,27493	1,43807	35,23802
0,045	0,24552	0,18701	13,13215
0,028	0,24541	0,00636	10,62603

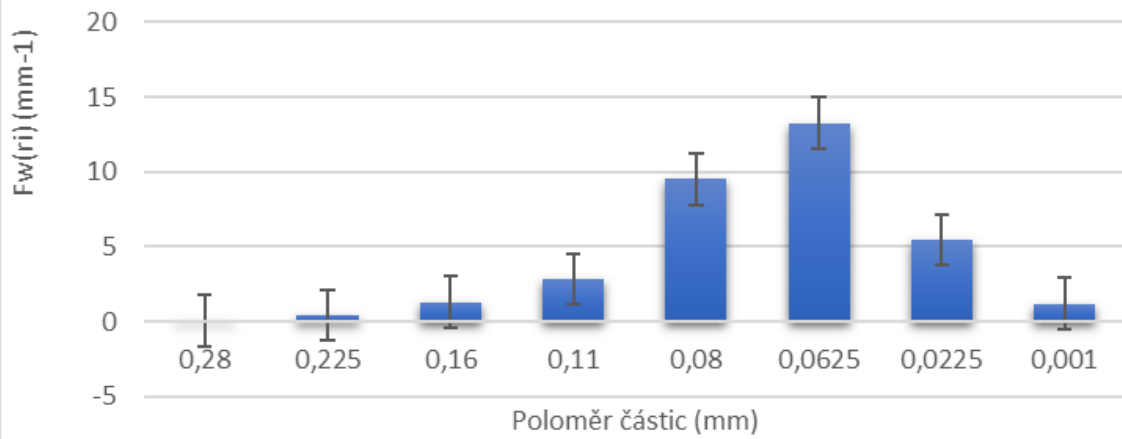


**PŘÍLOHA P XX PRŮMĚRNÉ HODNOTY DIFERENCIÁLNÍ
ROZDĚLOVACÍ FUNKCE A DOPLŇKOVÉ A INTEGRÁLNÍ
FUNKCE PRO VZOREK Č.8 – POHANKOVÝ INSTANTNÍ NÁPOJ
ZN. TOPNATUR**

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	Iwr
0,563267	0,71	0,355			1	0
0,683733	0,56	0,28	0,075	0,061344	0,995399	0,004601
3,998333	0,45	0,225	0,055	0,489101	0,968499	0,031501
15,80913	0,32	0,16	0,065	1,635422	0,862196	0,137804
25,1971	0,22	0,11	0,05	3,389947	0,692699	0,307301
40,38833	0,16	0,08	0,03	9,055381	0,421037	0,578963
30,8471	0,125	0,0625	0,0175	11,85212	0,213625	0,786375
30,9118	0,045	0,0225	0,04	5,194444	0,005848	0,994152
0,8729	0,028	0,001	0,0085	0,687951	0	1
149,456						



Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr - průměrné hodnoty - Pohankový nápoj



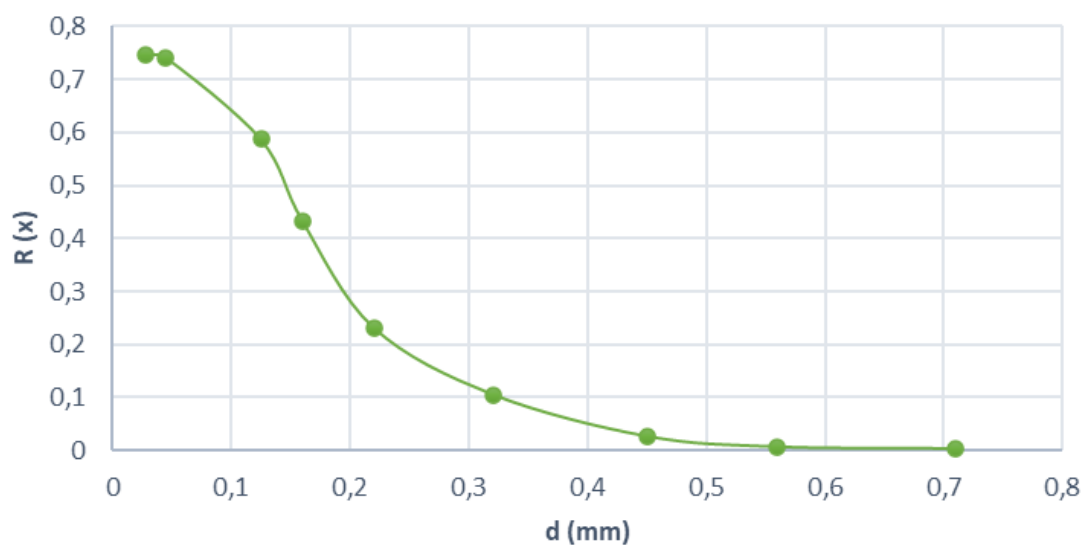
**PŘÍLOHA P XXI PRŮMĚRNÉ HODNOTY HMOTNOSTI
JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ, KŘIVKA ROZSEVU A PROPADU,
KŘIVKA DRUHÉ DERIVACE PRO VZOREK Č.8 – POHANKOVÝ
INSTANTNÍ NÁPOJ ZN. TOPNATUR**

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,4646	0,7602	0,465	0,563267
2.	0,56	0,644	0,7643	0,6429	0,683733
3.	0,45	3,8189	4,3564	3,8197	3,998333
4.	0,32	15,9945	15,4389	15,994	15,80913
5.	0,22	24,4703	26,6496	24,4714	25,1971
6.	0,16	39,5955	41,9714	39,5981	40,38833
7.	0,125	31,3157	29,9086	31,317	30,8471
8.	0,045	32,4068	27,9227	32,4059	30,9118
9.	0,028	1,2056	0,2061	1,207	0,8729

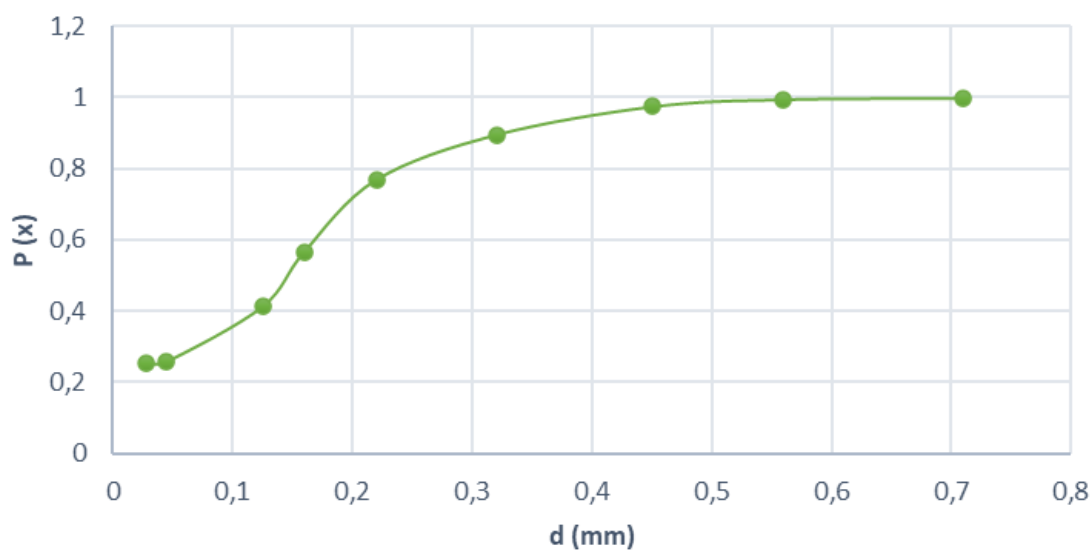
Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,002816333
2.	0,56	0,006235
3.	0,45	0,026226667
4.	0,32	0,105272333
5.	0,22	0,231257833
6.	0,16	0,4331995
7.	0,125	0,587435
8.	0,045	0,741994
9.	0,028	0,7463585

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,997183667
2.	0,56	0,993765
3.	0,45	0,973773333
4.	0,32	0,894727667
5.	0,22	0,768742167
6.	0,16	0,5668005
7.	0,125	0,412565
8.	0,045	0,258006
9.	0,028	0,2536415

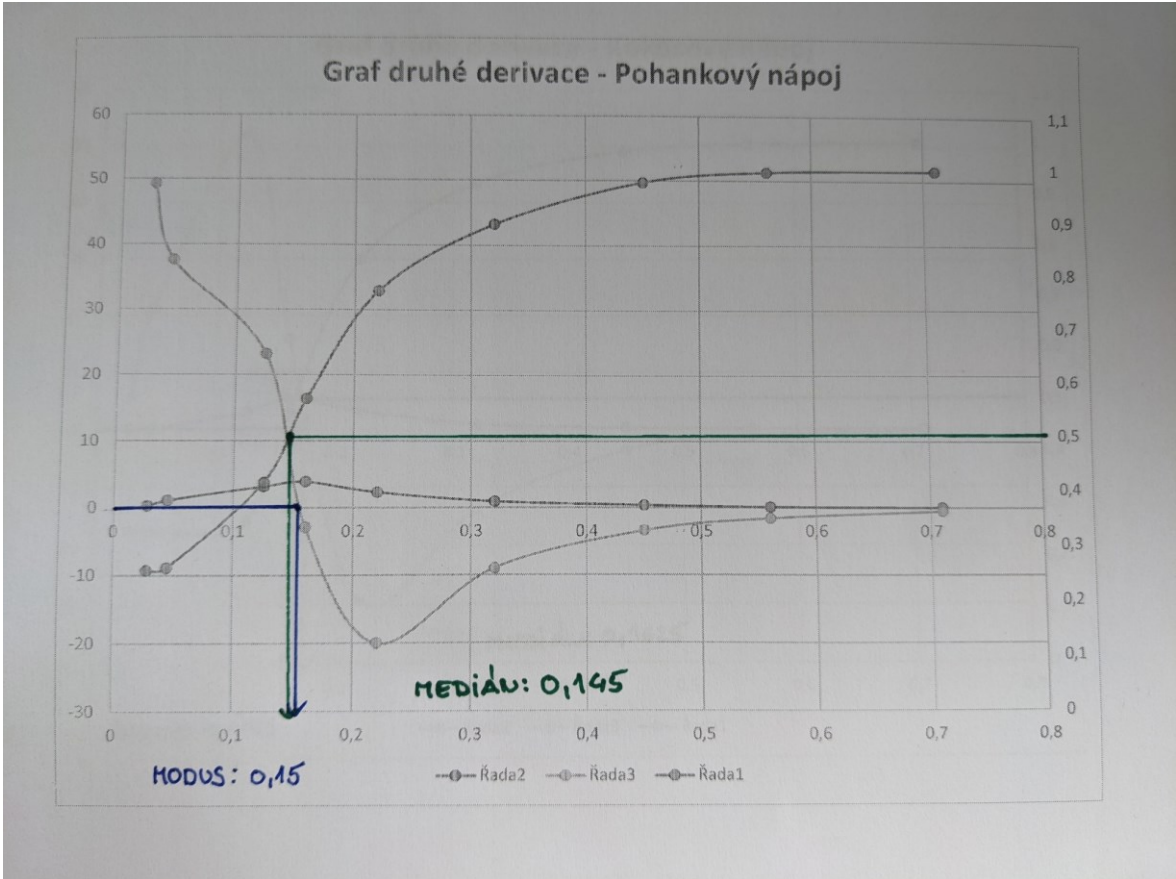
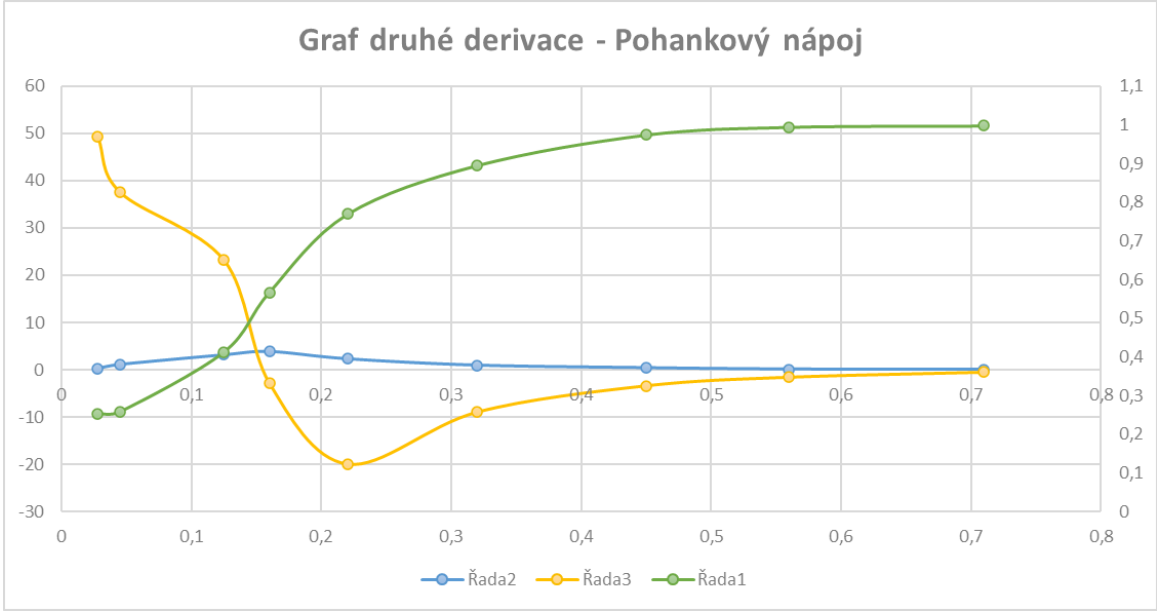
Křivka rozsevu - Pohankový nápoj



Křivka propadu - Pohankový nápoj

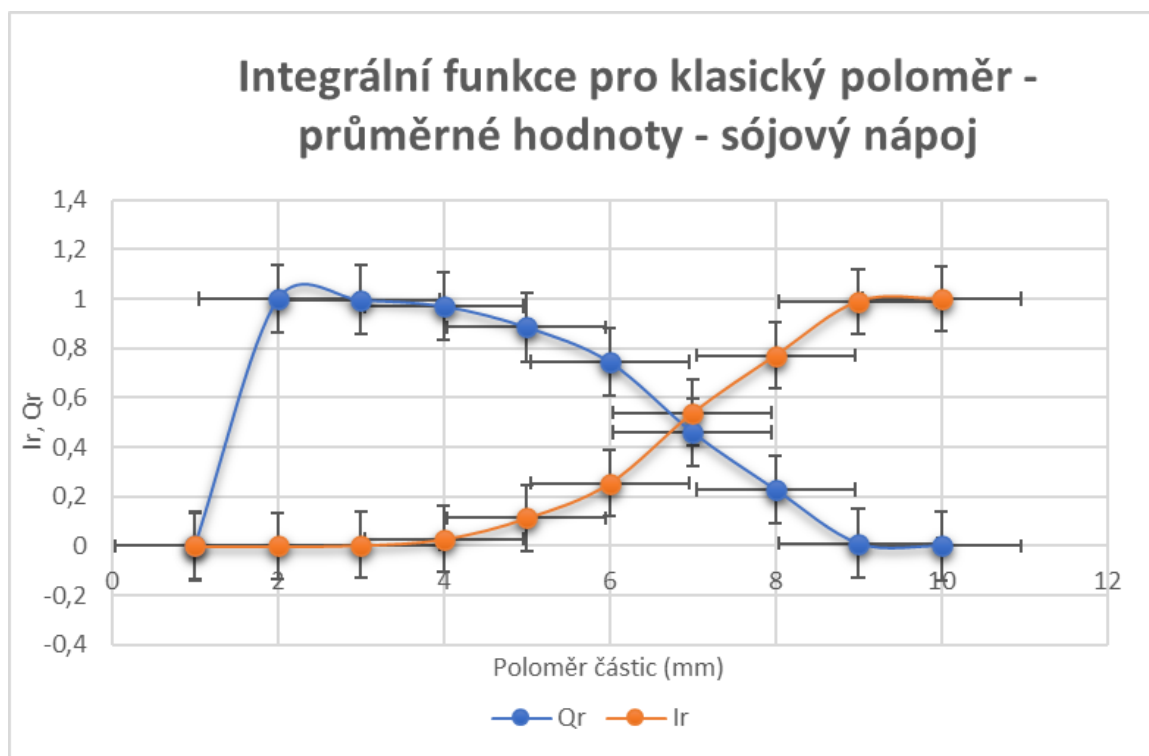


Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,99718	0,02279	-0,52984
0,56	0,99377	0,10227	-1,59504
0,45	0,97377	0,39489	-3,40341
0,32	0,89473	0,93395	-8,96742
0,22	0,76874	2,31277	-20,0061
0,16	0,5668	3,88621	-2,87121
0,125	0,41257	3,16936	23,20949
0,045	0,25801	1,09436	37,60479
0,028	0,25364	0,25674	49,27212

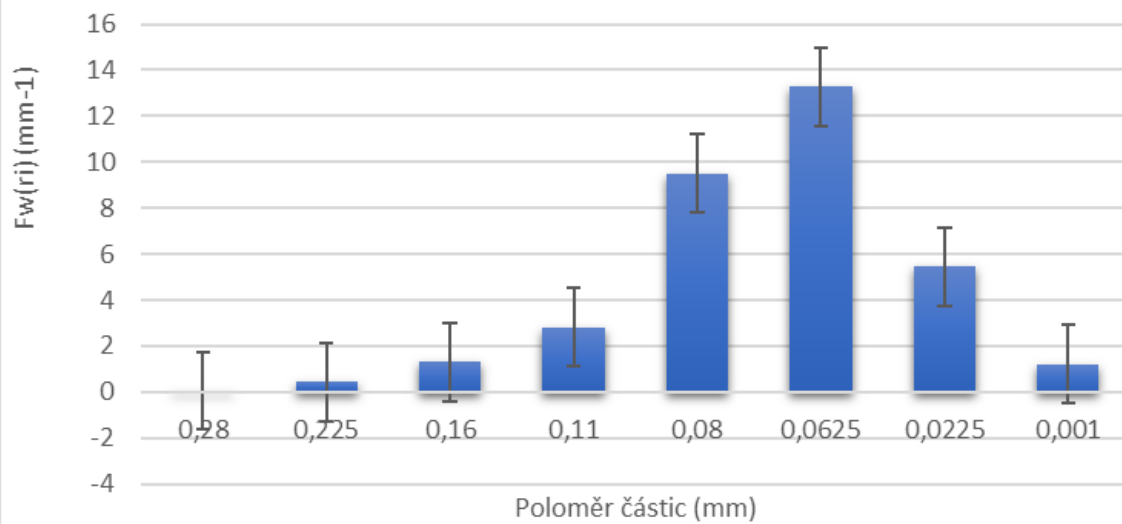


**PŘÍLOHA P XXII PRŮMĚRNÉ HODNOTY DIFERENCIÁLNÍ
ROZDĚLOVACÍ FUNKCE A DOPLŇKOVÉ A INTEGRÁLNÍ
FUNKCE PRO VZOREK Č.10 – SÓJOVÝ INSTANTNÍ NÁPOJ ZN.
TOPNATUR**

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	lwr
0,6606	0,71	0,355			1	0
1,9397	0,56	0,28	0,075	0,177178	0,986712	0,013288
2,965267	0,45	0,225	0,055	0,369471	0,966391	0,033609
5,989933	0,32	0,16	0,065	0,631381	0,925351	0,074649
8,570533	0,22	0,11	0,05	1,174556	0,866623	0,133377
20,00373	0,16	0,08	0,03	4,570135	0,729519	0,270481
28,30403	0,125	0,0625	0,0175	11,08472	0,535537	0,464463
70,11483	0,045	0,0225	0,04	12,01651	0,054876	0,945124
8,016833	0,028	0,001	0,0085	6,456016	0	1
147,195						



Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr - průměrné hodnoty - sójový nápoj



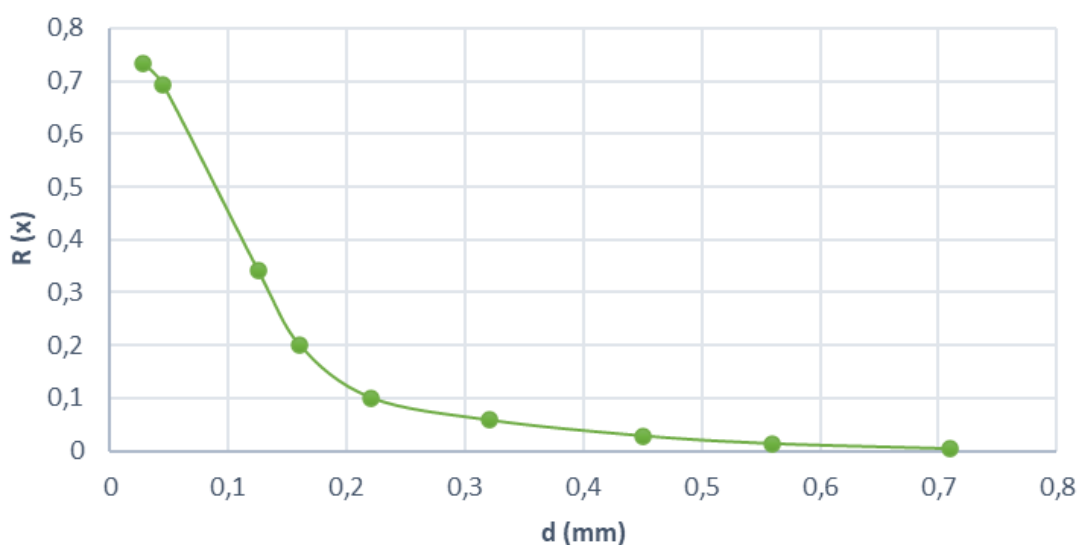
**PŘÍLOHA P XXIII PRŮMĚRNÉ HODNOTY HMOTNOSTI
JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ, KŘIVKA ROZSEVU A PROPADU,
KŘIVKA DRUHÉ DERIVACE PRO VZOREK Č.10 – SÓJOVÝ
INSTANTNÍ NÁPOJ ZN. TOPNATUR**

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,7081	0,5648	0,7089	0,6606
2.	0,56	2,0045	1,8086	2,006	1,9397
3.	0,45	3,0112	2,8739	3,0107	2,965267
4.	0,32	6,1569	5,6567	6,1562	5,989933
5.	0,22	8,7502	8,2101	8,7513	8,570533
6.	0,16	20,157	19,6963	20,1579	20,00373
7.	0,125	28,6126	27,6873	28,6122	28,30403
8.	0,045	69,8459	70,6532	69,8454	70,11483
9.	0,028	8,6565	6,7387	8,6553	8,016833

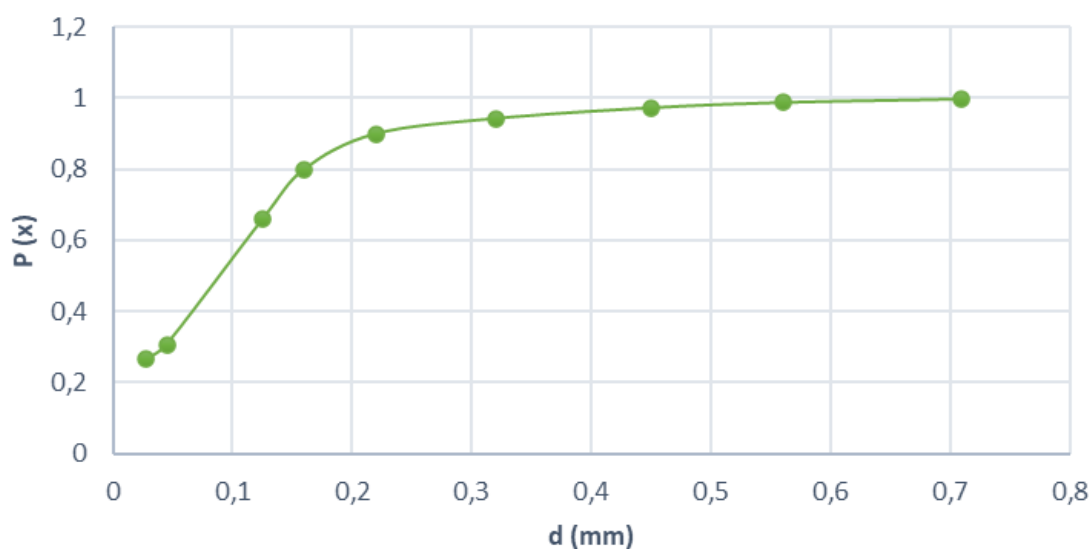
Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,003303
2.	0,56	0,0130015
3.	0,45	0,027827833
4.	0,32	0,0577775
5.	0,22	0,100630167
6.	0,16	0,200648833
7.	0,125	0,342169
8.	0,045	0,692743167
9.	0,028	0,732827333

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,996697
2.	0,56	0,9869985
3.	0,45	0,972172167
4.	0,32	0,9422225
5.	0,22	0,899369833
6.	0,16	0,799351167
7.	0,125	0,657831
8.	0,045	0,307256833
9.	0,028	0,267172667

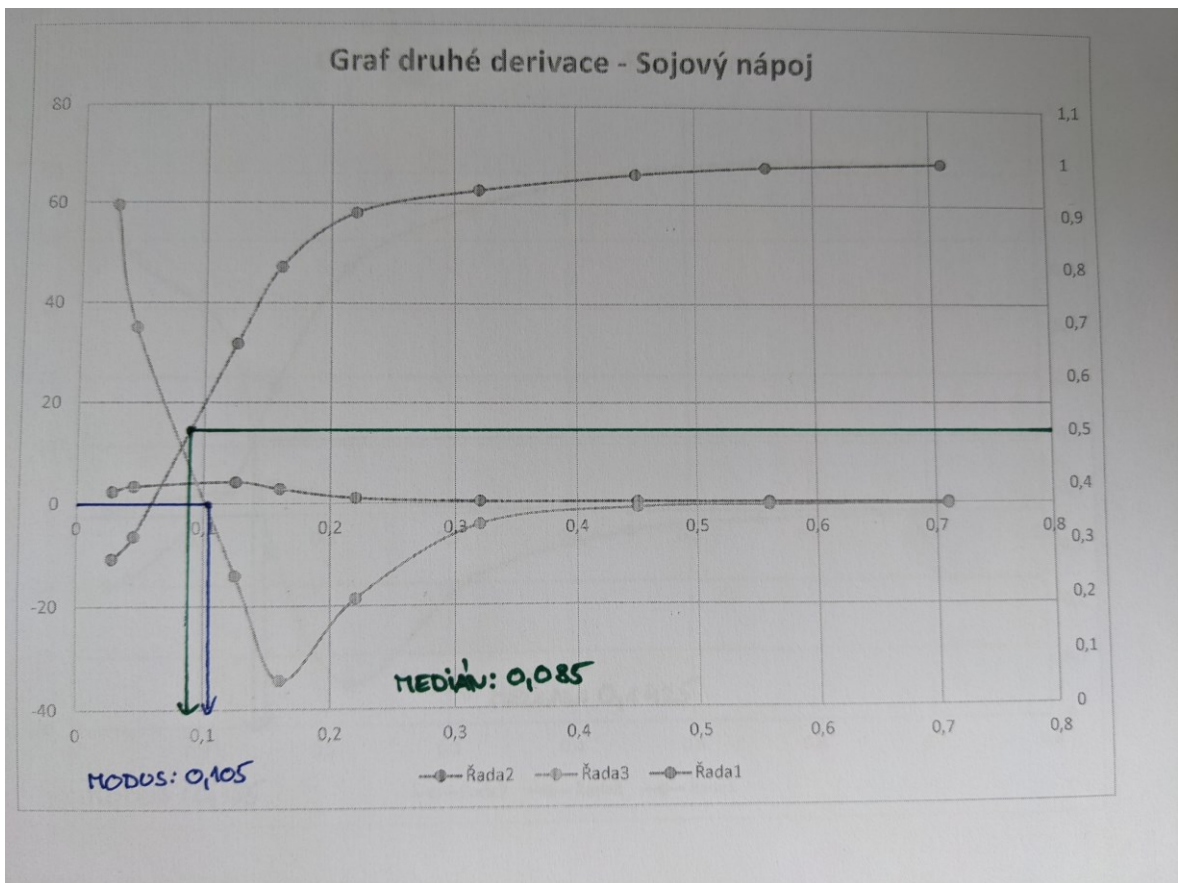
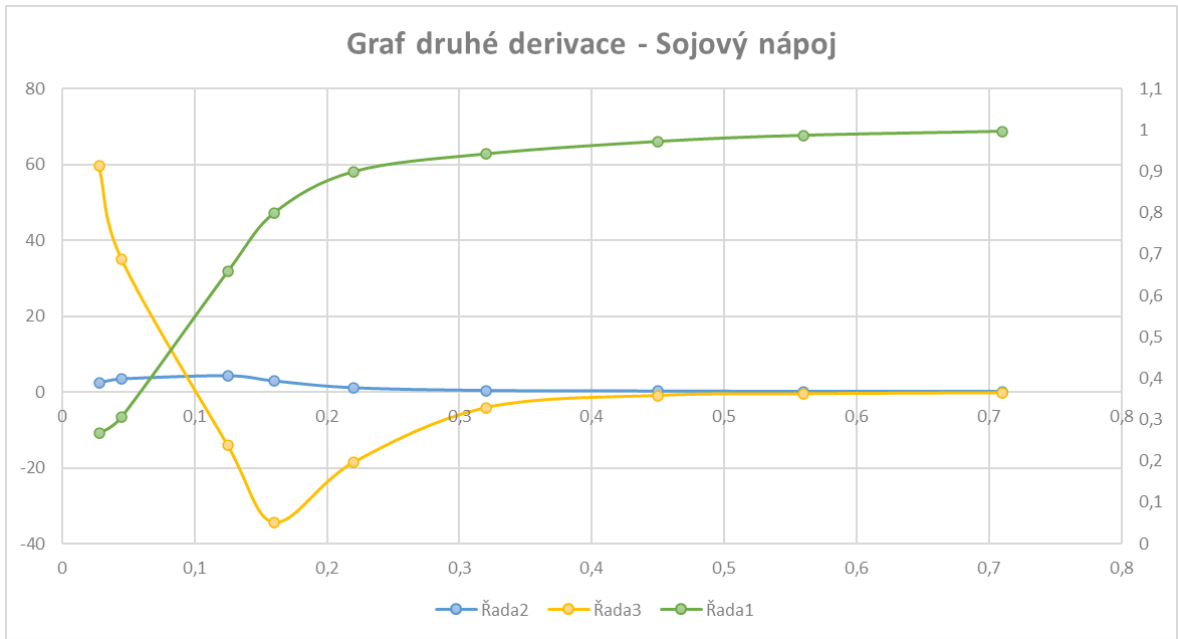
Křivka rozsevu - Sojový nápoj



Křivka propadu - Sojový nápoj

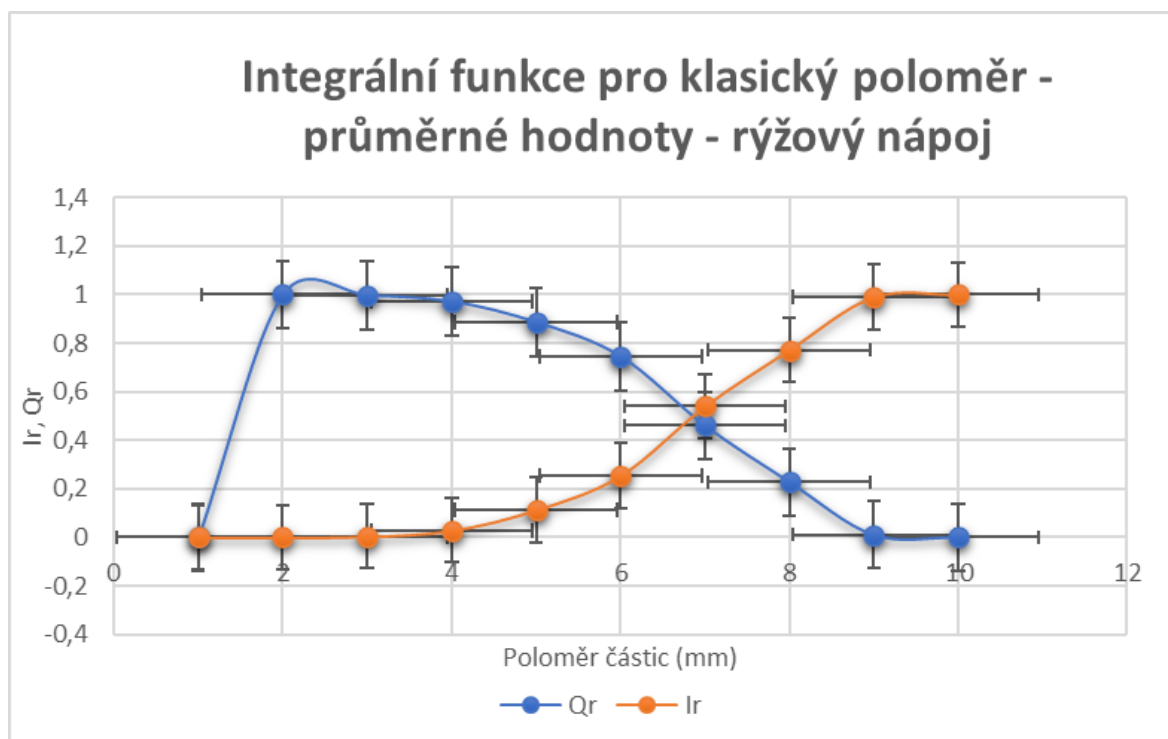


Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,9967	0,06466	-0,23376
0,56	0,987	0,09972	-0,49353
0,45	0,97217	0,18258	-0,94154
0,32	0,94222	0,32945	-4,15638
0,22	0,89937	1,04775	-18,6536
0,16	0,79935	2,85521	-34,45639
0,125	0,65783	4,21281	-14,12696
0,045	0,30726	3,37003	35,03621
0,028	0,26717	2,35789	59,53779

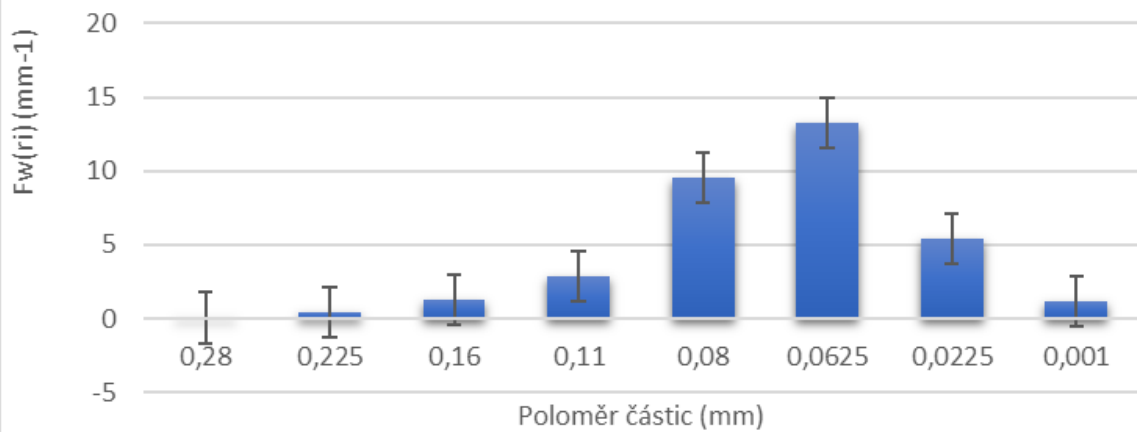


**PŘÍLOHA P XXIV PRŮMĚRNÉ HODNOTY DIFERENCIÁLNÍ
ROZDĚLOVACÍ FUNKCE A DOPLŇKOVÉ A INTEGRÁLNÍ
FUNKCE PRO VZOREK Č.11 – RÝŽOVÝ INSTANTNÍ NÁPOJ ZN.
TOPNATUR**

m (g)	d (mm)	r (mm)	Δr (mm)	Fwr	Qwr	lwr
0,3122	0,71	0,355			1	0
0,580833	0,56	0,28	0,075	0,051381	0,996146	0,003854
3,7258	0,45	0,225	0,055	0,449665	0,971415	0,028585
12,7845	0,32	0,16	0,065	1,305612	0,88655	0,11345
21,25977	0,22	0,11	0,05	2,822433	0,745428	0,254572
42,93707	0,16	0,08	0,03	9,501726	0,460377	0,539623
34,98563	0,125	0,0625	0,0175	13,26888	0,228171	0,771829
32,8345	0,045	0,0225	0,04	5,446433	0,010314	0,989686
1,556367	0,028	0,001	0,0085	1,213389	0	1
151,1934						



Diferenciální rozdělovací funkce pro klasický poloměr - průměrné hodnoty - rýžový nápoj



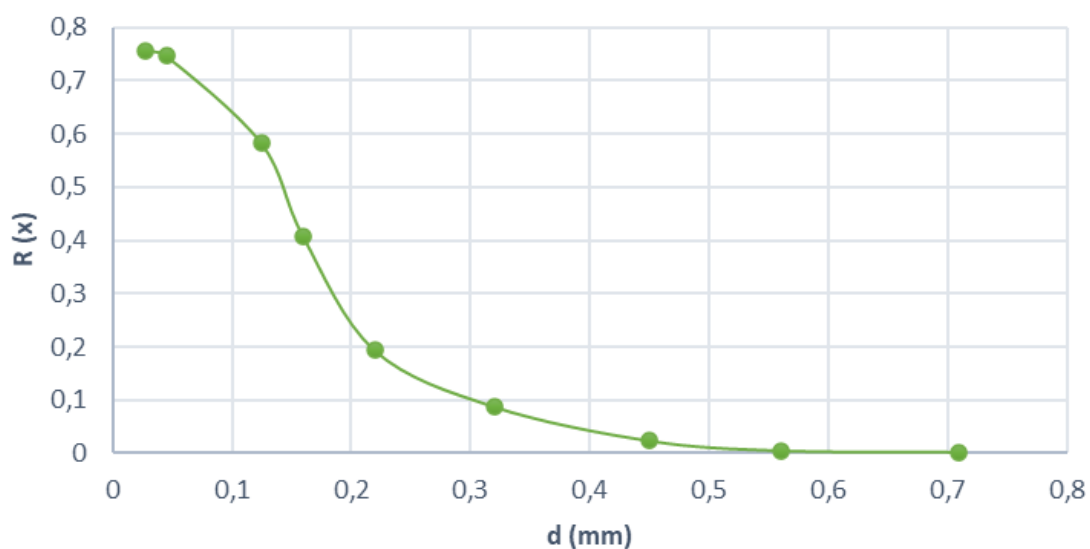
**PŘÍLOHA P XXV PRŮMĚRNÉ HODNOTY HMOTNOSTI
JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ, KŘIVKA ROZSEVU A PROPADU,
KŘIVKA DRUHÉ DERIVACE PRO VZOREK Č.11 – RÝŽOVÝ
INSTANTNÍ NÁPOJ ZN. TOPNATUR**

Navážka(g)	200				
	Průměr ok síta d (mm)	1. měření m (g)	2. měření m (g)	3. měření m (g)	Průměr
1.	0,71	0,3044	0,3282	0,304	0,3122
2.	0,56	0,6185	0,5117	0,6123	0,580833
3.	0,45	3,6879	3,8026	3,6869	3,7258
4.	0,32	12,6068	13,1439	12,6028	12,7845
5.	0,22	21,0212	21,7382	21,0199	21,25977
6.	0,16	41,677	45,4575	41,6767	42,93707
7.	0,125	35,1841	34,5896	35,1832	34,98563
8.	0,045	34,5106	29,4849	34,508	32,8345
9.	0,028	1,9032	0,8623	1,9036	1,556367

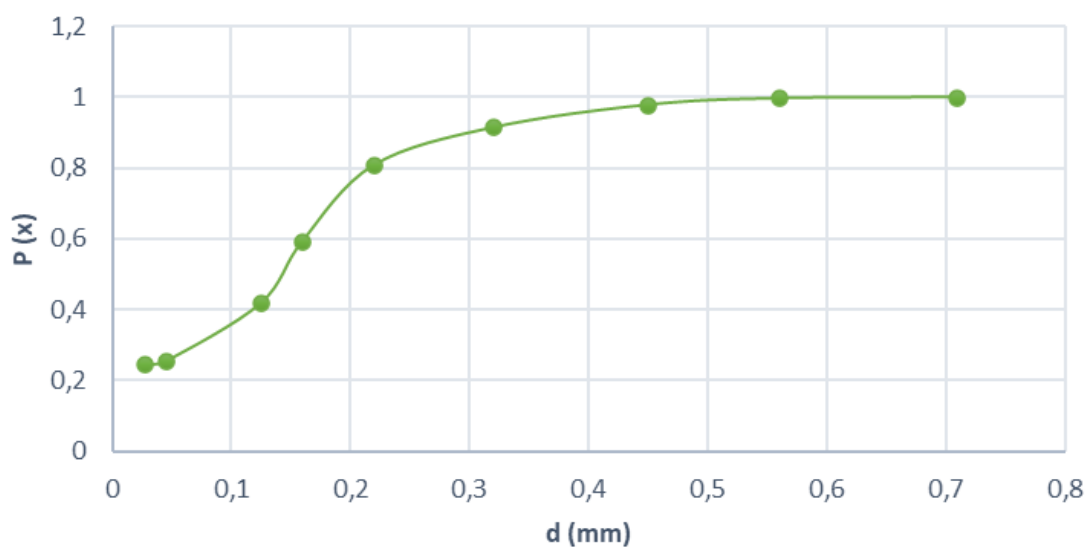
Křivka rozsevu	Průměr ok síta d (mm)	R
1.	0,71	0,001561
2.	0,56	0,004465167
3.	0,45	0,023094167
4.	0,32	0,087016667
5.	0,22	0,1933155
6.	0,16	0,408000833
7.	0,125	0,582929
8.	0,045	0,7471015
9.	0,028	0,754883333

Křivka propadu	Průměr ok síta d (mm)	P
1.	0,71	0,998439
2.	0,56	0,995534833
3.	0,45	0,976905833
4.	0,32	0,912983333
5.	0,22	0,8066845
6.	0,16	0,591999167
7.	0,125	0,417071
8.	0,045	0,2528985
9.	0,028	0,245116667

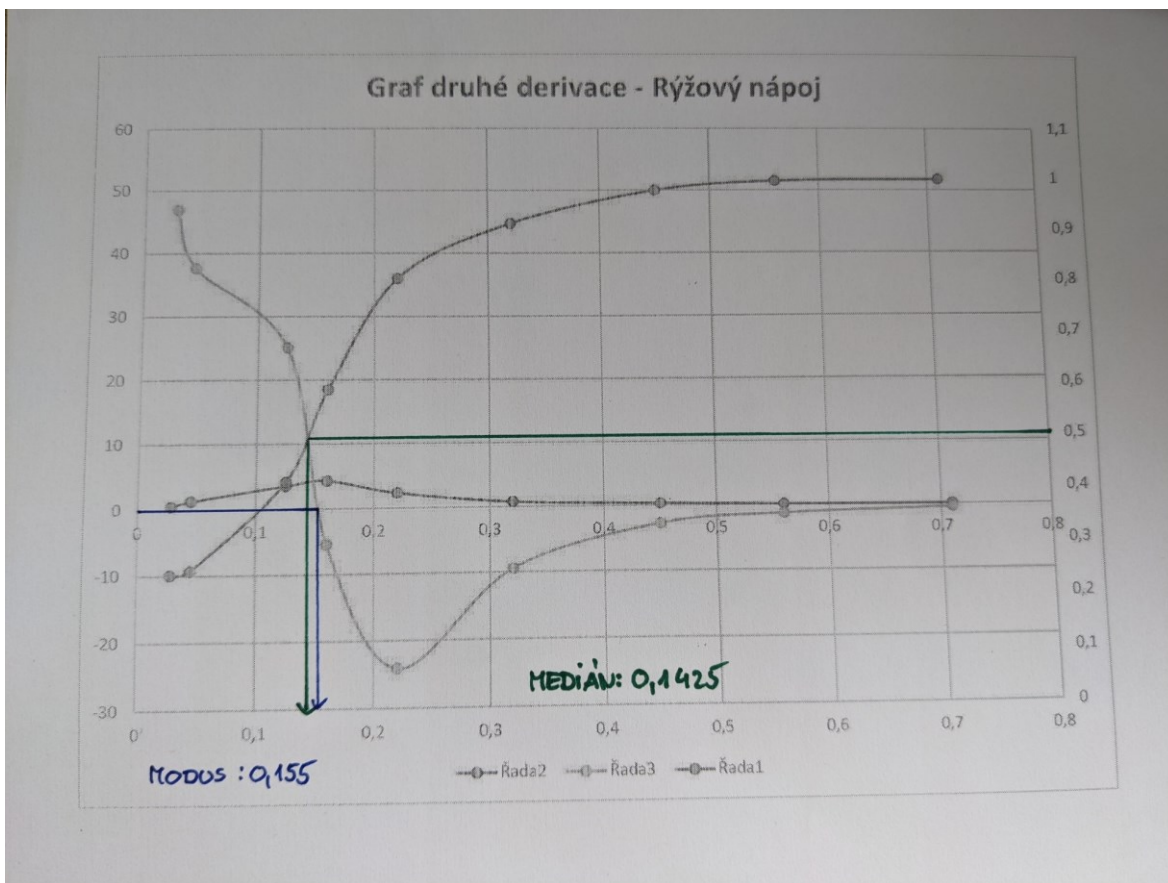
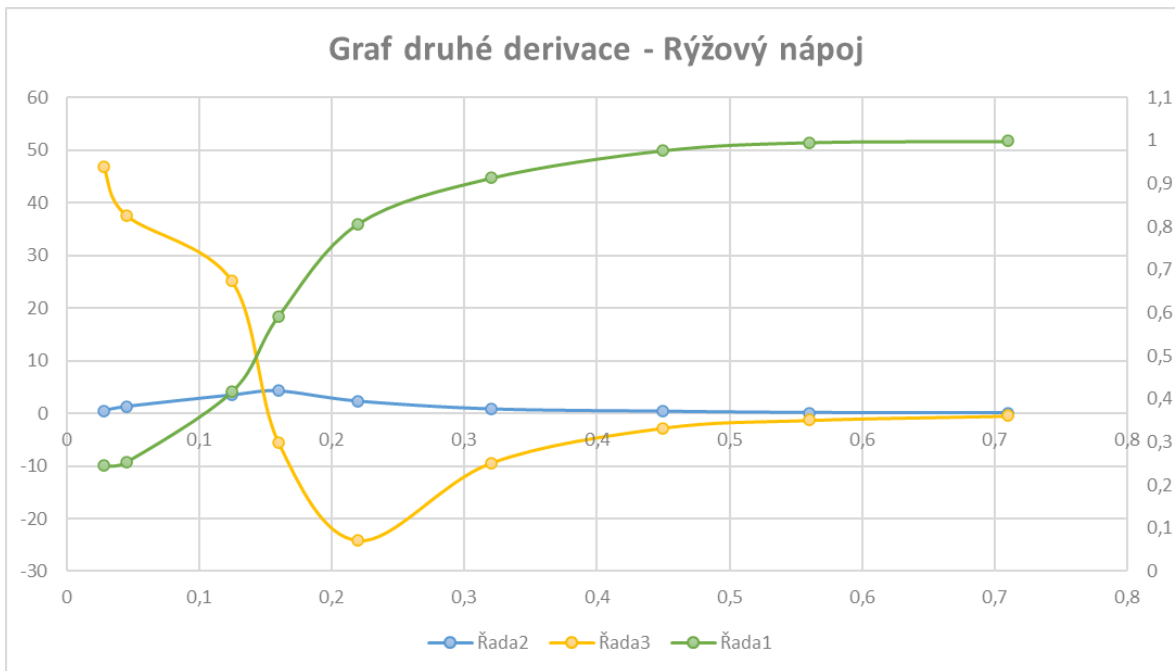
Křivka rozsevu - Rýžový nápoj



Křivka propadu - Rýžový nápoj



Velikost ok síta	P	1. derivace	2. derivace
0,71	0,99844	0,01936	-0,49998
0,56	0,99553	0,09436	-1,32351
0,45	0,97691	0,33053	-2,79205
0,32	0,91298	0,77735	-9,43447
0,22	0,80668	2,32054	-24,11161
0,16	0,592	4,28802	-5,49614
0,125	0,41707	3,52505	25,08762
0,045	0,2529	1,25496	37,63518
0,028	0,24512	0,45775	46,89416



PŘÍLOHA P XXVI VÝSLEDKY MĚŘENÍ LASEROVOU DIFRAKČÍ – KAKAO ZN. MANNER

ANALYSETTE 28
ImageSizer

Report of Measurements



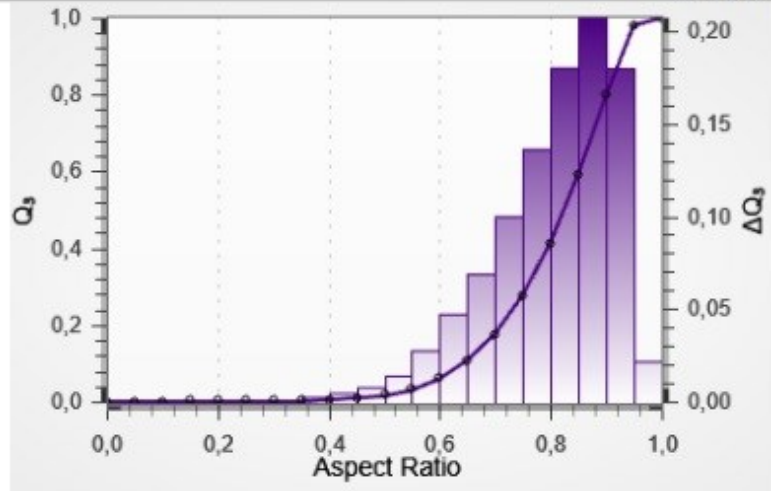
Project Name	User	Date	Time	Comments
Manner-kakao-25%tuku	standard user	06.04.2022	10:30:43	

		D-Values		
		Q3 = 10 %	Q3 = 50 %	Q3 = 90 %
Contour Hull Area Equivalent Diameter	Manner-kakao-25%tuku_01	0,41	0,74	1,55
Maximum Feret Diameter	Manner-kakao-25%tuku_01	0,49	0,90	1,80
Minimum Feret Diameter	Manner-kakao-25%tuku_01	0,38	0,67	1,44

Graph(s)

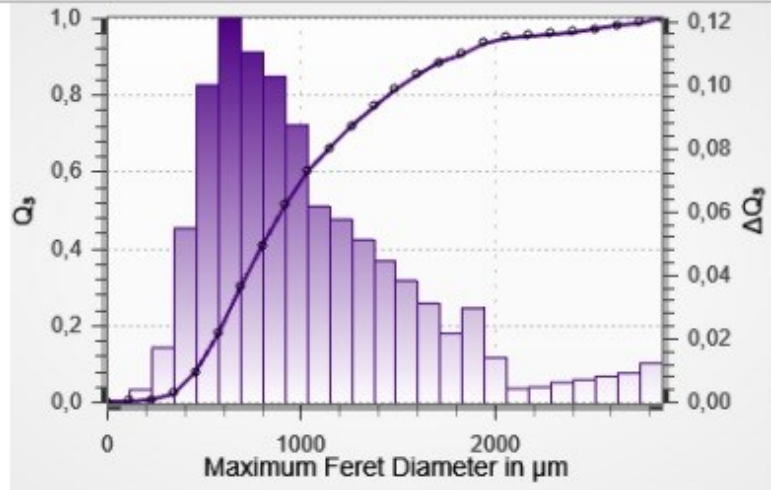
Aspect Ratio

Manner-kakao-25%tuku_01



Maximum Feret Diameter in μm

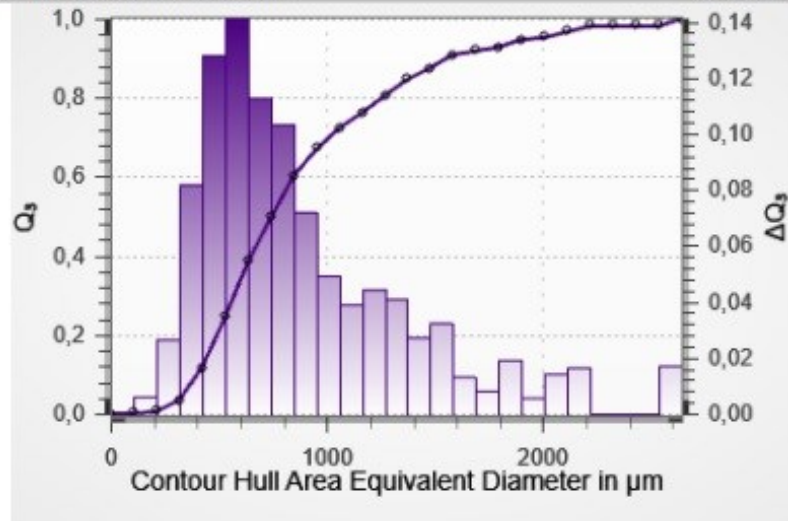
Manner-kakao-25%tuku_01



Graph(s)

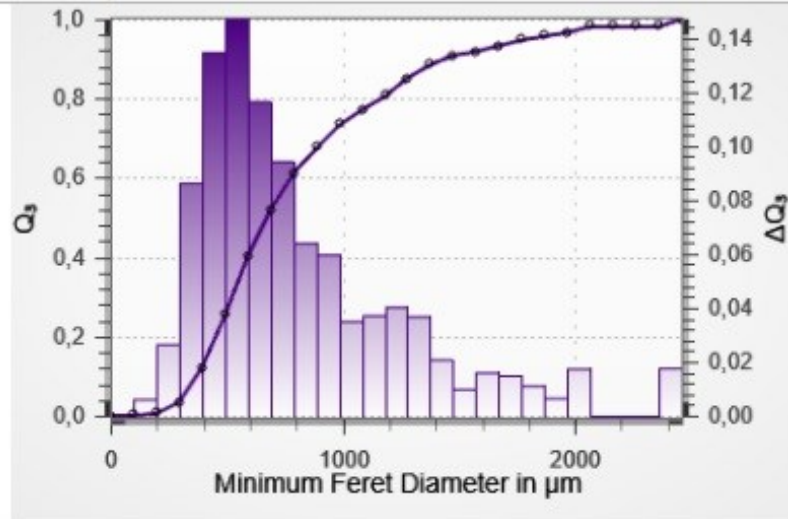
Contour Hull Area Equivalent Diameter in μm

Manner-kakao-25%tuku_01



Minimum Feret Diameter in μm

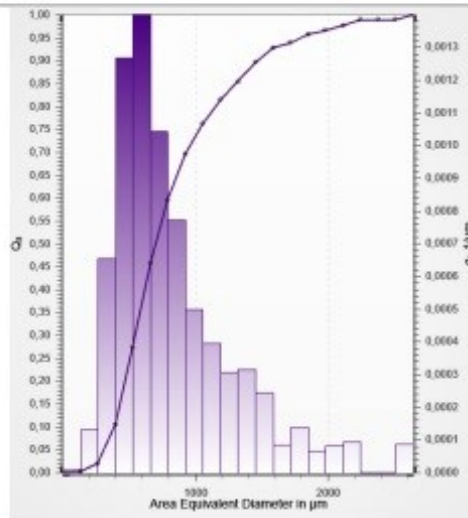
Manner-kakao-25%tuku_01



Graph(s)

Area Equivalent Diameter in μm

Manner-kakao-25%tuku_01



Statistics

Manner-kakao-25%tuku_01

Parameter x: Contour Hull Area Equivalent Diameter
 No. of Particles (valid) 20005 (18144)

Q3 (x) in %	x in μm
10	0,407
50	0,744
90	1,555

Parameter x: Maximum Feret Diameter
 No. of Particles (valid) 20005 (18144)

Q3 (x) in %	x in μm
10	0,489
50	0,905
90	1,804

Parameter x: Minimum Feret Diameter
 No. of Particles (valid) 20005 (18144)

Q3 (x) in %	x in μm
10	0,376
50	0,671
90	1,439

Manner-kakao-25%tuku_01

Distribution Table(s)

Parameter: Area Equivalent Diameter

x	No. of Particles	dQ3 in %	Q3(x) in %
0	9446	1,51	1,51

Manner-kakao-25%tuku_01		Distribution Table(s)	
Parameter:		Area Equivalent Diameter	
x	No. of Particles	dQ3 in %	Q3(x) in %
0	9446	1,51	1,51

06.04.2022

5 / 6

ANALYSETTE 28
ImageSizer

Report of Measurements



x	No. of Particles	dQ3 in %	Q3(x) in %
264	6770	22,78	24,29
528	2324	30,92	55,20
792	456	16,94	72,14
1056	118	10,11	82,25
1320	55	8,31	90,55
1584	11	3,07	93,63
1848	8	3,00	96,63
2112	3	1,66	98,28
2376	2	1,72	100,00

File Name	Original Sample Image
C:\ProgramData\Projects\repk	

PŘÍLOHA P XXVII VÝSLEDKY MĚŘENÍ LASEROVOU DIFRAKČÍ – SUŠENÉ MLÉKO PLNOTUČNÉ ZN. BOHEMILK

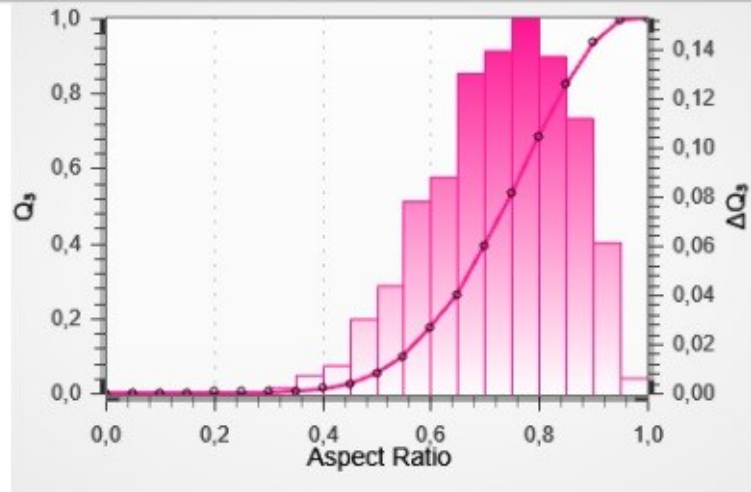
Project Name	User	Date	Time	Comments
BoheMilk-susene mleko-plnotucne	standard user	06.04.2022	8:44:07	

		D-Values		
		Q3 = 10 %	Q3 = 50 %	Q3 = 90 %
Contour Hull Area Equivalent Diameter	BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05	1,30	2,54	3,64
Maximum Feret Diameter	BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05	2,31	4,80	7,00
Minimum Feret Diameter	BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05	1,08	2,03	3,00

Name of Measurement	User	Date	Time	No. of Particles	No. of Images
BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05	standard user	06.04.2022	8:50:53	1099	579

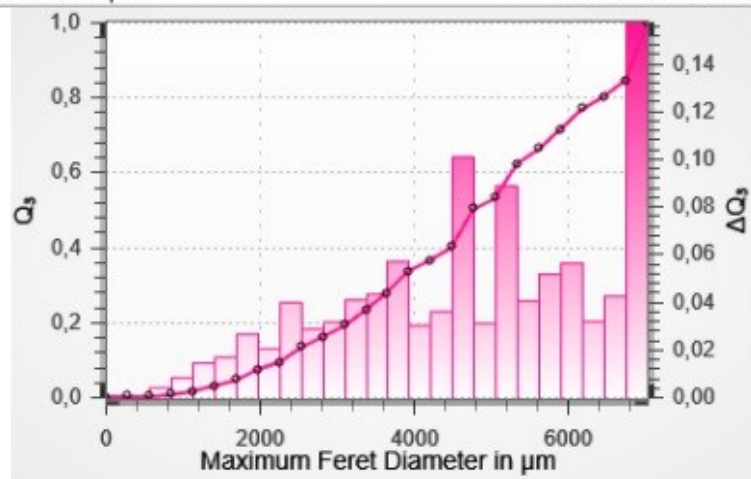
Graph(s)

Aspect Ratio BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05



Maximum Feret Diameter in μm

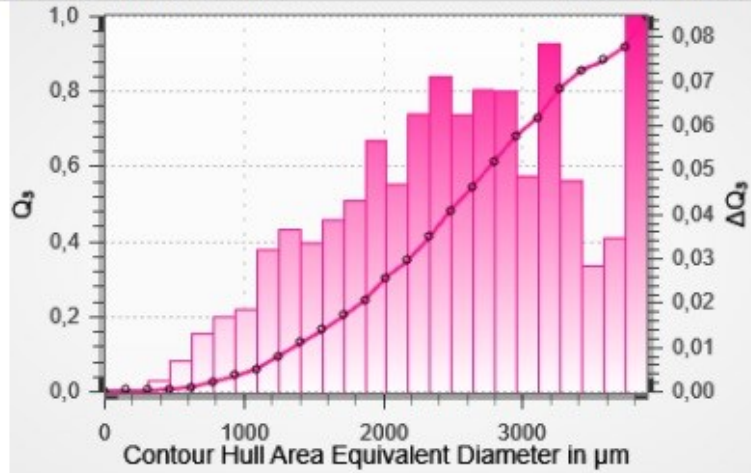
BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05



Graph(s)

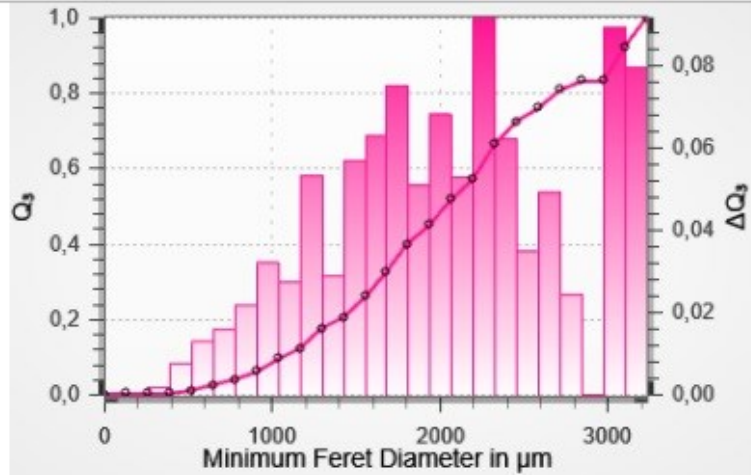
Contour Hull Area Equivalent Diameter in μm

BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05



Minimum Feret Diameter in μm

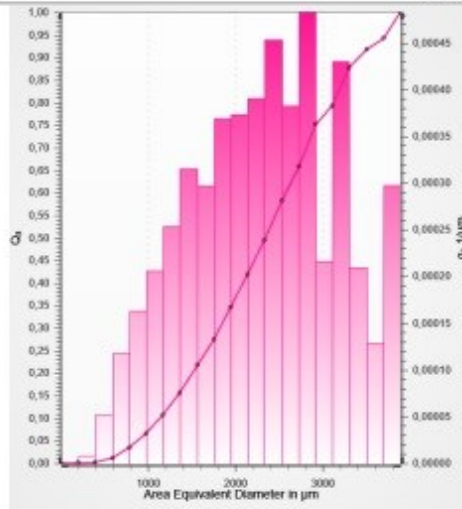
BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05



Graph(s)

Area Equivalent Diameter in μm

BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05



Statistics

BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05

Parameter x:	Contour Hull Area Equivalent Diameter
No. of Particles (valid)	1099 (844)

Q3 (x) in %	x in μm
10	1,299
50	2,541
90	3,642

Parameter x:	Maximum Feret Diameter
No. of Particles (valid)	1099 (844)

Q3 (x) in %	x in μm
10	2,31
50	4,796
90	7,002

Parameter x:	Minimum Feret Diameter
No. of Particles (valid)	1099 (844)

Q3 (x) in %	x in μm
10	1,08
50	2,026
90	3,004

BoheMilk-susene mleko-plnotucne_05

Distribution Table(s)

Parameter:	Area Equivalent Diameter		
x	No. of Particles	dQ3 in %	Q3(x) in %
0	188	0,10	0,10

x	No. of Particles	dQ3 in %	Q3(x) in %
389	338	2,18	2,27
779	185	5,04	7,31
1168	117	8,72	16,03
1557	68	11,00	27,03
1946	47	13,79	40,81
2336	35	16,57	57,38
2725	21	15,23	72,61
3114	15	15,45	88,06
3504	7	11,94	100,00

File Name	Original Sample Image
C:\ProgramData\Projects\repek mleko-plhotucnelmeas_05\ima	

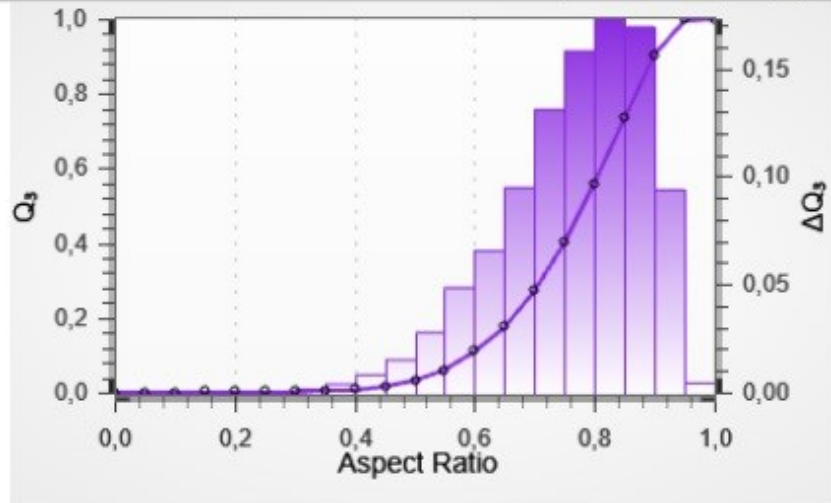
**PŘÍLOHA P XXVIII VÝSLEDKY MĚŘENÍ LASEROVOU DIFRAKČÍ
 – INSTANTNÍ NÁPOJ KOKOSOVÝ ZN. TOPNATUR**

Project Name		User	Date	Time	Comments																									
Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural		standard user	04.04.2022	8:34:53																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">D-Values</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Q3 = 10 %</th> <th>Q3 = 50 %</th> <th>Q3 = 90 %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Contour Hull Area Equivalent Diameter</td> <td>Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04</td> <td>0,36</td> <td>0,73</td> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>Maximum Feret Diameter</td> <td>Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04</td> <td>0,52</td> <td>1,18</td> <td>3,16</td> </tr> <tr> <td>Minimum Feret Diameter</td> <td>Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04</td> <td>0,33</td> <td>0,71</td> <td>1,78</td> </tr> </tbody> </table>						D-Values					Q3 = 10 %	Q3 = 50 %	Q3 = 90 %	Contour Hull Area Equivalent Diameter	Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04	0,36	0,73	1,68	Maximum Feret Diameter	Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04	0,52	1,18	3,16	Minimum Feret Diameter	Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04	0,33	0,71	1,78
		D-Values																												
		Q3 = 10 %	Q3 = 50 %	Q3 = 90 %																										
Contour Hull Area Equivalent Diameter	Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04	0,36	0,73	1,68																										
Maximum Feret Diameter	Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04	0,52	1,18	3,16																										
Minimum Feret Diameter	Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04	0,33	0,71	1,78																										

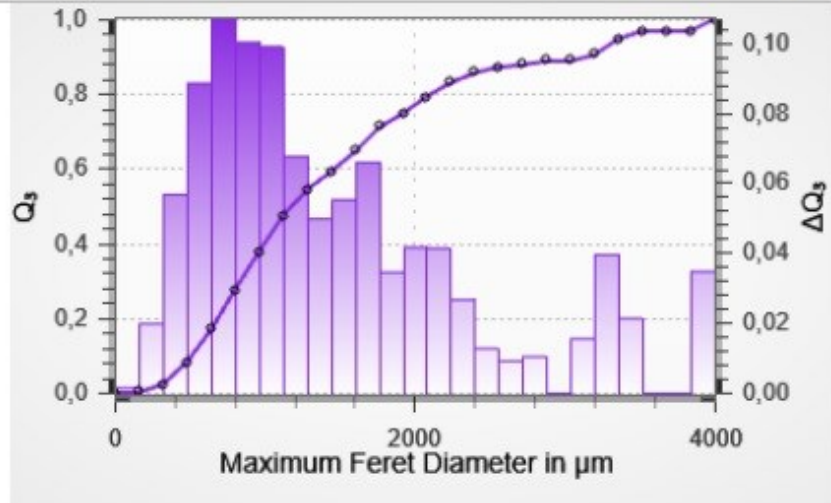
Name of Measurement	User	Date	Time	No. of Particles	No. of Images
Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04	standard user	04.04.2022	8:52:49	14093	3440

Graph(s)

Aspect Ratio Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04



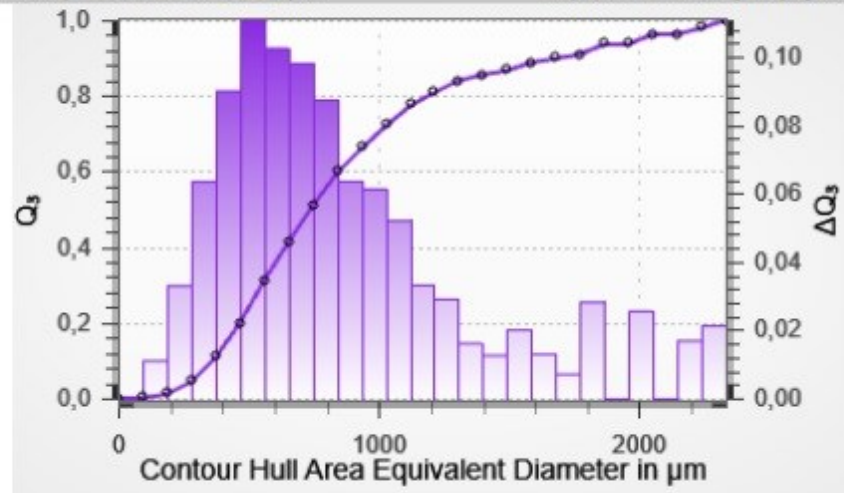
Maximum Feret Diameter in μm Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04



Graph(s)

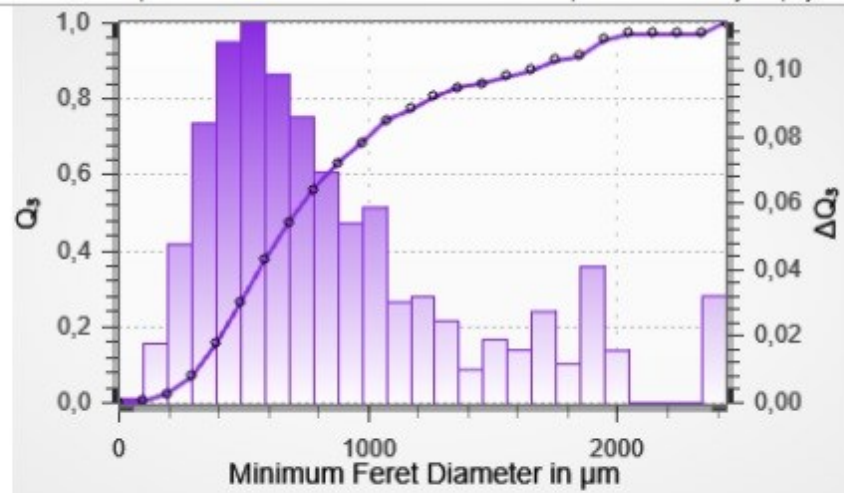
Contour Hull Area Equivalent Diameter in μm

Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04



Minimum Feret Diameter in μm

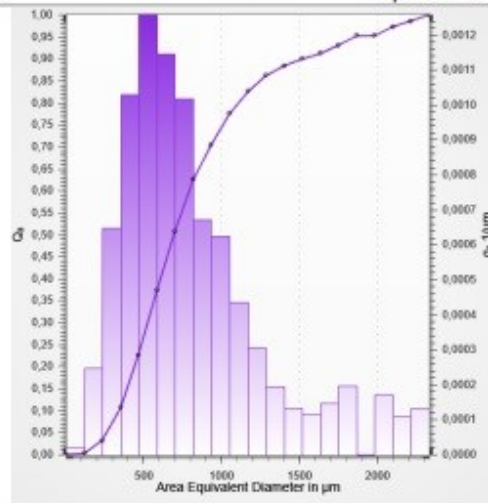
Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04



Graph(s)

Area Equivalent Diameter in μm

Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04



Statistics

Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04

Parameter x: Contour Hull Area Equivalent Diameter

No. of Particles (valid) 14093 (12235)

Q3 (x) in %	x in μm
10	0,362
50	0,735
90	1,68

Parameter x: Maximum Feret Diameter

No. of Particles (valid) 14093 (12235)

Q3 (x) in %	x in μm
10	0,523
50	1,181
90	3,157

Parameter x: Minimum Feret Diameter

No. of Particles (valid) 14093 (12235)

Q3 (x) in %	x in μm
10	0,334
50	0,706
90	1,78

Topnatur-kokosovy napoj-suseny-natural_04

Distribution Table(s)

Parameter: Area Equivalent Diameter

x	No. of Particles	dQ3 in %	Q3(x) in %
0	6764	2,54	2,54

x	No. of Particles	dQ3 in %	Q3(x) in %
233	4147	17,32	19,86
466	1440	26,47	46,33
700	387	19,82	66,15
933	114	12,91	79,06
1166	31	6,34	85,40
1399	10	3,30	88,70
1632	9	4,88	93,58
1865	3	2,57	96,15
2099	3	3,85	100,00

File Name	Original Sample Image
C:\ProgramData\Projects\repka napoj-suseny-natural/meas_04	