

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

KATEDRA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ STAVEB



**VLIV POSKLIZŇOVÉ DOPRAVY A ČIŠTĚNÍ NA  
KVALITATIVNÍ PARAMETRY POTRAVINÁŘSKÝCH ZRNIN**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. JIŘÍ BRADNA, PH.D.

AUTOR PRÁCE: BC. TOMÁŠ KUŠEV

© 2023 ČZU V PRAZE

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Kušev

Zemědělská technika

Název práce

**Vliv posklizňové dopravy a čištění na kvalitativní parametry potravinářských zrnin**

Název anglicky

**Influence of post-harvest transport and cleaning on qualitative parameters of food grains**

### Cíle práce

Při posklizňovém ošetřování potravinářských zrnin se jedná převážně o logistické úlohy na posklizňových linkách zahrnující dopravní cesty jak horizontální tak vertikální (korečkové elevátory, řetězové dopravníky apod.), dále také čištění a třídění, což způsobuje v mnoha případech snížení vnější kvality dopravovaných a čištěných zrnin. Podmínky takovýchto operací nejsou vždy optimální, proto je cílem diplomové práce návrh pro nastavení správných procesních parametrů nejen při dopravních úlohách, ale i při čištění a třídění na síťových čističkách.

### Metodika

Diplomová práce vychází z provedené literární rešerše a vlastních závěrů studenta při posouzení vlivu jednotlivých technologií posklizňových úprav, dopravních cest a vícenásobných operací čištění a třídění v průběhu posklizňového ošetření zrnin na jejich kvalitativní parametry. Praktická část práce spočívá v posouzení možností zachování kvality potravinářských zrnin formou volby vhodných sít a nastavení správných procesních parametrů při čištění a třídění na síťových čističkách zrnin.

Diplomová práce se bude skládat z těchto částí:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Výchozí podmínky řešení
5. Návrh řešení a dosažené výsledky
6. Diskuse a závěry
7. Seznam literatury
8. Přílohy

## Doporučený rozsah práce

50-60

## Klíčová slova

potravinářské zrniny, dopravní cesty, kvalitativní parametry, čištění a třídění

---

## Doporučené zdroje informací

DRAŽAN, F. a K. JEŘÁBEK. Manipulace s materiálem. Praha: SNTL/ALFA, 1979, 454 s.

Řurkovič O.: Dopravní a manipulační stroje. VŠZ v Praze 1995, 224 stran, ISBN 80-213-0134-1.

DVOŘÁK, J. Skladování a ošetřování zrnin. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2002, 43 s. Zemědělská technika. ISBN 80-238-9953-8.

MALEŘ, J. Skladování zrnin. Vyd. 1. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, 1996, 58 s. Mechanizace. ISBN 80-710-5113-6.

SKALICKÝ, J., P. KROUPA, J. BRADNA a L. PASTORKOVÁ. Ošetřování a skladování zrnin ve věžových zásobnících a halových skladech: metodická příručka. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008, 80 s. ISBN 978-80-86884-38-7.

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Jiří Bradna, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2022

**doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 05. 02. 2023

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv posklizňové dopravy a čištění na kvalitativní parametry potravinářských zrnin vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, 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, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 30. 3. 2023

---

Bc. Tomáš Kušev

## **PODĚKOVÁNÍ**

Zde bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Bradnovi, Ph.D. za praktické rady a vstřícný přístup ke konzultacím diplomové práce. Také mu děkuji za psychickou podporu v době psaní. Dále děkuji Ing. Petru Kostkovi za spolupráci a pomoc při měření. V neposlední řadě děkuji své rodině a blízkým a svým kamarádům, kteří mě podpořili a vytvořili mi prostor a klid k dokončení studia i přes nečekané události, kterými bylo studium poznamenáno. Za toto vše děkuji.

# VLIV POSKLIZŇOVÉ DOPRAVY A ČIŠTĚNÍ NA KVALITATIVNÍ PARAMETRY POTRAVINÁŘSKÝCH ZRNIN

**ABSTRAKT:** Diplomová práce je zaměřena na problematiku posklizňového zpracování zemědělských zrnitých materiálů ve vztahu k vlastnostem směsí, které následně ovlivňují jejich skladovatelnost. Důraz je kladen na sítové čištění, jako hlavní způsob separace nežádoucích složek ve směsi v reálných provozech. Teoretické východisko seznamuje s jednotlivými procesními parametry síťových čističek určených k čištění zemědělských zrnitých plodin. Neoddělitelnou součástí je i rozbor chování směsí ve vztahu k různým nastavením procesních parametrů čističky. Teoretická východiska jsou následně aplikována na praktický experiment. Experiment byl sestaven tak, aby jím bylo možné ověřit vliv změny procesních parametrů na výslednou jakost směsí. Zkoumanými parametry zde jsou velikost otvoru síta a přiváděné množství materiálu do čističky. Výsledkem práce je ověření zlepšení či zachování vlastností směsí pro potenciální následné dlouhodobé skladování a určení konkrétního ideálního nastavení síťové čističky. Jako testovaný materiál byla zvolena potravinářská pšenice ozimá, odrůda Hyking.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** potravinářské zrniny, dopravní cesty, kvalitativní parametry, čištění a třídění

## **INFLUENCE OF POST-HARVEST TRANSPORT A CLEANING ON QUALITATIVE PARAMETERS OF FOOD GRAIN**

**ABSTRACT:** The thesis is focused on the issue of post-harvest processing of agricultural grain crops in relation to the properties of the mixture determining their storability. Emphasis is placed on sieve cleaning as the main method of separation of undesirable components in the mixture in real operations. The theoretical background introduces the individual process parameters of sieve cleaners designed for cleaning agricultural grain crops. An integral part is the analysis of the behaviour of the mixtures in relation to the different settings of the process parameters of the sieve cleaner. The theoretical background is then applied to a practical experiment. The experiment was set up in such a way that it was possible to verify the effect of changing the process parameters on the resulting quality of the mixture. The investigated parameters here are the size of the sieve holes and the amount of material fed into the sieve cleaner. The result of the thesis is to verify the improvement or preservation of the mixture properties for potential subsequent long-term storage and the determination of the specific ideal setting of the sieve cleaner. As the tested material was chosen food grade wheat variety Hyking.

**KEYWORDS:** food grain, distribution paths, qualitative parameters, cleaning and sorting

# OBSAH

1	ÚVOD.....	- 3 -
2	CÍL PRÁCE A METODIKA .....	- 5 -
2.1	Cíl práce .....	- 5 -
2.2	Metodika práce .....	- 5 -
3	TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	- 7 -
3.1	Zrniny jako průmyslová surovina .....	- 7 -
3.2	Kvalitativní požadavky .....	- 9 -
3.3	Požadavky na pšenici potravinářské jakosti .....	- 10 -
3.4	Rozměrové čištění.....	- 11 -
3.4.1	Názvosloví.....	- 11 -
3.5	Charakter vstupního materiálu.....	- 12 -
3.6	Morfologie částic .....	- 13 -
3.7	Teorie prosevu .....	- 14 -
3.8	Rovnice propadu .....	- 16 -
3.9	Konstrukce čističek .....	- 17 -
3.10	Materiály .....	- 18 -
3.11	Síta .....	- 19 -
3.11.1	Rovinná síta a síly na částici .....	- 19 -
3.11.2	Cylindrická síta a síly na částici .....	- 20 -
3.12	Pohyb sít .....	- 22 -
3.13	Určení sít .....	- 23 -
3.14	Sklon, frekvence a amplituda kmitu .....	- 24 -
3.15	Potah sít .....	- 25 -
3.16	Čištění sít.....	- 27 -
3.17	Volba sít .....	- 29 -
3.18	Dělitelnost a variační křivky směsi .....	- 29 -
3.19	Tvar a velikost otvorů .....	- 31 -
3.20	Výsledný efekt .....	- 32 -
4	VÝCHOZÍ PODMÍNKY ŘEŠENÍ .....	- 34 -
4.1	Popis linky .....	- 34 -
4.2	Síta pro JCC 03 VibroCompact .....	- 37 -
4.3	Vstupní materiál.....	- 37 -
4.4	Zrnitostní analýza vstupního materiálu .....	- 38 -
4.5	Shrnutí výsledků granulometrické analýzy .....	- 39 -



5	NÁVRH ŘEŠENÍ A DOSAŽENÉ VÝSLEDKY.....	- 42 -
5.1	Počáteční nastavení.....	- 42 -
5.2	Rozbor sítem 2,5x20 mm.....	- 43 -
5.3	Popis měřených hodnot.....	- 44 -
5.4	Získané hodnoty.....	- 44 -
6	VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR.....	- 48 -
6.1	Vyhodnocení.....	- 48 -
6.2	Závěr.....	- 52 -
	Seznam použitých literárních zdrojů.....	- 55 -
	Seznam obrázků.....	- 58 -
	Seznam tabulek.....	- 59 -
	Seznam rovnic.....	- 60 -
7	PŘÍLOHY.....	- 61 -

# 1 ÚVOD

Obiloviny se řadí mezi ušlechtilé trávy a jsou zdrojem základních živin člověka. Lidská historie je s obilovinami velmi úzce spjata. Jedná se o nejstarší člověkem pěstované kulturní rostliny, které jednoznačně přispěly k rozvoji a pokroku civilizace. Výrazným přelomem byla neolitická revoluce, kdy došlo k faktickému vzniku zemědělství.

Dnes, v době, kdy se značně prosazuje Zemědělství 4.0, má způsob obdělávání půdy již málo společného se způsobem z dob neolitu. Velké změny byly zaznamenány ve všech směrech nakládání se zemědělskými plodinami, ať už hovoříme o používané mechanizaci, ochraně rostlin, šlechtitelské činnosti nebo skladování. Všechny tyto změny byly zavedeny z důvodu vyšších výnosů, větší rentability pěstování, ale i z důvodu postupného zvyšování spotřeby obilovin a olejnin lidskou populací.

Nesmíme opomenout, že se zrniny ve fázi odkupu od zemědělského producenta stávají průmyslovou surovinou. Cíli dalšího zpracovatelského procesu musí být odpovídající ošetření a uskladnění pro dodržení požadovaných kvalitativních a kvantitativních parametrů. Je totiž nežádoucí, aby tyto parametry v závislosti na čase měly klesající tendenci. Pro plnění těchto cílů je potřeba podrobně studovat a poznat jednotlivé plodiny. Ovšem stojí za zmínku, že tvorba jakosti nezačíná s posklizňovým zpracováním, ale již u samotného zemědělského producenta. Jako podmínky jakosti můžeme uvést např. jakost použitého osiva, vhodné vegetační podmínky nebo precizní technologický postup sklizně. Tvorba jakosti v posklizňových procesech zrnin se do značné míry odvíjí od jakosti čištění. Ačkoliv proces čištění přímo během sklizně (tzn. ve sklízecích mlátičkách) je stále zdokonalován, pro dodržení stanovených požadavků při skladování nestačí a je nutné zařadit další čištění na stacionárních strojích.

Významné postavení obilovin v národním hospodářství dokládá i fakt, že se pěstují na více než polovině celkové výměry orné půdy. Všechny zrniny jsou sezónním produktem a jejich spotřeba probíhá kontinuálně v období od sklizně do spotřeby. Proto je skladování významnou částí životního cyklu zrnin. Skladování u zrnin probíhá od sklizně až po zpracování, nebo spotřebu. Sklizený materiál je živou hmotou, se kterým musí být vhodně manipulováno a nakládáno. Skladování materiálu se většinou provádí v období několika měsíců až jednoho roku. V některých případech může skladování probíhat i po dobu

jednotek let. V tomto období musí být zajištěna optimální skladovatelnost s minimálními skladovacími ztrátami. Těmto ztrátám se lze vyvarovat i vhodnou přípravou směsi na skladování.

Míra biologické hodnoty zrnin je měřitelná a kvantifikovatelná. Ukazateli této hodnoty jsou energie a klíčivost. Jakákoliv úprava v posklizňovém procesu může tyto hodnoty snížit, proto je potřeba snažit se celkově o co nejmenší počet zásahů, co největší efektivitu zásahů a o co největší šetrnost k materiálu. Strategickým cílem má být udržení skladovaného materiálu v přirozeném stavu. Jelikož je zrno ve skladech provzdušňováno, musí být na tento proces řádně připraveno procesem čištění předcházejícího skladování. Na tento problém reagují zemědělské podniky výstavbami nových vhodných posklizňových zpracovatelských linek.

Vývoj se totiž nevyhnul ani posklizňovému čištění, které jde stále kupředu a snaží se reflektovat stále se zvyšující nároky na kvalitativní a kvantitativní požadavky při skladování. Jednotlivé firmy se neustále snaží vylepšovat své produkty, aby dokázaly splňovat zmiňované požadavky. Nejstarším, nejosvědčenějším a dnes stále nejpoužívanějším mechanismem čištění je sítové čištění. I v této oblasti bylo během minulosti učiněno mnoho inovací, které přispěly k zefektivnění celého procesu. Pro další zvyšování efektivity je potřeba porozumět čištění jako ucelenému systému aktivit, pochopit mechanismy jednotlivých způsobů čištění a charakteristické chování zrnitých směsí. Vhodná volba čištění pak dokáže přispět k dodržení stanovených parametrů při skladovacím procesu.

## 2 CÍL PRÁCE A METODIKA

### 2.1 Cíl práce

Cílem práce je návrh správného nastavení procesních parametrů při čištění a třídění vybraných zrnin na sítové čističce a posouzení vlivu tohoto nastavení na zachování kvalitativních parametrů ošetřovaných zrnin. Jedná se o rozšíření znalostí, které již byly teoreticky rozpracovány v bakalářské práci na téma: „*Posouzení vhodných metod posklizňového čištění zrnin*“, především v oblasti rozměrového (sítového) rozdělování zemědělských plodin. Součástí práce je podrobný rozbor chování zrnových směsí ve strojích sítové mechanizace rozdělování. Stejně tak je věnována pozornost i mechanismům a principům používaným v konstrukci síťových čističek.

Praktická část aplikuje načerpané teoretické znalosti na navržený experiment. Cílem experimentu je ověření zachování, nebo zlepšení vnějších vlastností zrna. Tyto vlastnosti jsou základním východiskem pro dlouhodobou skladovatelnost plodiny.

### 2.2 Metodika práce

Teoretický přehled řešené problematiky je zpracován formou rešerše. Hlavními zdroji informací jsou literární podklady a normy. Jelikož lze pozorovat velké množství zahraničních autorů věnujících se posklizňovému zpracování zrnin, byla literatura v českém jazyce vhodně doplněna zahraniční literaturou v anglickém jazyce. Použité zdroje jsou dále rozšířeny o internetové online zdroje, především informacemi na webových stránkách jednotlivých českých i zahraničních výrobců mechanizace posklizňového zpracování zemědělských plodin.

Provedení praktického experimentu probíhalo na lince dodané firmou JK Machinery a.s. Tato linka je instalována v jedné z laboratorních hal Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Experiment probíhal v koordinaci s Výzkumným ústavem zemědělské techniky, v. v. i.

Experiment přímo navazoval na měření zrnitostního složení pšenice provedeného ve výše zmíněné bakalářské práci. Vzorky pšenice jsou analyzovány při osazení reálné sítové čističky různými typy sad pracovních sít. Každá sada sít je testována při různých kapacitách čištění. Numerické výstupy měření jsou zpracovány v prostředí programu MS Excel do

grafů. Závěrem naměřené hodnoty ukážou, zda dochází k udržení či zlepšení vhodných vlastností zrna pro dlouhodobé skladování.

Pro provedení měření byl navržen metodický postup skládající se z následujících kroků:

- a) Nastavení požadovaného sklonu vibromotorů a velikosti nevyvážků.
- b) Osazení laboratorní sítové čističky vybranou sadou pracovních sít.
- c) Na frekvenčním měniči nastavení požadované frekvence napětí dávkovacího šneku.
- d) Homogenizování vzorku testovaného materiálu.
- e) Spuštění laboratorní sítové čističky.
- f) Spuštění dávkovacího šneku na požadované frekvenci.
- g) Po ustálení toku materiálu na horním síti laboratorní čističky odečtení míry zaplnění horního síta na stupnici.
- h) Po zpracování celého množství materiálu vypnutí dávkovacího šneku.
- i) Vypnutí laboratorní sítové čističky.
- j) Zvážení a záznam hmotností všech frakcí.
- k) Následně vhodná změna frekvence vstupního napětí dávkovacího šneku a postup od bodu g) s opakováním minimálně 4krát s ohledem na nezbytné množství výsledků pro adekvátní statistické vyhodnocení.
- l) Po minimálně 4 testovaných frekvencích osazení laboratorní sítové čističky další sadou pracovních sít a postup opakován od bodu b).
- m) Po ukončení testů kompletní vyčištění stroje a dávkovacího šneku pro další testy.
- n) Zpracování naměřených hodnot vhodně zvolenými grafickými výstupy v programu MS Excel.

### 3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Problematika posklizňového zpracování je velice rozsáhlá. Samotný princip a použitá mechanizace čištění je ovlivněn fyzikálními vlastnostmi zrnin. Při aplikaci vhodné technologie je možné dosáhnout požadovaného oddělení příměsí a nečistot od hlavní složky, tzv. rozdělení směsi. [1]

Oddělení těchto složek je důležité především z hlediska způsobu skladování plodin. Zrno totiž bývá hojně skladováno za použití aktivního větrání. To je způsob, kdy dochází k ošetření skladovaného zrna proudem vzduchu. V aktivně větraných systémech skladování je nutné zajistit možnost rovnoměrného proudění ve všech vrstvách naskladněného materiálu. Hovoříme o proudění vzduchu v mezerách mezi zrny. Předpokladem rovnoměrné cirkulace je dobrá propustnost vzduchu vrstvou materiálu. Tento předpoklad je splněn, pokud ze směsi oddělíme nežádoucí frakce a příměsí, především prachové částice a drobná zrna nebo zrna jiných nežádoucích plodin, které mohou být příčinou ucpávání mezizrnového prostoru a tím zhoršené a nerovnoměrné cirkulace vzduchu v celém objemu skladovaného zrnitého materiálu. [2]

#### 3.1 Zrniny jako průmyslová surovina

Odběrem zrnin od zemědělského producenta se materiál stává průmyslovou surovinou. Úkolem odběratele, který si tuto surovinu opatřil, je převzatou obilninu ošetřit a zpracovat odpovídajícím způsobem tak, aby byly poskytnuty takové podmínky, které povedou k udržení nebo dokonce vylepšení jakostních parametrů materiálu. Podmínky, na nichž závisí výchozí stav tvorby jakosti, jsou: jakost osiva, vegetační podmínky růstu a zrání, technologický postup sklizně, technologický postup posklizňové úpravy a dopravy. Je ověřeno, že vegetační podmínky mají velmi často rozhodující vliv na jakost a skladovatelnost zrnin. Lze například pozorovat, že v letech s nižšími srážkovými úhrny a zejména vyššími teplotami je lepek v zrnech pšenice silnější. Během vegetace je také možnost napadení porostu chorobou či škůdcem, vliv tohoto faktoru ovšem velmi efektivně reguluje technologie ochrany rostlin. Sklizeň plodiny musí probíhat v době ideální zralosti zrna. Sklízecí mlátičky musí vymlacovat zrno velmi šetrně, aby nedocházelo k poškozování, zároveň velmi efektivně, aby nedocházelo k ekonomickým ztrátám. Doba sklizně je kromě stupně zralosti také ovlivněna počasím, kdy sklizená mokrá plodina může být napadena různými mikroorganismy. V období těsně po sklizni jsou zrniny velmi citlivé, jelikož v nich

ještě neproběhlo posklizňové zrání, tedy ještě se nenachází ve stavu, kdy je lze bezpečně a bez obav dlouhodobě skladovat. Toto období je proto velmi důležité pro tvorbu výsledné jakosti zrna. V posklizňové technologii je potřeba mít neustále na paměti, že se stále jedná o živou hmotu, ve které probíhají i procesy pouze okem nepozorovatelné. [3]

U sklizeného materiálu lze rozpoznávat některé biologické pochody, se kterými je nutno při skladování počítat. Mezi tyto pochody lze řadit:

- dýchání,
- posklizňové zrání,
- klíčení,
- samozáhřev,
- sléhání.

Dýchání lze popsat jako oxidaci vysokomolekulárních sloučenin bohatých na energii. Tato energie je uvolňována a buňky s její pomocí řídí své životní procesy. Dýchání může probíhat aerobně, nebo anaerobně. V obou případech nastává ztráta na množství sušiny zrna, která může vést až ke kompletnímu znehodnocení materiálu. U aerobního dýchání je produktem kromě oxidu uhličitého a uvolněné energie také voda ve formě páry. Tato vlhkost zůstává v prostorech mezi jednotlivými zrny a při její kondenzaci dochází k nežádoucímu tzv. pocení. Vznikající oxid uhličitý se také usazuje v prostorech mezi zrny a zejména ve spodních částech skladovacího prostoru vytváří atmosféru vhodnou pro anaerobní dýchání. Při tomto typu dýchání vzniká produkt ethanol, který na zrno působí velmi nežádoucím efektem a zkracuje jeho životnost. Ethanol v zrnu působí nejvíce na klíček, který kompletně zničí a tím sníží klíčivost. Proto zejména osivařské materiály nesmí být skladovány při nedostatku kyslíku. Dýchání je závislé na vlhkosti zrna, kdy zrno s vlhkostí kolem 11 % nedýchá téměř vůbec. [3]

Posklizňové dozrávání lze popsat jako biologické procesy, které vedou ke zlepšení některých specifických vlastností například klíčivost. Tyto procesy probíhají až do fyziologické zralosti zrna. [3]

Klíčení zrna je velmi nežádoucí stav při skladování a je známkou hrubého porušení technologické kázně skladování. Jako hlavní činitelé klíčení jsou teplota, vlhkost a přístup vzduchu. Klíčení začíná fází bobtnání, při které dochází k adsorpci vody z okolí. Základním

předpokladem pro zamezení klíčení je snížení vlhkosti, neboť samotné snížení teploty je nepostačující. Proces klíčení je opět charakteristický produkcí tepla a značným úbytkem sušiny. [3]

Samozáhřev je jednou z největších příčin ztrát při skladování. Samozáhřev vzniká v důsledku činnosti fyziologických procesů zrna a vlivem působení mikroorganismů. Hlavním faktorem pro samozáhřev je zvýšení vlhkosti. Jelikož se nejčastěji lze setkat s hnízdovým samozáhřevem, je možné vyvodit, že tento stav může být způsobován různým zatékáním do skladované masy, samotříděním (vlhká zrna se shlukují), nebo navlhnutím skladované masy. Samozáhřev má tři stádia podle dosažené teploty. Teplota do 30 °C, kdy se ještě vnější změny neprojevují, je první stádium. Vhodným zásahem (snížení vlhkosti a teploty) je reálná možnost materiál zachránit a uchovat jeho jakost. Při teplotě do 38 °C již dochází k rozvoji mikroorganismů a intenzivnímu pocení. V tomto stavu dochází ke ztrátám sušiny. V posledním stádiu může teplota dosahovat 50 až 80 °C a v extrémních případech může dojít k samovznícení. V tomto stádiu zrno změnilo barvu a ztratilo jakoukoliv pekařskou hodnotu. [4]

Sléhání obilné masy je proces, při kterém materiál ztrácí svou sypkost. Jako příčiny sléhání se uvádí tlak vyšších vrstev ve skladu, zamrznutí vlhké vrstvy, nebo samozáhřev. Při objevení tohoto jevu je většinou možné ztracenou sypkost navrátit, ovšem při zanedbání stavu již nemusí být možná obnova a je pravděpodobné objevení jiných nežádoucích jevů a jakost hmoty je nevratně ztracena. [1]

### 3.2 Kvalitativní požadavky

Každý záměr využití zrnitých plodin má jiné nároky na kvalitu a čistotu směsi. Kvalitativní požadavky na obiloviny jsou zakotveny v zákonu č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a v zákonu č. 91/1996 Sb. o krmivech. Tyto požadavky jsou soubor kvantifikovatelných fyzikálních a chemických ukazatelů. Dalšími dokumenty stanovujícími kvalitativní požadavky na zrniny jsou normy. Stěžejní normou zabývající se kvalitou potravinářského obilí je norma ČSN 46 1100 skládající se z 8 částí. Požadavky na krmivářské obilí jsou shrnuty v normě ČSN 46 1200. [5]

První část normy ČSN 46 1100, označená jako ČSN 46 1100-1, definuje pojem nečistoty jako: *Celé nebo rozmělněné části účelově nepoužitelných nebo nežádoucích složek*



v příslušném druhu obilovin, včetně mrtvých škůdců; nečistoty zahrnují škodlivé nečistoty, cizorodé látky, anorganické (minerální) nečistoty a organické nečistoty. [6]

Norma definuje mimo jiné i pojem příměsi jako: *Zrna příslušného druhu obilovin s odlišnou jakostí snižující celkovou hodnotu výrobku nebo semena jiných než příslušných druhů obilovin specifikovaných v jednotlivých částech této normy.* Tyto definice obsahuje i norma ČSN 46 1200-1. [6] [7]

Pokyny pro určení množství nečistot a příměsí v pšenici, ječmeni (s výjimkou sladovnického ječmene), žitu, žitovci, ovsu, kukuřici, prosu, čiroku, moháru a čumíze shrnuje norma ČSN 46 1011-6. Skladba těchto příměsí a nečistot je rozebrána v příslušných částech výše zmíněných norem ČSN 46 1100 a ČSN 46 1200. [8] Požadavky kladené normou ČSN 46 1100-2 na potravinářskou pšenici jsou uvedeny v *Tabulce 1*.

### 3.3 Požadavky na pšenici potravinářské jakosti

*Tabulka 1 Jakostní ukazatele potravinářské pšenice*

<b>Jakostní ukazatele</b>	<b>Pšenice pekárenská</b>	<b>Pšenice pečivářenská</b>
Příměsi a nečistoty	nejvýše 6 %	nejvýše 6 %
z toho:		
1. Zlomky zrn	nejvýše 3,0 %	nejvýše 3,0 %
2. Zrnové příměsi	nejvýše 5,0 %	nejvýše 5,0 %
z toho: Tepelně poškozená zrna	nejvýše 0,5 %	nejvýše 0,5 %
3. Porostlá zrna	nejvýše 2,5 %	nejvýše 2,5 %
4. Nečistoty	nejvýše 0,5 %	nejvýše 0,5 %
z toho: Tepelně poškozená zrna	nejvýše 0,05 %	nejvýše 0,05 %

Zdroj: Norma ČSN 46 1100-2 [9]

Norma 46 1100-2 ovšem není jedinou normou, která se kvalitativními požadavky na potravinářskou pšenici zabývá. Dalšími normami jsou: ČSN ISO 712 dovolující vlhkost nejvýše 14 %; ČSN ISO 7971-2 určující objemovou hmotnost na 76 kg/hl; obsah N-látek v sušině je určován dle normy ČSN 46 1011-18, index sedimentace (SEDI) je určován dle ČSN ISO 5529 s hodnotou minimálně 45 ml a číslo poklesu je určováno dle ČSN ISO 5529 s hodnotou minimálně 220 s. [5]

Všechny tyto ukazatele je nutné sledovat a věnovat jim náležitou pozornost, jinak nemůže docházet k jakostnímu a efektivnímu zpracování obilnin a dalších zrnin a tím i následnému dodržení kvalitativních požadavků při procesu skladování. [10]

### 3.4 Rozměrové čištění

Rozměrové čištění, jak název napovídá, využívá rozdílných rozměrů částic. Tento způsob dělení směsi je realizován na sítích, která jsou pracovním nástrojem síťových čističek. Každé síto je charakteristické tvarem a velikostí otvorů tzv. oky. Částice přivedená na síto má dvě možnosti. První možností je zůstat nad sítím, pokud je rozměr částice větší než rozměr ok síta. Druhá možnost je propad částice sítím v případě, že je částice menší než rozměr ok. Tato metoda je v dnešní době drtivě nejrozšířenější způsob předčištění a čištění zemědělských plodin. Síťové čištění tvoří velmi důležitou součást posklizňových a zpracovatelských linek. Zpravidla je tento způsob řazen na samotný začátek linky, kdy je schopen odstranit značné množství příměsí od hlavní kultury. [11] Pro připomenutí je důležité zmínit, že samotné síťové čištění je ve většině případů nedostatečné a mělo by být doplněno dalšími metodami čištění např. triér, gravitační stůl nebo optický rozdělovač.

#### 3.4.1 Názvosloví

K práci síťových čističek se váže specifické názvosloví, které je pro detailní pochopení principu čističek a samotného procesu čištění nutné si vysvětlit.

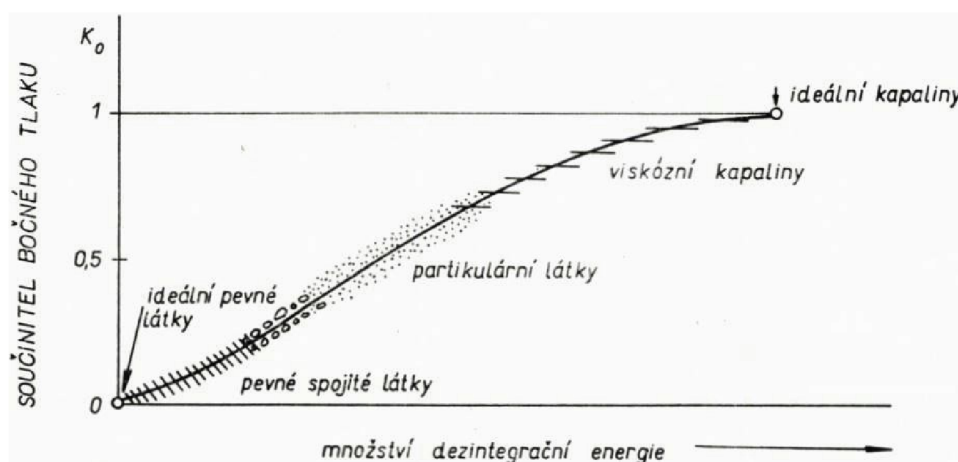
- Třídění – rozdělování homogenní směsi podle fyzikální vlastnosti, nejčastěji velikosti, do tříd.
- Rozdělování – rozdělování heterogenní směsi pro získání požadované složky.
- Přívod – množství směsi dodávané na síto, případně do stroje.
- Nadsítné, přepad nebo hrubý produkt – část směsi, která zůstala nad sítím.
- Podsítné, propad nebo jemný produkt – část směsi, která sítím propadla.
- Podzrno – částice nacházející se v hrubém produktu a zároveň menší než rozměr ok.
- Nadzrno – částice nacházející se v jemném produktu a zároveň větší než rozměr ok.

Problém nadzrna a podzrna lze sledovat jen v reálném provozu, kdy není možné zanedbávat vzájemnou interakci částic ve směsi. Ve skutečnosti totiž velké částice unášejí částice malé, díky čemuž nemusí dojít k jejich propadu. Stejně tak může dojít k nežádoucímu protlačení větších částic ostatními částicemi skrz oko síta. [12]

### 3.5 Charakter vstupního materiálu

Směsi vstupující do procesu čištění a skladování nelze zařadit ani do jedné, fyzikou kontinua velmi dobře popsané, skupiny látek: pevné, kapalné, plynné. Tyto směsi lze nejlépe označit jako partikulární látky, jelikož se nachází ve stavu, kdy hlavní roli v uvedeném systému mají pevné částice různých velikostí a tvarů. Především velikost má značný dopad na chování látky. Jak ukazuje Kézdiho diagram [13] na *Obrázku 1*, při zmenšování velikosti jednotlivých částic roste význam vnitřních napětí v látce. Při mezním zmenšení částic dochází ke ztrátě partikularity, kdy se látka chová již jako kapalina. Naopak zvětšováním částic dosáhneme stavu, kdy jsou vnitřní napětí zanedbatelná a částice jsou tak velké, že lze látku popsat jednotlivými tuhými tělesy. Ideální kapalina zde má součinitel bočního tlaku  $K = 0$  a ideální tuhá látka  $K = 1$ . Partikulární látky lze najít v širším rozsahu součinitele bočního tlaku, pro který platí  $0 \ll K \ll 1$ . [13]

Obrázek 1 Kézdiho diagram [13]



Partikulární látky jsou charakteristické vnějšími póry, které jsou vyplněné plynem, nebo kapalinou (pro síťové čištění a skladování nejběžněji vzduchem). Poměr těchto pórů k celkovému objemu látky je označován jako mezerovitost neboli porozita. Vztah pro výpočet mezerovitosti je uveden v *Rovnici 1*. [13]

$$n = \frac{V_d - V_s}{V_d} \cdot 100 \quad (1)$$

Kde  $n$  je mezerovitost;  $V_d$  objem celé hmoty a  $V_s$  objem pouze pevných částic.

S mezerovitostí úzce souvisí objemová hmotnost. Pro objemovou hmotnost, při konstantní hustotě částic, platí vztah v *Rovnici 2*.

$$\rho' = \frac{M}{V_d} = \left(1 - \frac{n}{100}\right) \cdot \rho \quad (2)$$

*Kde  $\rho'$  je objemová hmotnost;  $M$  hmotnost látky;  $V_d$  objem celé hmoty;  $n$  mezerovitost a  $\rho$  hustota částic.*

Tento vzorec je možné použít, pouze pokud je mezerovitost po celém objemu látky konstantní a hustota všech částic je stejná. [14]

Velmi zásadní je pro práci s partikulárními látkami frakční složení směsi. Frakční složení, jinými slovy zrnitostní složení, nebo disperzní složení, je absolutní anebo relativní zastoupení jednotlivých velikostních tříd ve směsi. Toto složení je nutné zjišťovat pomocí zrnitostní analýzy. Látky lze poté rozdělit do dvou skupin: monodisperzní – všechny částice jsou stejně veliké, nebo polydisperzní – částice jsou různě veliké. Pro monodisperzní látku zároveň platí, že ji lze popsat pomocí jedné částice. Frakční složení je vhodné vyjadřovat graficky, a to polynomem relativních četností jednotlivých velikostních tříd a zároveň polynomem kumulativních četností materiálu. [13]

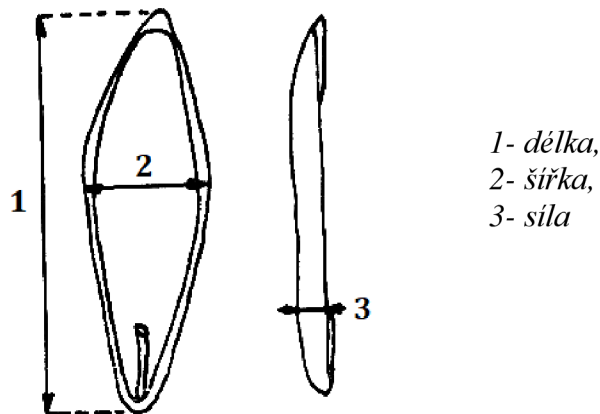
### 3.6 Morfologie částic

Z botanického hlediska obilniny řadíme do čeledi lipnicovité, řád lipnicokvěté. Jedná se o rostliny jednoleté, nebo víceleté. Dle morfologických a fyziologických vlastností rozlišujeme dvě skupiny obilovin: I. skupina – pšenice, žito, oves, ječmen, žitovec a II. skupina – kukuřice, rýže, proso, mohár, čumíza, čirok. [15] Ovšem kromě obilnin jsou zrnité materiály i olejniny jako řepka, len, konopí, slunečnice, ale i pseudoobilniny laskavec, merlík, pohanka.

Pro čištění je ovšem významnější tvarová morfologie zrna. Dle jednotlivých rozměrů můžeme označit částice jako izometrické, nebo anizometrické. Jednotlivé rozměry jsou rozlišovány jako tloušťka, šířka a délka. Rozměry se určí po samovolném uložení částice do rovnovážné polohy na vodorovné podložce, kdy tloušťka je rozměr nejmenší a je kolmý

k rovině, jako délka je označován nejdelší rozměr částice. Naznačení rozměrů je na *Obrázku 2*. Rozměr částice se poté vypočítá jako aritmetický průměr všech tří rozměrů. [14]

*Obrázek 2 Tvar částice [3]*



Izometrické částice se vyznačují přibližně stejnými všemi rozměry. Anizometrické částice mají na rozdíl od izometrických jeden rozměr, který je s ostatními nesrovnatelný. Tyto částice mohou být laminární, pokud je tloušťka mnohem menší než ostatní dva rozměry, nebo jsou to částice fibrilární, kdy je délka mnohem větší než šířka a délka. Izometrické částice se označují jako sférické. [14]

### 3.7 Teorie prosevu

Cílem prosevu je dělení polydisperzních směsí. Pochody dělení mohou být dvojího typu: třídění jako dělení směsi podle kvantitativních vlastností částic ve směsi (vhodně velikosti), dělená směs je homogenní; nebo rozdružování jako dělení podle kvalitativních vlastností částic ve směsi, dělená směs je heterogenní. Samotný prosev je ovlivněn několika faktory:

- rychlostí pohybu částice,
- sklonem síta,
- tvarem otvorů síta,
- výška vrstvy materiálu,
- vlhkostí směsi.

Při uvažování klouzání částice po povrchu síta je jeho trajektorie pohybu rovnoběžná s rovinou síta. Tato trajektorie nutně mění tvar, pokud se částice nachází nad otvorem.

V tomto místě se trajektorie stává parabolickou. Míra zakřivení paraboly poté určuje, zda částice propadne otvorem v síti. Je tedy žádoucí, aby rychlost částice byla co nejmenší a snadno tak propadla otvorem, tento požadavek však koliduje s potřebou dosažení určité výkonnosti stroje pro získání rentability provozu. Proto je nutné stanovit kompromis faktoru rychlosti posuvu zrna k rentabilitě. Rychlost částice lze vyjádřit v závislosti na velikosti částice, velikosti otvoru a sklonu síta. [16] Vztah pro rychlost je uveden v *Rovnici 3*.

$$v = \left( B - \frac{d}{2} \cdot (1 + \tan \alpha) \right) \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\cos \alpha}{d}} \quad (3)$$

*Kde  $v$  je rychlost;  $B$  velikost otvoru;  $d$  velikost částice;  $\alpha$  úhel sklonu síta a  $g$  gravitační zrychlení. [17]*

Z rovnice plyne, že rychlost musí být tím menší, čím menší je velikost otvoru a čím více se blíží rozměr částice rozměru otvoru. Zároveň musí být rychlost tím menší, čím větší je odklon síta od vodorovné roviny. Vztah velikosti částice a velikosti otvoru znázorňuje také pravděpodobnost propadu jako poměr počtu příznivých dopadů a počtu všech možných propadů. Tento vztah je v *Rovnici 4*.

$$p = \frac{(B - d)^2}{B^2} \quad (4)$$

*Kde  $p$  je pravděpodobnost propadu;  $B$  rozměr otvoru a  $d$  rozměr částice.*

Převrácená hodnota pravděpodobnosti propadu udává počet pokusů, které musí částice absolvovat, než dochází k jejímu propadu. Jinými slovy lze tento vztah interpretovat i jako počet otvorů, přes které částice přejde, než dojde k jejímu propadu. Čím více se blíží rozměr částice rozměru otvoru, tím více pokusů tzn. i otvorů je potřebných na propad částice. Částice je možné podle vztahu těchto dvou parametrů rozdělit do čtyř skupin:

- snadno propustné, kdy  $d < 0,75 B$ ;
- obtížně propustné, kdy  $d = (0,75-1) B$ ;
- nepropustné ucpávající, kdy  $d = (1-1,5) B$ ;
- nepropustné, kdy  $d > 1,5 B$ . [12]

### 3.8 Rovnice propadu

S přihlédnutím k faktu, že prosev je závislý na relativním pohybu částice na povrchu síta, lze tuto skutečnost vyjádřit v závislosti na době prosévání. Prosev lze popsat jako propad množství materiálu  $dM$  za časový úsek  $dt$ . Podíl  $dM$  ku  $dt$  je zároveň závislý na konkrétních podmínkách prosevu, které zohledňuje empirický koeficient  $\mu$ . Celý vztah je uveden v *Rovnici 5*.

$$-\frac{dM}{dt} = \mu \cdot M \quad (5)$$

*Kde  $dM$  propadlé množství;  $dt$  zěna času;  $\mu$  součinitel časového prosevu a  $M$  množství materiálu.*

Tuto diferenciální rovnici je vhodné řešit pomocí separace proměnných. Tím vzniká vztah popsáný v *Rovnici 6*.

$$\int_{M_0}^{M_t} \frac{1}{M} dM = -\mu \cdot \int_0^t 1 dt \quad (6)$$

*Kde  $M_t$  je množství materiálu v čase  $t$ ;  $M_0$  počáteční množství materiálu;  $M$  množství materiálu;  $\mu$  součinitel časového prosevu a  $t$  čas.*

Po vyřešení a úpravě *Rovnice 6* vzniká vztah pro množství materiálu nad sítem v závislosti na vstupním množství a čase. Tento vztah je popsán *Rovnicí 7*.

$$M_t = M_0 \cdot e^{-\mu \cdot t} \quad (7)$$

*Kde  $M_t$  je množství materiálu nad sítem v čase  $t$ ;  $M_0$  počáteční množství materiálu;  $e$  Eulerovo číslo;  $\mu$  součinitel časového prosevu a  $t$  čas.*

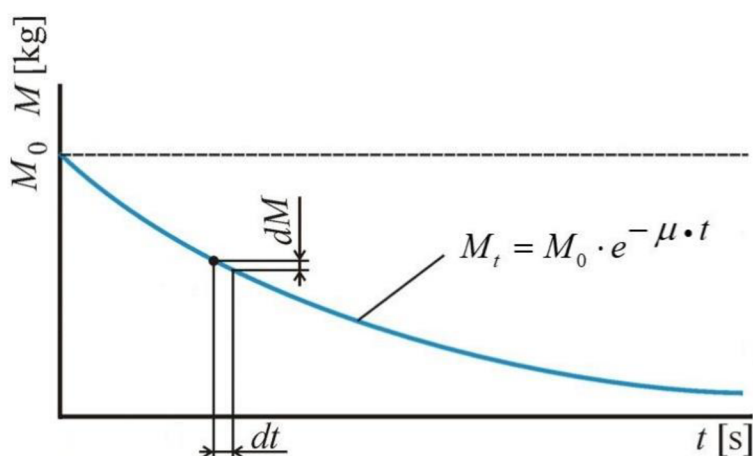
Doba setrvání částice nad sítem je omezena délkou síta. Hmotnost materiálu nad sítem v závislosti na délce síta lze vyjádřit analogickým postupem jako předchozí závislost prosevu na čase. Vztah pro hmotnost nad sítem v závislosti na délce síta je v *Rovnici 8*.

$$M_L = M_0 \cdot e^{-\mu^* \cdot L} \quad (8)$$

Kde  $M_L$  je množství materiálu nad sítí v délce  $L$ ;  $M_0$  počáteční množství materiálu;  $e$  Eulerovo číslo;  $\mu^*$  součinitel délkového prosevu a  $L$  délka.

Z Obrázku 3, který zobrazuje grafickou závislost popsanou Rovnicí 7, je patrné, že teoretické ideální roztřídění nastává až v čase rovnajícimu se nekonečno. V případě analogie pro délku síta, až v délce rovnající se nekonečno.

Obrázek 3 Grafické znázornění hmotnosti materiálu nad sítí v závislosti na čase [12]



Kontinuálně pracující mechanizace poskytuje pouze omezenou dobu pro pohyb částice na síti, přesto je však jakost prosevu na této době závislá. Proto lze zavést vztah pro efektivnost prosevu v konkrétním čase. Tento vztah je popsán Rovnicí 9. [12]

$$\eta = \frac{M_t}{M_0} = e^{-\mu \cdot t} \quad (9)$$

Kde  $\eta$  je efektivnost prosevu;  $M_t$  hmotnost materiálu nad sítí v čase  $t$ ;  $M_0$  počáteční hmotnost materiálu;  $e$  Eulerovo číslo;  $\mu$  součinitel časového prosevu a  $t$  čas.

### 3.9 Konstrukce čističek

Při pohledu na konstrukční řešení síťových čističek určených na obilí a materiály s podobnou charakteristikou je vidět, že u jednotlivých výrobců najdeme především vizuální rozdíly. Základní komponenty ovšem zůstávají u všech stejné. Prvním prvkem je vpádové



ústrojí zajišťující rovnoměrné roz distribuování materiálu přes celou šířku stroje. Následující prvek je komora obsahující samotná síta. Komora je zpravidla pružně uložena do stabilního rámu. Pružné uložení umožňuje celé komoře pohyb. Materiál již zpracovaný je dále odváděn výpadovými kanály, které odvedou veškeré frakce mimo stroj. Všechny tyto komponenty jsou namontovány na rám stroje, který je pevně ukotven do tuhé podložky. Sítové čističky bývají nezřídka doplněny i o aerodynamické čištění, kdy je k alespoň jednomu výpadu připevněna aspirační komora, případně je čistička vybavena expanzním odlučovačem na vpádu. [11] Příklad konstrukčního řešení sítové čističky JCM VibroMax od firmy JK Machinery a.s. je na *Obrázku 4*.

*Obrázek 4 JCM 10122 VibroMax od JK-Machinery a.s. [18]*



### 3.10 Materiály

Problematika používaných materiálů je přímo závislá na směru využití strojů. Ačkoliv se zde zrniny považují za průmyslovou surovinu, nesmíme opomenout, že se ve velké části aplikací jedná rovněž o surovinu, která je po procesu čištění určena k přímé konzumaci. Tedy je potřeba dodržovat hygienické požadavky, aby byla zajištěna zdravotní nezávadnost finálního produktu. Nejčastěji se na konstrukci strojů využívá běžná konstrukční ocel třídy 11. Jako ochrana proti korozi jsou využívány barevné nátěry. Toto se týká prvků nepřicházejících do styku s potravinou. Prvky přicházející do styku s potravinou také hojně využívají konstrukční ocel třídy 11, ovšem povrchová úprava musí splňovat přísnější nároky a musí mít atest na styk s potravinami. Alternativou nátěrových hmot může být i použití vysoce legované korozivzdorné oceli. U tohoto typu oceli je předem nutné zhodnotit ekonomické hledisko z důvodu vyšší ceny vstupního materiálu. Korozivzdorné provedení bývá realizováno až na konkrétní přání zákazníka. Z dalších materiálů se na

čističkách lze setkat i se dřevem, které se využívá na konstrukci sít. Používají se výhradně tvrdá dřeva, která dokážou odolat náročným podmínkám aplikace. Toto řešení bylo velmi oblíbené především v minulosti, v současnosti se pomalu přechází na síta celo-ocelová. Dále lze na strojích nalézt různé plastové a pryžové prvky (madla, dorazy, těsnění atd.). [19]

### 3.11 Síta

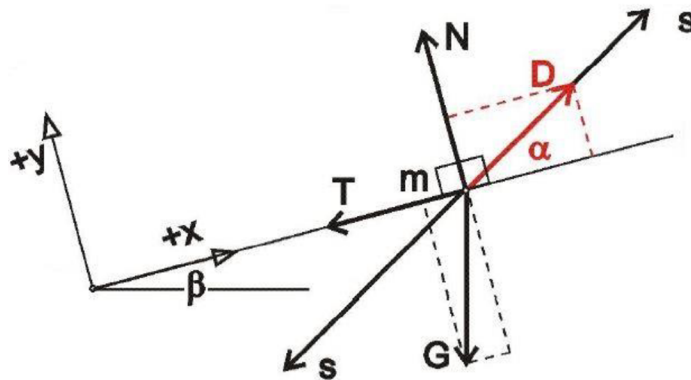
Síto je hlavním pracovním členem síťových čističek. Lze ho najít v hlavní pracovní komoře stroje. Tvar i uspořádání sít se liší podle požadavků zamýšlené aplikace stroje. Síťová plocha je plochou, na kterou je přiváděn materiál a dle rozměrů přiváděných částic, buď sítím propadá, nebo je unášen dál po povrchu síta. Síta jsou zhotovována, jak již bylo zmíněno výše, ze dřeva či oceli. Síťové potahy jsou zhotovené z různých ocelových tkanin, polymerových tkanin, z ocelových plechů, nebo výjimečně z hedvábí.

Síta lze rozdělit do dvou skupin podle tvaru síťové plochy. První skupinou jsou síta rovinná, druhou skupinou jsou síta cylindrická.

#### 3.11.1 Rovinná síta a síly na částici

Rovinná síta se nejčastěji ukládají do čističek pod určitým úhlem. Tento úhel ovlivňuje rychlost posuvu materiálu a lze jím regulovat dobu, po kterou se částice nachází na povrchu síta a tím i jakost prosevu. Materiál je přiváděn do nejvyššího místa na síto. Poté se částice samovolně či nuceně pohybují směrem ke spodnímu okraji síta. Při tomto pohybu dochází k potřebnému prosevu. Samovolný posun po síti je umožněn, pouze pokud je splněna podmínka, že odklon síta od vodorovné roviny je větší než úhel vnitřního tření materiálu. Při nuceném posunu je velikost a směr posuvu dána frekvencí a směrem kmitu síta. Na částici nacházející se na kmitajícím síti působí čtyři různé síly: tíha  $G$ , dynamická  $D$ , reakce od povrchu  $N$  a třecí  $T$ . Pokud je součet těchto sil roven nule, částice se nachází v relativním klidu. Síly jsou znázorněny na *Obrázku 5*. Znázorněný směr  $s$  skloněný pod úhlem  $\alpha$  popisuje směr pohybu síta. Spojení vhodného směru a frekvence kmitu umožňuje dopravu materiálu nejen směrem dolů, ale i směrem vzhůru. [11] [17]

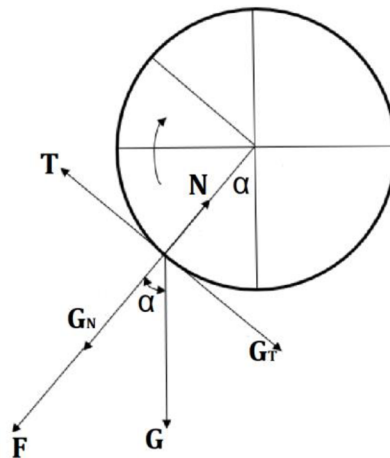
Obrázek 5 Síly na částici na nakloněném kmitajícím síti [17] (upraveno)



### 3.11.2 Cylindrická síta a síly na částici

Cylindrická neboli válcová síta, jsou perforované válce sloužící zpravidla k rozdělování směsí. Síta se ve většině případů ukládají skloněná pod úhlem vůči vodorovné rovině. S uložení s osou válce vodorovně se lze také hojně setkat. Toto uložení má ovšem nevýhodu v tom, že není schopné dopravovat přiváděný materiál ve směru osy válce. Tomu je princip funkce takové čističky uzpůsoben, aby byl umožněn její kontinuální provoz. Materiál zde bývá přiváděn na vnější horní stranu vodorovného válcového síta, kde materiál menší než oka propadá do vnitřku válce, odkud je odnášen. Naopak materiál větší než otvory se pohybuje po vnější straně pláště, kde je následně sbírán a odváděn. Princip skloněného síta je poněkud jiný a je využito jeho dopravní schopnosti. Materiál je přiváděn na vnitřní stranu válcového pláště, kde opět probíhá separace. Materiál menší než otvory síta propadá mimo síto a je sbírán a odváděn, naopak materiál větší než otvory síta, zůstává uvnitř válce a díky sklonu je unášen mimo válec. Tato síta jsou používána nejvíce ve skalpelátorech. [11] Na částici uvnitř rotujícího válce působí čtyři různé síly: tíha  $G$  (je rozložena na normálovou  $G_N$  a tečnou  $G_T$  složku), odstředivá  $F$ , reakce od povrchu  $N$  a třecí  $T$ . Schéma sil je na *Obrázku 6*. [20]

Obrázek 6 Síly na částici v rotujícím cylindrickém síti [20](upraveno)



Podmínka prosevu je zde popsána *Rovnicí 10*, která říká, že zrno nesmí být přitlačováno na povrch síti větší silou, než je jeho tíha. Pokud se tyto síly rovnají, zrno se bude nacházet v relativním klidu.

$$m \cdot g = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (10)$$

Kde  $m$  je hmotnost;  $g$  gravitační zrychlení;  $r$  poloměr válce a  $\omega$  úhlová rychlost.

Z této *Rovnice 10* lze odvodit kinematický koeficient pohybu  $k$ , pro který platí *Rovnice 11*.

$$k = \frac{m \cdot \omega^2}{g} \quad (11)$$

Kde  $k$  je kinematický koeficient pohybu;  $m$  hmotnost;  $\omega$  úhlová rychlost a  $g$  gravitační zrychlení.

Logicky se tento koeficient musí pohybovat v otevřeném intervalu od nuly do jedné. Pokud tedy položíme *Rovnici 11* rovnu jedné, můžeme postupnými úpravami odvodit vztah pro kritické otáčky válcového síti. Vztah pro kritické otáčky je v *Rovnici 12*.

$$n_{KR} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{r}} \quad (12)$$

Kde  $n_{KR}$  jsou kritické otáčky;  $g$  gravitační zrychlení a  $r$  poloměr válce.

Při dosažení a překročení této hodnoty otáček již nedochází k prosevu. [20]

### 3.12 Pohyb sít

Pro zajištění rovnoměrného toku materiálu ve stroji je zpravidla vyvozován určitý způsob pohybu sít. Pohyb a jeho frekvence musí být stanoven tak, aby měla každá částice dostatečný kontakt se sítím a tím i reálnou možnost propadu. [21]

U cylindrických sít je řešení pohybu poměrně jednoduché. Síta zpravidla rotují podél osy a tím zajišťují prosev. Vyvození pohybu většinou probíhá pomocí elektromotoru přes některý typ převodové skříně. V ojedinělých případech je možné se setkat s cylindrickým sítím, které rotační pohyb kombinuje s přímovratným podélným kmitem. [21]

U rovinných sít je situace složitější. Typů pohybu je hned několik:

- přímovratný podélný kmit,
- krouživý pohyb,
- kymácivý pohyb,
- krouživě vratný (vířivý) pohyb.

Přímovratný podélný kmit je nejvyužívanější typ pohybu. Pohyb je vyvozen buď párem vibromotorů, nebo elektromagneticky. Trajektorie pohybu je výhradně přímková. Pohyb je v drtivé většině periodický harmonický a je tedy možné ho pohodlně popsat goniometrickou funkcí sinus. [21] Speciálním případem přímovratného podélného kmitu je kmit s prodlevou. Přímovratný podélný kmit s prodlevou se používá v aplikacích s materiály velmi náchylnými na poškození. Tento způsob pohybu umožňuje propad materiálu při menší interakci se sítím. [22]

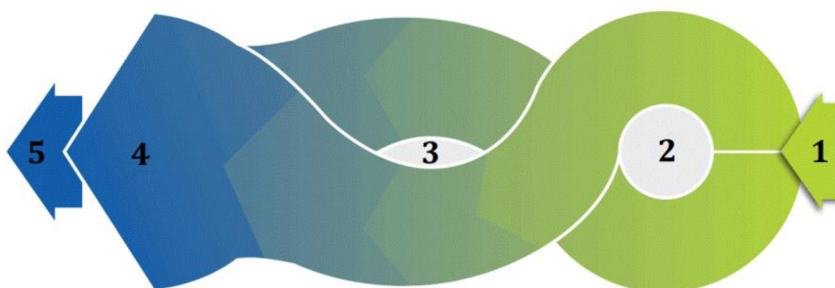
Krouživý pohyb je druhým nepoužívanějším pohybem sít. Síto se pohybuje tak, že každý jeho bod periodicky opisuje trajektorii ve tvaru kružnice. Jednotlivé trajektorie se nachází ve stejné rovině skloněné pod určitým úhlem od vodorovné roviny. Tento pohyb je považován za mírně šetrnější, než je tomu u přímovratného podélného kmitu. [23]

Kymácivý pohyb síta je již složitější problematikou a síta vhodná pro tento typ pohybu jsou pouze kruhového tvaru. Síto svým náklonem umožňuje materiálu pohybovat se směrem od středu k okraji. Takto skloněné síto se kymácí způsobem, kdy se vodorovná osa

stále otáčí. To znamená, že se postupně mění bod síta, který se nachází nejniž. Výslednou trajektorii částice lze zobrazit jako spirálu. [24]

Posledním typem pohybu je krouživě vratný pohyb. Tento pohyb se vyznačuje tím, že různé body na síti mají různé trajektorie. Respektive je síto rozděleno na tři úseky, kdy každý úsek koná jiný typ pohybu. První úsek koná krouživý pohyb s úkolem distribuce materiálu přes širší síta. Navazující úsek koná krouživý eliptický pohyb, kde dochází k hlavnímu prosevu. Posledním úsekem je přímovratný podélný kmit. Tento úsek zajišťuje prosev částic velikosti blízké velikosti otvorů. Popis funkce je patrný z *Obrázku 7*. [25]

*Obrázek 7 Krouživě vratný pohyb (firma ROTEX) [25]*



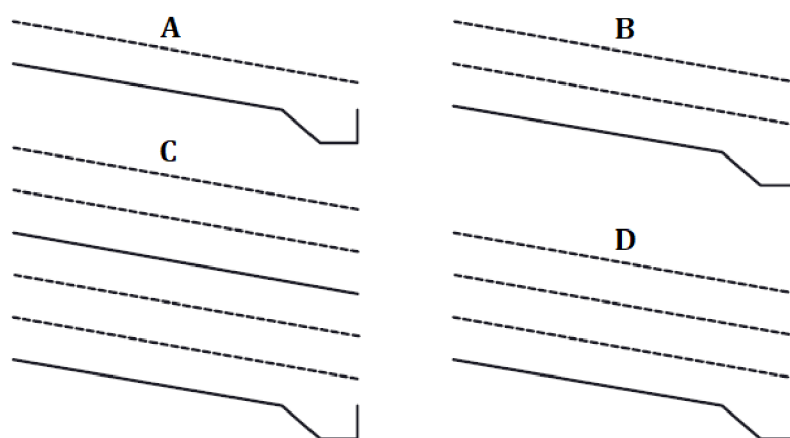
*1- vpád materiálu, 2- krouživý pohyb, 3- krouživý eliptický pohyb, 4- přímočarý vratný kmitavý pohyb, 5- výpad materiálu*

### 3.13 Určení sít

Sítové stroje s rovinnými síty na rozduřování a třídění mívají v síťových komorách zakomponované většinou více než jedno síto. Různá síta mohou být řazena za sebou, častější je ovšem řazení nad sebe. Nachází-li se tedy v komoře více než jedno síto, je nutné si uvědomit, jaký úkol jednotlivá síta mají. Z logiky věci vyplývá, že je nutné, aby byla síta seřazena způsobem největší oka vrchní, a směrem dolů se oka zmenšují. Tímto způsobem se nad sítem postupně zachytávají menší a menší částice – dochází k rozdělení směsi. Pravidlo lze aplikovat na technologie klasického rozduřování. Existují však i technologie, pro které toto pravidlo neplatí. Jedná se například o kalibraci kukuřice na osivo, kde se může na horním síti provádět kalibrace podle tloušťky zrna a na spodním síti kalibrace podle šířky zrna. Zde nelze nalézt vztah mezi síty. U běžného rozduřování je používáno dvou sít nad sebou. Horní síto má za úkol oddělení větších příměsí než je hlavní složka, spodní síto naopak odděluje hlavní složku od malých příměsí. Setkat se lze i se třemi síty nad sebou, kdy lze velké nebo malé příměsí ještě rozdělit na dvě frakce. U třídění, například kalibrace

před loupáním, je časté použití i jednoho síta na rozdělení směsi na dvě velikosti, kalibrace ovšem může probíhat i na dvou, respektive třech sítích nad sebou. V takových případech se aplikuje taková čistička, která splňuje požadavky navazující technologie. Sítová plocha také přímo ovlivňuje potenciální kapacitu čištění. Tu lze pohodlně zvyšovat i zdvojením jedné sady sít a tím dvakrát zvýšit sítovou plochu. Někteří výrobci používají uspořádání sít takové, které umožňuje provádět dvě různá čištění na jeden průchod strojem. [11] Příklady uspořádání sít jsou na *Obrázku 8*.

*Obrázek 8 Uspořádání sít [11]*



### 3.14 Sklon, frekvence a amplituda kmitu

Někteří výrobci řeší konstrukci sítové skříně s možností jejího náklonu. Jak již bylo zmíněno rychlost částice pohybující se po skloněném síti, je přímo závislá na daném sklonu. Ze vztahu pro výpočet rychlosti je patrné, že čím větší je sklon síta, tím větší bude rychlost pohybu částice. Tato vlastnost musí být zohledněna pro každou čištěnou látku zvlášť. U materiálů, které tečou velmi snadno, například hrách, je vhodné použít menší sklon síta, aby nedocházelo k odskakování částic a tím i výrazně zhoršenému prosevu. Naopak je to u materiálů, které tečou po síti velmi neochotně. Stébelnaté materiály je proto vhodné čistit na síti s větším sklonem, aby byl zajištěn požadovaný posuv materiálu. [17]

Jelikož je kmit rovinného síta harmonický, lze ho popsat rovnicí pro harmonický pohyb v *Rovnici 13*.

$$s = r \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (13)$$

*Kde s je poloha; r amplituda;  $\omega$  úhlová rychlost a t čas.*

Z této rovnice, respektive její první a druhé derivace lze stanovit polohu, respektive rychlost a zrychlení v jakémkoliv čase. Podstatnější je, že tyto parametry jsou zároveň závislé na amplitudě kmitu a úhlové rychlosti jako funkci frekvence. Pokud chceme tedy zachovat výsledné hodnoty v konkrétním okamžiku, je potřeba při změně amplitudy, měnit i frekvenci. Pokud zachováme frekvenci kmitu a výrazně zvýšíme amplitudu, může docházet k nežádoucímu odskočení částice, respektive se při pohybu přes síto dostane do kontaktu s povrchem méně často. Takový projev má sice velkou kapacitu, ovšem velmi malou efektivitu. Naopak velmi malá amplituda bude znamenat, že se částice do kontaktu s povrchem dostává častěji. Projev je velmi efektivní, ale s malou kapacitou. [12]

Následně nechme amplitudu kmitu konstantní. Frekvenci kmitu je zde potřebné volit tak, aby se zrno nenacházelo v relativním klidu vůči povrchu síta. Je tedy nutné dosáhnout alespoň minimální frekvence popsané *Rovnicí 14*.

$$F_{min} = \frac{\omega_{min}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{f \cdot g}{r \cdot (\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha)}} \quad (14)$$

*Kde  $F_{min}$  je minimální frekvence;  $\omega_{min}$  minimální úhlová rychlost;  $f$  koeficient tření;  $g$  gravitační zrychlení;  $r$  amplituda a  $\alpha$  sklon síta.*

Frekvenci lze stále zvyšovat až do hodnoty maximální frekvence, při které částice ještě neodskakují od síta. Tato maximální frekvence se vypočítá ze vztahu v *Rovnici 15*.

$$F_{max} = \frac{\omega_{max}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{r \cdot \sin \alpha}} \quad (15)$$

*Kde  $F_{max}$  je maximální frekvence;  $\omega_{max}$  maximální úhlová rychlost;  $g$  gravitační zrychlení;  $r$  amplituda a  $\alpha$  úhel sklonu síta.*

Další zvyšování frekvence má za následek odskakování částic. Tento jev je nežádoucí. [17]

### 3.15 Potah sít

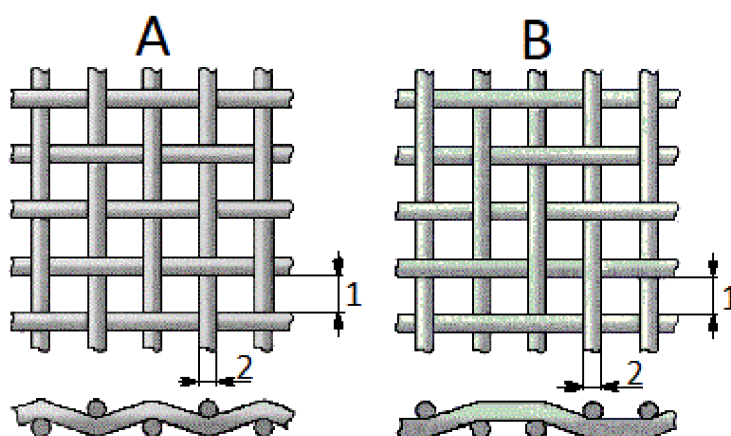
Lze tvrdit, že různých kombinací velikostí a tvarů otvorů sít lze najít s přehledem i několik set. Správný výběr potahu síta je kritický rozhodovací proces pro celou technologii



čištění. Ačkoliv by byl stroj seřízen na ideální parametry bez jakostně vybraného potahu, nebude možné dosáhnout precizního rozdělení směsi. Síta do čističek zemědělských plodin se zhotovují ražením otvorů do plechu, nebo potahem rámu různými typy tkanin. Vyrážené plechy poskytují větší variabilitu tvaru otvorů, naopak ovšem poskytují mnohem menší světlou plochu a tím i menší plošnou výkonnost. Potahy z tkanin tvoří síť se čtvercovými či obdélníkovými otvory. Tyto sítě se zhotovují převážně z ocelových drátů, které poskytují dobrý poměr tloušťky drátu a pevnosti. Pro síta s otvory menší než jeden milimetr se často využívají tkaniny z polymerů, u kterých je dobrá odolnost tkaniny i při malé tloušťce vlákna. Dříve se používala, zejména v mlýnských provozech, poměrně často i síta s textilním, nebo hedvábným potahem, které umožňují velmi malou velikost otvoru. Tato síta se dnes již z části nahrazují polymerní tkaninou. [26] [27]

U potahů z tkanin lze pozorovat dva typy vazeb: plátňovou a keprovou. Plátňová vazba zobrazena na *Obrázku 9 písmeno A* se vyznačuje pravidelným střídáním vláken osnovy a útku. Oproti tomu vazba keprová na *Obrázku 9 písmeno B* má útek veden tak, že každé vlákno vždy překrývá dvě vlákna osnovy a následně je provedeno pod dvěma vlákny osnovy. Tato vazba se označuje jako K 2/2. Vazba keprová je o něco poddajnější než vazba plátňová, ta je naopak tužší. Přehled tvarů otvorů sít je v *Tabulce 2*.

*Obrázek 9 Plátňová a keprová vazba [28]*



Tabulka 2 Přehled tvarů otvorů sít

Polotovar	Tvar	Tvar anglicky	Schéma
Drát – síť	Čtvercový	Square	
Drát – síť	Obdélníkový	Rectangular	
Plech	Kruhový	Round	
Plech	Obdélníkový	Oblong	
Plech	Trojúhelníkový	Triangular	

Zdroj: autor, obrázky [11]

### 3.16 Čištění sít

Při teoretickém rozboru prosevu je řečeno, že menší částice otvory propadají a větší částice přes síto přecházejí. V praxi ovšem nalézáme ještě třetí možnost a to částice, které jsou svým rozměrem jen o trochu větší než otvor síta. Tyto částice se velmi často v otvorech zaseknou, či nějakým způsobem vzpříčí. Zanesené otvory snižují světlostou plochu síta a tím negativně ovlivňují kapacitu čištění. Tento problém výrobci čistící mechanizace vyřešili některými systémy čištění pracovních sít. [21]

- Kladívkové

Systém kladívek, známý z kladívkového šrotovníku, byl použit i zde. Jedná se o nejstarší způsob čištění sít. Dnes se s ním lze setkat již velmi zřídka, a především na starších strojích. Principem jsou údery kladívek do horní plochy potahu síta, který je rozvibrován a tím vzpříčené částice vyklepávány. Pohon kladívek znamená další energetický vstup, tzn. zvýšení nákladů na čištění. Tento způsob čištění se používal pouze pro horní síto a dobře tekoucí materiály. [21]

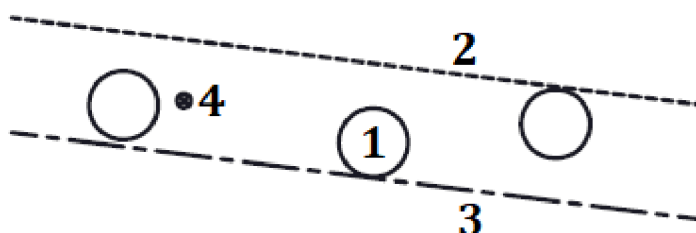
- Kartáčové

System pohyblivých kartáčů je vůbec nejefektivnějším způsobem čištění sít. Dříve se kartáče zhotovovali z přírodních materiálů, dnes převažují syntetické polymery. Jednotlivé kartáče se pohybují přímovratným pohybem po rámu, umístěným pod každým patrem sít. Vzpříčené částice, které se dostanou do kontaktu s kartáčem, jsou vytlačeny zpět na povrch síta. Efektivita tohoto systému spočívá v pohybu kartáčů po kulise, kdy lze zajistit pravidelné čištění celé sítové plochy. Kartáčové čištění ovšem skrývá i značné nevýhody. Jedná se především o velmi složité technické řešení celého systému, vysoké opotřebení kartáčů a značnou energetickou náročnost. Dalšími problémy jsou pak častější výměna kartáčů a čištění kartáčů při změně čištěného materiálu. [21]

- Kuličkové

Drtivě nejrozšířenější technologie čištění pracovních sít, je použití elastomerových kuliček. Kuličky, nejčastěji o průměrech dvacet až třicet milimetrů, se nacházejí v komorách pod plochou pracovního síta. Nucený pohyb síta urychluje zároveň i kuličky. Rozpohybované kuličky pak nutně narážejí do spodní plochy síta. Tyto nárazy mají za úkol uvolnit jednotlivé otvory. Největší výhodou a důvodem masivního rozšíření, je absence jakéhokoliv další hnacího mechanismu, bez kterého nelze použít kartáče ani kladívka, a jednoduchost celého řešení. Z toho plyne další výhoda, kterou je kompaktnost a jednoduchá aplikace systému. Ovšem i u systému kuličkového čištění lze najít nevýhody. Kuličky nelze použít při nízké frekvenci, kdy by byly nedostatečně urychlovány a tím snížena efektivita čištění síta. Největší nevýhodou je nedostatečné čištění rohů sít, jelikož je pohyb kuliček neřízený. Při aplikacích v extrémních teplotách se také mění elasticita kuliček a tím i schopnost se dobře odrážet. [21] Speciální řešení čištění poskytuje firma Bühler, která kuličky nahradila speciálním třícípým hvězdicovým útvarem. Tento tvar je vhodnější na čištění sít používaných pro vysévání mouky. [29] System kuličkového čištění pracovního síta je na *Obrázku 10*.

Obrázek 10 Kuličkové čištění sít [21]



1- pryžové kuličky; 2- čistící síto; 3- povrch, na kterém se pohybují kuličky; 4- příčné rozdělení prostoru pod sítím na menší oddíly

### 3.17 Volba sít

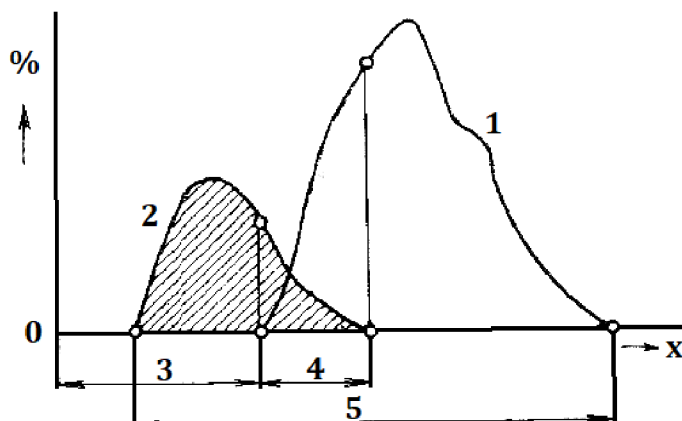
Při rozhodovacím procesu o volbě sít je důležité si uvědomit, že se jedná o velmi komplexní úkol. K tomuto kroku je potřeba přistupovat s jistou zodpovědností, jelikož špatně zvolená síta mají za následek nejakostní čištění a tedy ekonomickou ztrátu.

Síta jsou zpravidla volena podle tvaru a velikosti nežádoucích příměsí. Volbu sít značně zjednoduší znalost variačních křivek vstupního materiálu. [30]

### 3.18 Dělitelnost a variační křivky směsi

Pro přesnou a správnou volbu sít je potřeba znát zpracovávanou směs, její znaky: rozměry jako výška, šířka, délka a celkový tvar částic. Tyto poznatky shrnují variační křivky směsi. Podle tvaru těchto křivek lze jednoznačně určit, zda je vůbec reálně možné rozdělovat materiál na síťových čističkách, určí se tedy dělitelnost směsi na sítích. Na *Obrázku 11* jsou zobrazeny variační křivky dvousložkové směsi. Hlavní složka odpovídá křivce 1, složka příměsí je znázorněna křivkou 2. Na ose  $x$  se nachází sledovaný parametr, u síťového čištění je vhodný rozměr částice. Osa  $y$  představuje procentuální zastoupení hodnoty parametru  $x$  ve složce. Interval  $\Delta 0$  (5) označuje celkový velikostní rozsah částic směsi, tzn. rozdíl velikostí největší a nejmenší částice směsi. Překryv velikostí částic obou složek je označen  $\Delta$  (4). Tento interval je velmi důležitý, protože poukazuje na celkovou dělitelnost směsi.  $\Delta$  (4) označuje nedělitelnou frakci směsi.

Obrázek 11 Variační křivky dvousložkové směsi [3]



1- křivka jedné složky; 2- křivka druhé složky; 3- interval  $D$ ; 4- interval  $\Delta$ ; 5- interval  $\Delta_0$

Kvalitativní podmínka pro dělitelnost směsi je poměr teoreticky možného rozdělení jednotlivých složek vztaženého k celkovému velikostnímu intervalu. Pro dvousložkovou směs z Obrázku 11 pak platí Rovnice 16.

$$\lambda = \frac{\Delta_0 - \Delta}{\Delta_0} = 1 - \frac{\Delta}{\Delta_0} \quad (16)$$

Kde  $\lambda$  je podmínka separovatelnosti;  $\Delta_0$  celkový interval;  $\Delta$  překryv velikostí.

Pro podmínku dělitelnosti, při předpokladu, že  $\Delta$  nemůže být větší než  $\Delta_0$ , mohou nastat tři různé stavy.

- $\Delta > \Delta_0, \lambda < 1$

Tento stav odpovídá křivkám na Obrázku 11. Stav této směsi se označuje jako obtížně dělitelná. To znamená, že můžeme nalézt část intervalu, která je nedělitelná.

- $\Delta = \Delta_0, \lambda = 0$

Stav, při kterém se velikosti obou složek překrývají. Na základě stanoveného parametru tedy nelze jednotlivé složky oddělit. Z tohoto stavu plyne označení nedělitelná směs.

- $\lambda = 0, \lambda = 1$

Pokud se směs nachází v tomto stavu, velikosti složek se vůbec nepřekrývají a je tedy možné čistě obě složky oddělit. Směs je označena za dělitelnou. Tento stav vstupního materiálu je pro čištění samozřejmě nejlepší, v praxi se ovšem nejvíce setkáváme s obtížně dělitelnými materiály, a proto je nutné do technologie čištění zařadit více různých způsobů dělení směsí. [3]

### 3.19 Tvar a velikost otvorů

Po prozkoumání dělitelnosti směsi může být přistoupeno k volbě velikosti a tvaru otvorů pracovního síta. Při volbě tvaru otvorů je potřeba prostudovat tvar jak částic hlavní složky, tak i složky příměsí. Podle těchto tvarů můžeme poté dle empirických poznatků určit vhodný tvar otvorů. Příkladem může být rozdužení zrn řepky a ječmene, pro které je vhodné použít síto z děrovaného plechu, řepka zde propadne a ječmen zůstává na povrchu. [30]

Po zvolení tvaru otvoru je potřeba určit i jeho velikost. Velikost určíme z distribuce velikostí částic ve směsi. S tímto rozhodnutím pomůže variační křivka směsi, pokud ji ovšem neznáme, je vhodné vypracovat zrnitostní analýzu směsi. Zrnitostní analýza se vypracovává na zkušebním vzorku, který je proséván řadou sít s postupně se zmenšujícím otvorem. Rozmezí velikostí je určeno tak, že největším sítem propadá všechnen materiál a nejmenším sítem již žádný materiál nepropadne. Problém může následně nastat při rozboru naměřených hodnot. Tabulka naměřených hodnot je sice dostatečným zdrojem pro určení sít, ovšem pro lepší orientaci je vhodné hodnoty zobrazit graficky. [31] Grafický výstup bývá velmi nápomocný při volbě velikosti otvoru, kdy umožňuje určovat procentuální hmotnostní podíly zůstávající nad sítem, respektive umožňuje odvodit celkový podíl propadlého a zachyceného materiálu pro zvolená síta. Velikost otvoru v síte je volena na základě granulometrické analýzy a jakostního požadavku na čistotu stanovenou zákazníkem nebo výše zmíněnými normami *ČSN 46 1100* a *ČSN 46 1200*.

### 3.20 Výsledný efekt

Výsledky obdržené z čištění se zpracovávají matematickými metodami, aby byl výsledný efekt čištění jasně zřetelný. Vyhodnocování operuje s pojmy jako je:

- čistota – obsah požadované složky ve frakci vůči celé frakci,
- výtěžek frakce – hmotnost frakce vůči celkovému vstupu,
- výtěžek složky – hmotnost složky ve frakci vůči celkovému vstupu složky.

Při rozdělování nejjednodušší dvousložkové směsi dostáváme dvě nové frakce – hlavní složku a složku příměsí. Pro posouzení efektu rozdělení jsou používány některé matematické vztahy. Pro čistotu první frakce platí vztah popsáný v *Rovnici 17*. Pokud je nezbytné zabývat se i čistotou druhé frakce použije se vztah popsáný v *Rovnici 18*. [3]

$$\varphi_{11} = \frac{P_1 - q}{P_1} = 1 - \frac{q}{P_1} \quad (17)$$

$$\varphi_{22} = \frac{P_2 - p}{P_2} = 1 - \frac{p}{P_2} \quad (18)$$

*Kde  $\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{22}$  je čistota první a druhé frakce;  $P_1$ ,  $P_2$  množství získaných frakcí,  $q$  množství druhé složky v první frakci a  $p$  množství první složky v druhé frakci.*

Získání čistot ovšem pro celkový popis efektu rozdělení nestačí a je potřeba dopočítat i výtěžky frakcí a výtěžky složek. Výtěžek první frakce je popsán *Rovnicí 19*, výtěžek druhé frakce je popsán *Rovnicí 20*. Tyto výtěžky frakcí poté vstupují i do vztahů pro výpočet výtěžků složek. Pro výtěžek první složky v první frakci je vztah popsán v *Rovnici 21* a vztah pro výpočet druhé složky v druhé frakci je popsán v *Rovnici 22*. [3]

$$W_1 = \frac{P_1}{Q} \quad (19)$$

$$W_2 = \frac{P_2}{Q} \quad (20)$$

$$\eta_{11} = \frac{\varphi_{11} \cdot W_1}{a_1} \quad (21)$$

$$\eta_{22} = \frac{\varphi_{22} \cdot W_2}{a_2} \quad (22)$$

*Kde  $Q$  je celkové množství směsi;  $\eta_{11}, \eta_{22}$  výtěžek složek ve frakci;  $a_1, a_2$  obsah jednotlivých složek;  $P_1, P_2$  množství získaných frakcí a  $W_1, W_2$  výtežky frakcí.*

Rozdružování směsí lze tedy provádět na základě fyzikálních vlastností. Kromě rozměrového rozdružování se využívá i:

- tvarové,
- dle barvy,
- elektrostaticky,
- dle hmotnosti,
- aerodynamicky,
- magneticky.

Rozměrové rozdružování na sítích je nejhojněji využívaná metoda, tato metoda je zároveň vhodná i pro třídění partikulárních materiálů. V provozech se lze ovšem nejčastěji setkat se zařazením několika různých metod za sebou. [22] Rozbor obecných principů jednotlivých metod rozdružování je popsán v bakalářské práci *Posouzení vhodných metod posklizňového čištění vybraných druhů zrnin*.



## 4 VÝCHOZÍ PODMÍNKY ŘEŠENÍ

Provedená praktická měření mají za úkol ověřit schopnost čištění pšenice, především oddělení drobného materiálu, v závislosti na dávkovaném množství směsi do čističky. Čištění je zde bráno jako základní kámen tvorby jakosti materiálu při skladování. Výchozím bodem pro zpracování měření je provedení granulometrické analýzy vstupního materiálu. Analýza je důležitým prvkem pro pochopení chování směsi v čističce při použití různých sad sít.

Měření byla realizována na čistící lince dodané firmou JK Machinery a.s. instalovanou v laboratorních halách České zemědělské univerzity v Praze. Výzkumná činnost na čistící lince byla provedena ve spolupráci s Výzkumným ústavem zemědělské techniky, v. v. i. Linka byla využita pro celkově rozsáhlejší výzkumnou práci, proto je potřeba věnovat pozornost základům jako jsou zrnitostní analýza a výkonové křivky čističky. Bez jakostního provedení těchto základních předpokladů není možné získávat vysoce přesné výsledky navazujících zkoušek na lince.

### 4.1 Popis linky

Instalovaná linka pro měření se sestává z čističky JCC 03 VibroCompact a příslušenství. Celek linky lze rozdělit na čtyři funkční úseky:

- vstupní a dávkovací úsek,
- úsek čištění,
- úsek aspirace,
- ovládání.

Dávkování do stroje je řešeno pomocí kónické čtyřboké násypky, která je ve spodní části opatřena ručním posuvným hradítkem. Hradítko slouží v případě potřeby pro uzavření násypky. Hrdlo násypky ústí do dávkovací šnekového dopravníku. Provedení dávkovacího dopravníku je formou šnekovnice navažené na hřídel v ose. Celek je uložen ve žlabu. Průměr použité šnekovnice je 100 mm. Otáčky hřídele jsou stavitelné v širokém rozsahu. Výpádový košík dávkovacího šnekového dopravníku je spojen s vpádovým ústrojím čističky. Vpádové ústrojí má za úkol roztáhnout materiál přes celou šíři plochy pracovních sít. Mechanismus je řešen pomocí soustavy desek a plachetek, které umožňují rovnoměrně, kontinuálně

a šetrně rozvádět materiál. Prvky jsou vzájemně propojeny flexibilní spirálovou hadicí. Takto připravený materiál pokračuje do čistícího úseku.

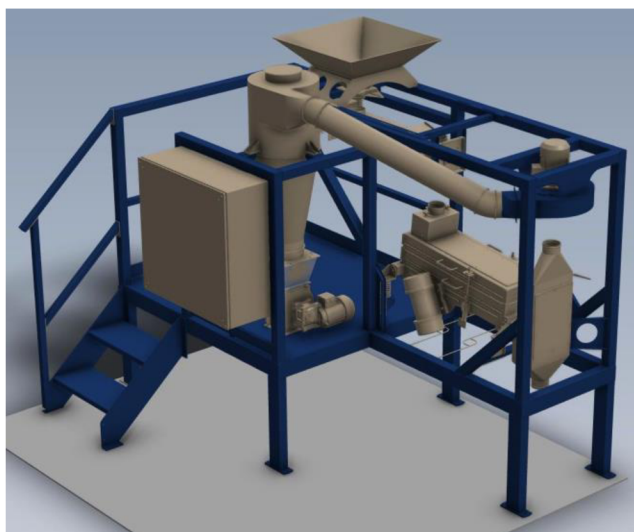
Čistící úsek lze vymezit jako pracovní síťovou skříň s vibromotory a výpadové kanály. Konfigurace sít v instalované čističce JCC 03 VibroCompact znamená použití jedné síťové sekce, která obsahuje dvě patra sít. Jednotlivá patra jsou složena z jednoho zaslepeného síta přímo pod vpádem a dvěma pracovními sítí za sebou. O rozdělení nebo třídění se starají nezaslepená pracovní síta. Z povrchu horního síta (tzn. hrubý produkt) je materiál odváděn žlabem a je sveden do výpadového košíku. Materiál z povrchu spodního síta (tzn. hlavní produkt) pokračuje v přímém směru přes skluzovou desku do aspirační komory. Materiál pod spodním sítem (tzn. jemný produkt) klouže po skluzových deskách do výpadových košíků, které jsou napojeny na flexibilní spirálové hadice. Každé spodní síto má svůj výpad. Síťová komora je pružně uložena na statickém rámu pomocí vinutých pružin. Rám je pevně kotven k podložce. Pohyb komory je vyvozen dvěma vibromotory.

Aspirační čištění je zajištěno v aspirační komoře, přes kterou proudí vzduch. Proudící vzduch unáší lehké částice. Těžké částice proudem vzduchu pouze propadají. Proud vzduchu je vyvozen radiálním ventilátorem, tvořícím v aspirační komoře podtlak. Otáčkami ventilátoru lze regulovat průtočné množství vzduchu, z rovnice kontinuity tedy rychlost proudícího vzduchu. Tento vzduch společně s lehkými nečistotami proudí do cyklonového odlučovače. Cyklonový odlučovač je ve spodní části vybaven těsnícím ústrojím, které umožňuje výpad odloučeného materiálu, ale těsní tak, aby přes ústrojí neproudil vzduch. Vzduch z cyklonového odlučovače odchází výfukem v horní části a dále mimo budovu laboratorní haly. Vzduchotechnické potrubí je provedeno z lakovaného potrubí typu Jacob.

Ovládání a zapojení linky je provedeno přes centrální elektrický rozvaděč. Tento rozvaděč obsahuje tři frekvenční měniče pro přesné řízení dávkovacího šneku, vibromotorů a ventilátoru. Změnou frekvence vstupního napětí lze měnit otáčky těchto komponent.

Projektové schéma čističky je na *Obrázku 12*. Celá linka je umístěna na pochozí plošině, aby byla usnadněna obsluha výpadových míst ze stroje. Doplnění technických parametrů jednotlivých členů linky je uvedeno v *Tabulce 3*.

Obrázek 12 Projektové schéma čisticí linky



Tabulka 3 Technické parametry čisticí linky

Čistička			
Rozměry	Délka	1 170	mm
	Šířka	720	mm
	Výška	1 750	mm
Síťová plocha		0,3	m <sup>2</sup>
Hmotnost		140	kg
Příkon		0,3	kW
Max kapacita		1 000	kg/hod
Ventilátor			
Příkon		1,1	kW
Objem vzduchu		0,5	m <sup>3</sup> /s
Podtlak		1,7	kPa
Otáčky		2 890	ot/min
Hmotnost		21,5	kg
Šnekový dopravník			
Příkon		0,25	kW
Průměr šnekovnice		100	mm
Dávkované množství		3,1	m <sup>3</sup> /hod
Těsnící ústrojí			
Příkon		0,55	kW

Všechny hodnoty jsou uvedeny pro frekvenci napětí 50 Hz.

## 4.2 Síta pro JCC 03 VibroCompact

Pro běžné aplikace rozdužování a třídění je možné použít některé ze standardní nabídky sít dostupné na trhu. K dispozici jsou tři tvary otvorů: obdélníkové, čtvercové a kruhové. Síta mají rám zhotoven ze dřeva. Tento rám je potažen některou z ocelových, výjimečně polymerových tkanin, nebo je opatřen děrovaným plechem. Prostor pod sítem je příčně přepažen, tím jsou vytvořeny dvě nezávislé komory pro kuličkové čištění síta. Jednotlivé potahy mají jasně deklarovanou velikost otvorů. Ověřování potahů sít je prováděno pravidelně dle interního metodického pokynu JK Machinery a.s. Tento rozměr je uveden na rámu síta pro lepší orientaci a přehlednost. Parametry rozměrů otvorů jsou u sít z kovové tkaniny:

- velikost ve směru toku,
- velikost v příčném směru na tok,
- průměr drátu.

U plechových sít je to:

- průměr otvoru,
- vzdálenost středů otvorů,
- tloušťka plechu.

Vzdálenost středů otvorů je ovlivněna můstkem. Můstek zde udává nejmenší možnou vzdálenost mezi sousedními otvory. Seznam všech dostupných sít je uveden v *Příloze 1*.

## 4.3 Vstupní materiál

Jako materiál vhodný na zrnitostní analýzu a pro další měření byla vybrána pšenice setá ozimá odrůda HYKING. Jedná se o raný hybrid pšenice ozimé s velmi vysokým výnosem. Pšenice byla mimo jiné vybrána i proto, že se jedná o plodinu s nejvyšším zastoupením na osevních plochách v České republice.

Použitý vzorek byl odebrán z příjmového koše zemědělského podniku situovaném ve Středočeském kraji. Na odebraném materiálu byl proveden laboratorní rozbor v akreditovaném laboratorním zařízení. Laboratorní rozbor ukázal parametry shrnuté v *Tabulce 4*.

Tabulka 4 Výsledky laboratorního rozboru pšenice ozimé odrůda Hyking

Parametr	Hodnota
Objemová hmotnost	74,5 kg/hl
Vlhkost	11,9 %
Sedimentační index (Zelenyho test)	42 ml
Číslo poklesu	177 s
N-látky v sušině	12,9 %
Nečistoty	0,2 %
Příměsi	5,5 %
Zrna poškozená	0,1 %
Zrnová příměs	2,3 %
Zlomky	1,8 %
Zrna porostlá	1,4 %

Kromě objemové hmotnosti, čísla poklesu a sedimentačního indexu vstupní materiál již splňuje požadavky na pšenici pekárenské jakosti. Přestože je materiál z pohledu čistoty, dobře připraven, lze zde najít část materiálu, která může být při skladování potenciálně nebezpečná – nečistoty a příměsi a zejména materiál propadající sítím 2,5x20 mm.

#### 4.4 Zrnitostní analýza vstupního materiálu

Zrnitostní analýza byla zpracována na upravené laboratorní prosévačce RETSCH AS 200. Přístroj byl upraven tak, aby do něj bylo možné upínat síta vhodná do čističky JCC 03 VibroCompact. Prosévačka byla vybrána z důvodu velké univerzálnosti, jelikož je vhodná prakticky na všechny druhy zemědělských zrnitých plodin. Zároveň se prosévací miska se sítí pohybuje 3D pohybem, kdy koná pohyb jak v horizontálním, tak vertikálním směru. Tento způsob pohybu umožňuje šetrný prosev při velmi efektivním rozvrstvení materiálu přes celou síťovou plochu. Prosévačka byla nastavena na dobu chodu 2 minuty s amplitudou kmitu 2,3 mm. Při zvolených parametrech docházelo k dostatečnému prosevu na ploše všech sít. Prosévačka je schopna pojmout maximálně 13 sít na jedno měření, což se ukázalo jako dostatečný počet. Fotografie upravené prosévačky osazené sítí je na *Obrázku 13*.

Obrázek 13 Upravená prosévačka RETSCH AS 200



Zrnitostní analýza byla zpracována na dvou různých řadách sít. První zkouška proběhla na řadě sít s potahem z plechu s kruhovými otvory a druhá zkouška proběhla na řadě sít s potahem z ocelové tkaniny s obdélníkovými otvory. Souhrn použitých sít je v *Tabulce 5*.

Tabulka 5 Seznam použitých sít na granulometrii

Tvar oka	Řada sít – rozměr A
Kruh – Ø A mm	10; 9; 8; 7; 5; 4; 3,6; 3
Obdélník – Ax10 mm	5,5; 5; 4; 3,75; 3,5; 3,25; 3; 2,6; 2,4; 2,2; 2; 1,8; 1,4

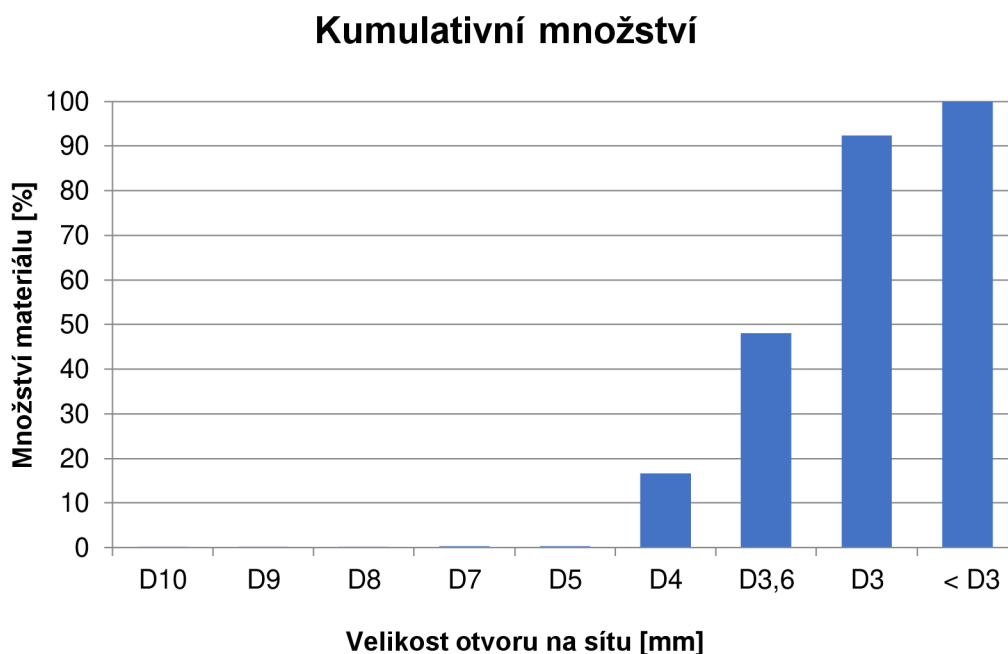
Vzorkování materiálu použitého na zrnitostní analýzu proběhlo v souladu s normou ČSN EN ISO 24 333: *Obiloviny a výrobky z obilovin – Vzorkování*. Odběr dílčích vzorků byl proveden manuálně z pěti různých bodů. Těchto pět vzorků bylo homogenizováno promícháním a tím vznikl souhrnný vzorek. Souhrnný vzorek byl metodou kvartování dělen až do získání laboratorního vzorku o požadované hmotnosti 300 g. Kvartování bylo provedeno dvakrát, jelikož dílčí vzorky měly hmotnost 240 g.

#### 4.5 Shrnutí výsledků granulometrické analýzy

Výsledky zrnitostní analýzy jako ukazatele počátečního stavu materiálu jsou zobrazeny na *Obrázku 14* pro kruhová síta a na *Obrázku 15* pro obdélníková síta. Oba grafické výstupy ukazují kumulativní množství materiálu nad jednotlivými síty. Výsledky

jsou také doplněny grafy množství materiálu nad jednotlivými sítí včetně číselných podkladů. Tyto podklady jsou v *Příloze 2*. Fotografie frakcí z obou analýz, pro získání povědomí o struktuře frakcí, jsou v *Příloze 3*.

Obrázek 14 Kumulativní množství materiálu na sítích s kruhovými otvory



Obrázek 15 Kumulativní množství materiálu na sítích s obdélníkovými otvory



Z grafických výstupů kumulativního množství lze pohodlně odvodit rozměrovou strukturu materiálu. Doslova získáváme informaci, kolik materiálu zůstává nad voleným sítem. Z tohoto údaje nepřímo získáme i materiál pod sítem jako rozdíl 100 % a hodnoty množství nad sítem. Důležité ale také je věnovat řádnou pozornost fotografiím frakcí. Až z vizuální analýzy dostáváme jasnou informaci o složení frakce.

Závěrem zrnitostní analýzy je návrh vhodných sít pro čištění. Pro dosažení maximální čistoty výstupního produktu, tedy požadavku, se kterým se lze setkat nejčastěji, je z kruhových sít vhodné volit pro horní pozici síto D5, pod kterým se již nenacházejí žádné nečistoty. Pro spodní pozici není možné doporučit žádné vhodné síto z důvodu vysokého propadu (7,67 %) i nejmenším sítem D3. U obdélníkových sít pro dosažení nejvyšší čistoty je vhodné volit pro horní pozici síto 3,75x10, které odděluje nečistoty a zároveň zrna pokrytá pluchami. Pro spodní pozici je vhodné volit síto 1,4x10, které zajistí propad veškerého nezužitkovatelného materiálu, jako jsou zlomky, prach a nečistoty. Podíly množství jednotlivých frakcí při použití uvedených sít jsou shrnuty v *Tabulce 6*.

*Tabulka 6 Výstup granulometrické analýzy*

<b>Síta</b>	<b>Velké příměsi</b>	<b>Produkt</b>	<b>Malé příměsi</b>	<b>Odpad</b>
D5/-	0,39 %	-	-	0,39 %
3,75x10/1,4x10	0,49 %	99,20 %	0,31 %	0,80 %

Tato síta jsou teoretickým východiskem pro reálnou zkoušku čištěním ve větším množství, respektive na větším stroji. Vystává zde otázka jakosti čištění ale i dosažitelné kapacity následného čištění při požadované jakosti. Podrobnější výklad granulometrické analýzy je popsán v bakalářské práci: *Posouzení vhodných metod posklizňového čištění vybraných druhů zrnin*.



## 5 NÁVRH ŘEŠENÍ A DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Teoretický základ rozboru zrnitostní analýzy předpokládá použití spodního síta velikosti otvoru 1,4x10 mm. Z teoretické pasáže práce vyplývá jasná závislost prosevu na čase. Proto by síto 1,4x10 mm bylo ideální pro aplikaci, v níž se čas prosevu limitně blíží nekonečnu. Z teorie prosevu při omezeném času prosevu, a tedy omezené délce síta lze stanovit použití většího otvoru síta. V experimentu bylo přistoupeno k volbě síta 2,4x10 mm. Pravděpodobnost propadu tvrdí, že čím větší je rozdíl velikosti otvoru a velikosti zrna, tím méně musí zrno vykonat pokusů na propad. Aplikace tohoto tvrzení na použití většího síta je, že malé částice propadnou relativně rychle na menší délce, a částice větší (zde již užitečné zrno) také propadávají, ovšem potřebují více pokusů na propad a nepropadávají v takové míře. Výsledkem je dostačující hodinová výkonnost čištění při vyhovující výsledné čistotě s přijatelnými ztrátami zrna v jemném materiálu. Síto 2,4x10 mm není běžně využito v portfoliu síťových čističek pro čištění pšenice na potravinářskou jakost. Nejvíce používanými síty jsou 2,0x10 mm a 2,2x10 mm. Ovšem i se sítím 2,4x10 mm se lze setkat více než výjimečně, a to například v aplikacích, kdy vstupní materiál nemá dostatečnou objemovou hmotnost.

Experiment je tedy navržen s použitím spodního síta o velikosti otvoru 2,4x10 mm pro všechna měření. Stejným principem byla vybrána i řada sít pro osazení horní vrstvy, která byla měněna. Kdy nejmenší použité je 3,75x10 mm a největší 5,5x10 mm.

Dále experiment probíhal dle metodického pokynu popsaného v kapitole 2 *Cíl práce a metodika*. Jelikož frekvence dávkování na zaplnění horního síta ze sta procent byla jen odhadována, krok zvýšení frekvence není konstantní a je individuální pro každé síto a každé měření.

### 5.1 Počáteční nastavení

Čistička JCC 03 VibroCompact má celou řadu nastavitelných parametrů ovlivňujících proces prosevu materiálu. Z důvodu velkého množství vstupujících proměnných byly jako podstatné stanoveny tvar a velikost otvorů síta a dávkované množství materiálu. Ostatní proměnné byly nastaveny na konstantní hodnotu, stálou po celou dobu měření.

Sklon sítové skříně byl nastaven na hodnotu 6°. Tento sklon je vhodný pro čištění široké řady plodin. Materiál se pohybuje dostatečně rychle, aby se netvořila příliš vysoká vrstva materiálu. Zároveň na tomto sklonu dochází k dostatečnému prosevu, většina materiálů není nadměrně urychlována.

Velikost kmitu skříně se odečítá na kmitoměru na boku sítové skříně a nastavuje se pomocí nevyvážek vibromotorů. Nevyvážky byly nastaveny tak, aby byla velikost kmitu 4 mm. Zároveň byla frekvence vstupního napětí vibromotorů nastavena na 50 Hz. Tato hodnota odpovídá 1000 ot/min. Sklon vibromotorů se standardně nastavuje na 30° a výrobce ho bez konzultace nedoporučuje měnit, protože může docházet k nepříznivým jevům během procesu čištění. Sklon motorů určuje směr vrhu materiálu, v tomto případě tak, aby se materiál nuceně pohyboval od vyššího místa do nižšího.

Zmíněné nastavené hodnoty jsou empiricky ověřené jako nejuniverzálnější. Většina materiálů je v těchto podmínkách prosévána dostatečně efektivně, šetrně a zároveň má stroj dostatečnou kapacitu práce. Tyto hodnoty jsou v průběhu celého měření neměnné.

## 5.2 Rozbor sítem 2,5x20 mm

Pro stanovení obsahu nežádoucího materiálu, kterým je materiál potenciálně značně rizikový pro proces skladování, bylo použito normou ČSN ISO 5223 normalizované síto 2,5 x 20,0 mm. Laboratorní vzorek o hmotnosti 100 g byl odebrán dle normy ČSN EN ISO 24 333. Vzorek byl proséván zmíněným sítem na třepačce vhodné na kruhová laboratorní síta po dobu 120 sekund. Velikost amplitudy kmitu byla 60 mm při frekvenci 187 min<sup>-1</sup>. Prosev byl proveden celkem třikrát. Výsledky rozboru jsou v *Tabulce 7*. Průměrná hodnota 24,7 % je použita pro výpočet efektivnosti separace drobného propadu při dalším měření.

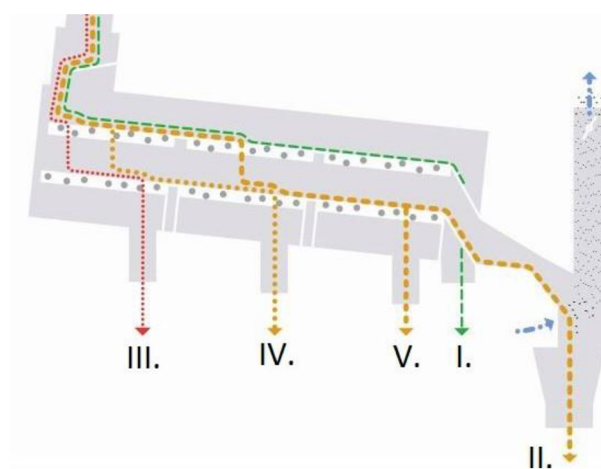
*Tabulka 7 Výsledky rozboru sítem 2,5x20 mm*

Měření	>2,5x20 mm	<2,5x20 mm	Podíl <2,5x10 mm
1	76,9 %	23,1 %	23,1 %
2	76,5 %	23,5 %	23,5 %
3	73,2 %	27,7 %	27,5 %
<b>Průměr</b>	<b>75,5 %</b>	<b>24,8 %</b>	<b>24,7 %</b>

### 5.3 Popis měřených hodnot

Čistička JCC 03 VibroCompact má celkem pět výpadevých kanálů. Označení jednotlivých výpadů stroje je na *Obrázku 16*. Výpad *I.* je pro hrubý materiál zachycený nad horním sítem. Výpadem *II.* prochází materiál zachycený nad spodním sítem. Tato frakce je zpravidla označována jako čistý materiál, tedy neodpadní materiál. Výpady *III.*, *IV.* a *V.* jsou pro jemný materiál propadlý spodním sítem. JCC 03 je konstruováno na tři síta ve vrstvě řazené za sebe, kdy každé síto má svůj vlastní výpad. V případě stanoveného experimentu je první síto, jak již bylo řečeno, zaslepené, proto jsou podíly výpadu *III.* nulové.

*Obrázek 16 Značení výpadů čističky JCC 03 VibroCompact*



### 5.4 Získané hodnoty

Hodnoty byly získány postupným vážením jednotlivých frakcí z popsaných výpadů. Zatížení bylo odečítáno z měrky na horním víku sítové skříně. Naměřené a z toho dopočítané hodnoty jsou pro síto 3,75x10 mm v *Tabulce 8* a *9*, pro síto 4,0x10 mm v *Tabulce 10* a *11*, pro síto 4,5x10 mm v *Tabulce 12* a *13*, pro síto 5,0x10 mm v *Tabulce 14* a *15* a pro síto 5,5x10 mm v *Tabulce 16* a *17*.

*Tabulka 8 Naměřené hodnoty pro síto 3,75x10 mm*

Měření	Frekvence pro JTU 100	Zaplnění horního síta	Výpady					Součet celkem
			I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[Hz]	[%]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
1	10	18	27,1	30737	0	4350,0	938,2	36052,3
2	20	35	83,4	31624	0	2725,7	1611,7	36044,8
3	25	50	1075,1	31363	0	2156,7	1437,6	36032,4
4	30	60	1304,2	31702	0	1858,5	1182,6	36047,3

Tabulka 9 Dupočítané hodnoty pro síto 3,75x10 mm

Měření	Kapacita JCC 03	Oddělení <2,5x20		Výpady					Součet drobný
		Odděleno ze vstupu	Finální zůstatek	I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[kg/hod]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	469	59,39	10,03	0,08	85,26	0,00	12,07	2,6	14,67
2	939	48,70	12,67	0,23	87,74	0,00	7,56	4,47	12,03
3	1173	40,40	14,72	2,98	87,04	0,00	5,99	3,99	9,98
4	1408	34,17	16,26	3,62	87,95	0,00	5,16	3,28	8,44

Tabulka 10 Naměřené hodnoty pro síto 4,0x10 mm

Měření	Frekvence pro JTU 100	Zaplnění horního síta	Výpady					Součet celkem
			I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[Hz]	[%]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
1	10	10	15,1	30925	0	4415,8	959,9	36315,8
2	20	23	16,2	31998	0	2671,0	1630,0	36315,2
3	30	43	14,0	33516	0	1716,7	1067,9	36314,6
4	40	58	461,0	33716	0	1410,2	748,2	36335,4

Tabulka 11 Dupočítané hodnoty pro síto 4,0x10 mm

Měření	Kapacita JCC 03	Oddělení <2,5x20		Výpady					Součet drobný
		Odděleno ze vstupu	Finální zůstatek	I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[kg/hod]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	469	59,92	9,90	0,04	85,16	0,00	12,16	2,64	14,80
2	939	47,98	12,85	0,04	88,11	0,00	7,36	4,49	11,85
3	1408	31,05	17,03	0,04	92,29	0,00	4,73	2,94	7,67
4	1877	24,05	18,76	1,27	92,79	0,00	3,88	2,06	5,94

Tabulka 12 Naměřené hodnoty pro síto 4,5x10 mm

Měření	Frekvence pro JTU 100	Zaplnění horního síta	Výpady					Součet celkem
			I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[Hz]	[%]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
1	20	23	2,0	30487	0	3186,7	2007,6	35683,3
2	35	35	3,0	33034	0	1592,1	1051,7	35680,8
3	45	48	3,4	33603	0	1255,7	816,8	35678,9
4	65	70	30,0	34182	0	929,2	539,8	35681,0

Tabulka 13 Dopočítané hodnoty pro síto 4,5x10 mm

Měření	Kapacita JCC 03	Oddělení <2,5x20		Výpady					Součet drobný
		Odděleno ze vstupu	Finální zůstatek	I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[kg/hod]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	939	58,95	10,14	0,01	85,44	0,00	8,93	5,63	14,56
2	1643	30,00	17,29	0,01	92,58	0,00	4,46	2,95	7,41
3	2112	23,52	18,89	0,01	94,18	0,00	3,52	2,29	5,81
4	3051	16,64	20,59	0,08	95,80	0,00	2,6	1,51	4,11

Tabulka 14 Naměřené hodnoty pro síto 5,0x10 mm

Měření	Frekvence pro JTV 100	Zaplnění horního síta	Výpady					Součet celkem
			I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[Hz]	[%]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
1	20	23	15,6	32326	0	2345,8	1634,1	36321,5
2	40	47	43,9	34378	0	1197,9	706,1	36325,9
3	60	65	13,1	35073	0	787,7	425,9	36299,7
4	70	80	870,0	34375	0	720,9	360,8	36326,7

Tabulka 15 Dopočítané hodnoty pro síto 5,0x10 mm

Měření	Kapacita JCC 03	Oddělení <2,5x20		Výpady					Součet drobný
		Odděleno ze vstupu	Finální zůstatek	I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[kg/hod]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	939	44,37	13,74	0,04	89,00	0,00	6,46	4,5	10,96
2	1877	21,21	19,46	0,12	94,64	0,00	3,3	1,94	5,24
3	2816	13,52	21,36	0,04	96,62	0,00	2,17	1,17	3,34
4	3285	12,02	21,73	2,39	94,63	0,00	1,98	0,99	2,97

Tabulka 16 Naměřené hodnoty pro síto 5,5x10 mm

Měření	Frekvence pro JTV 100	Zaplnění horního síta	Výpady					Součet celkem
			I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[Hz]	[%]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
1	20	18	11,5	32375	0	2290,7	1641,7	36318,9
2	45	45	36,3	34643	0	1022,0	633,4	36334,7
3	65	63	17,5	35160	0	736,4	410,3	36324,2
4	80	80	467,4	34905	0	626,2	331,5	36330,1

Tabulka 17 Dopočítané hodnoty pro síto 5,5x10 mm

Měření	Kapacita JCC 03	Oddělení <2,5x20		Výpady					Součet drobný
		Odděleno ze vstupu	Finální zůstatek	I.	II.	III.	IV.	V.	
-	[kg/hod]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	939	43,85	13,87	0,03	89,14	0,00	6,31	4,52	10,83
2	2112	18,42	20,15	0,10	95,34	0,00	2,81	1,74	4,55
3	3051	12,79	21,54	0,05	96,79	0,00	2,03	1,13	3,16
4	3755	10,65	22,07	1,29	96,08	0,00	1,72	0,91	2,63

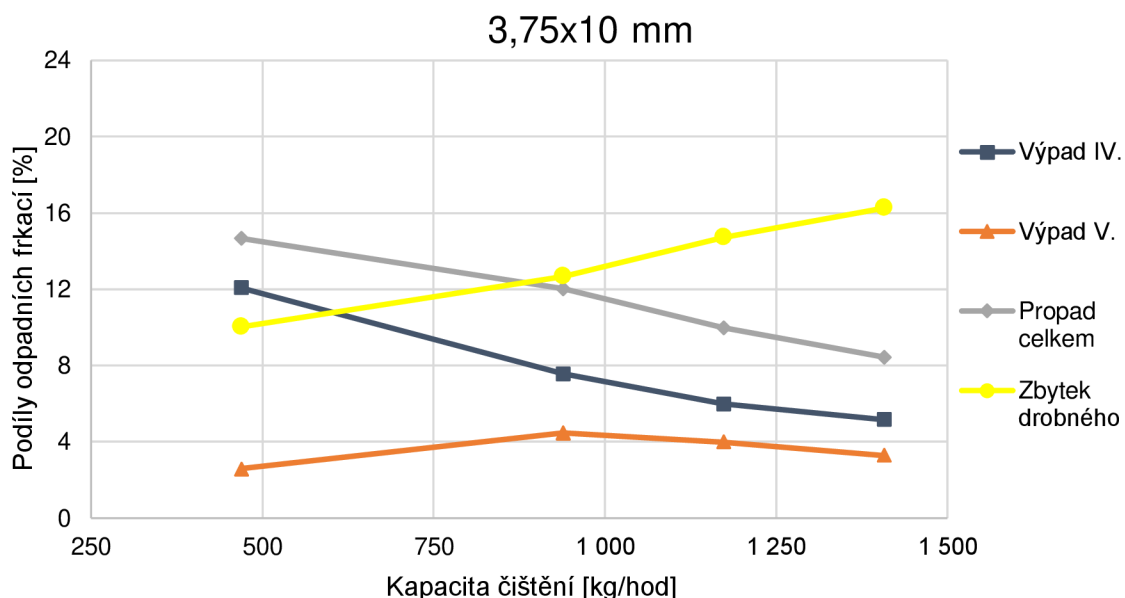
## 6 VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR

### 6.1 Vyhodnocení

Při vyhodnocování zkoušek čištění je důležitější než číselné podklady, vyhotovení grafických výsledků. Pohled na grafické podklady dává ucelenější informaci o chování materiálu při různých podmínkách čištění. V případě dříve popsanych měření, byl pro každý rozměr horního síta zpracován samostatný grafický výstup.

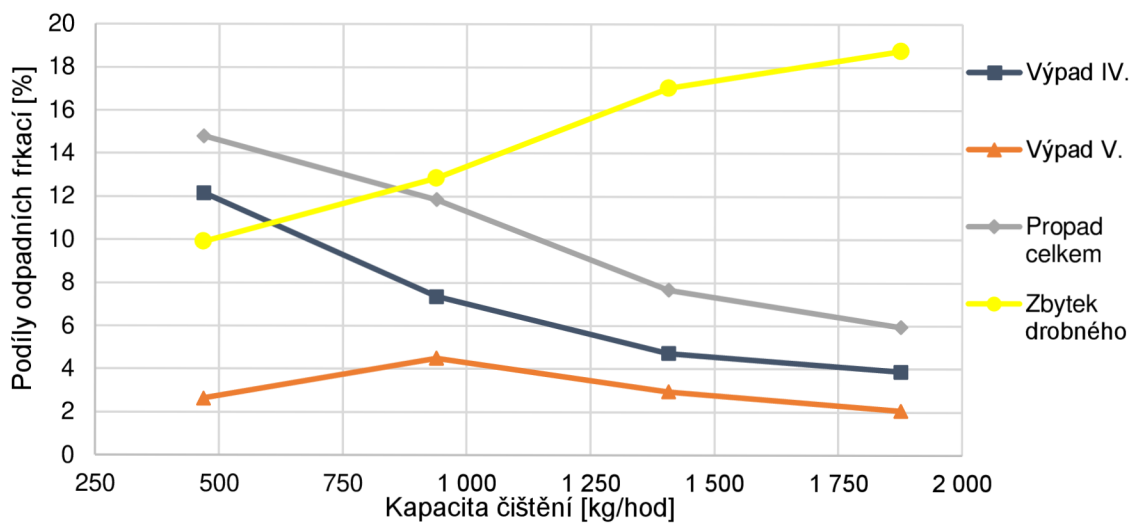
Jelikož byl experiment zaměřen zejména na separaci drobného materiálu, do grafických výstupů byly zpracovány hodnoty hmotností jednotlivých výpadů drobného materiálu. Pro připomenutí je dobré zmínit, že výpad *III.* je zaslepen, tudíž neobsahuje žádné množství materiálu a není zahrnut do grafického výstupu. Další významnou křivkou je zbytek drobného zrna v mezisítné frakci označený jako *Zbytek drobného*. Do výstupů je také formálně zahrnut i celkový propad spodním sítem označený jako *Propad celkem*. Všechny zobrazované křivky jsou závislé na dávkovaném množství materiálu do stroje. Výstupy jsou na *Obrázcích 17 až 21* pro každé horní síto zvlášť.

Obrázek 17 Grafická závislost drobného propadu pro síto 3,75x10 mm



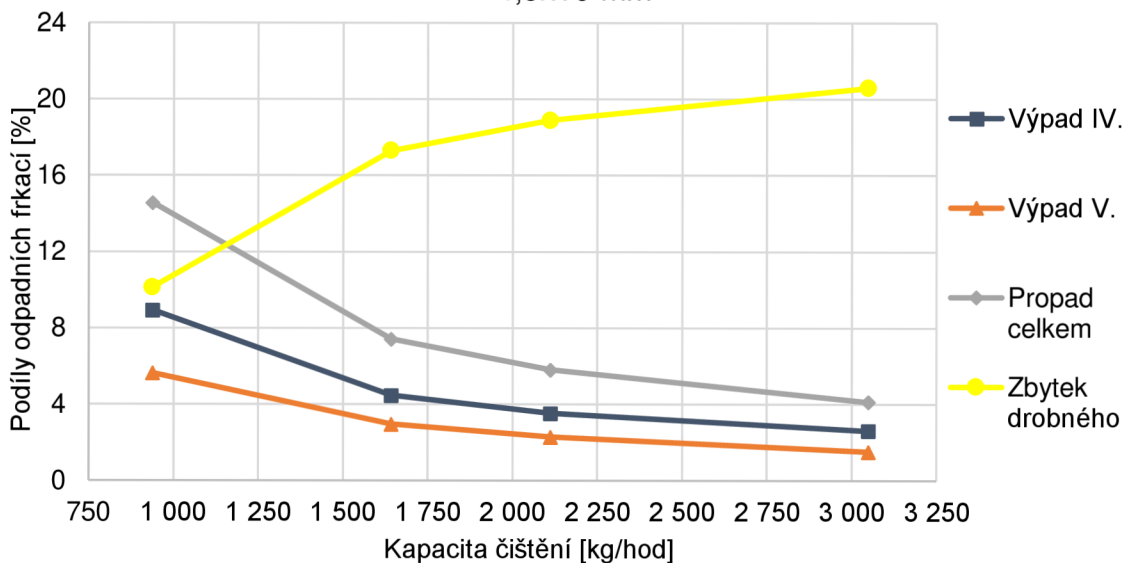
Obrázek 18 Grafická závislost drobného propadu pro síto 4,0x10 mm

4,0x10 mm



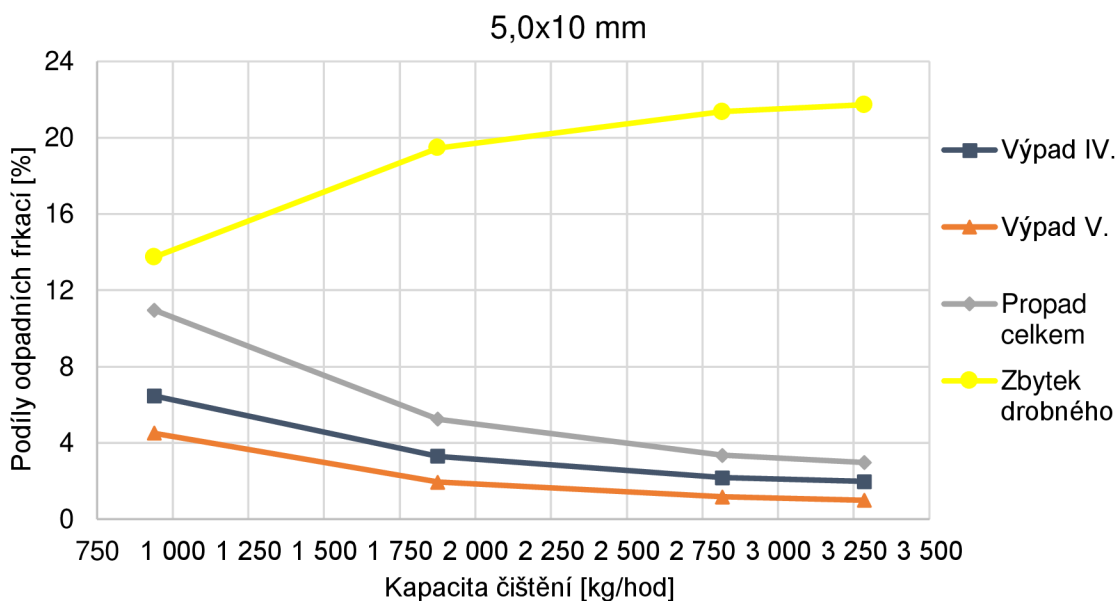
Obrázek 19 Grafická závislost drobného propadu pro síto 4,5x10 mm

4,5x10 mm

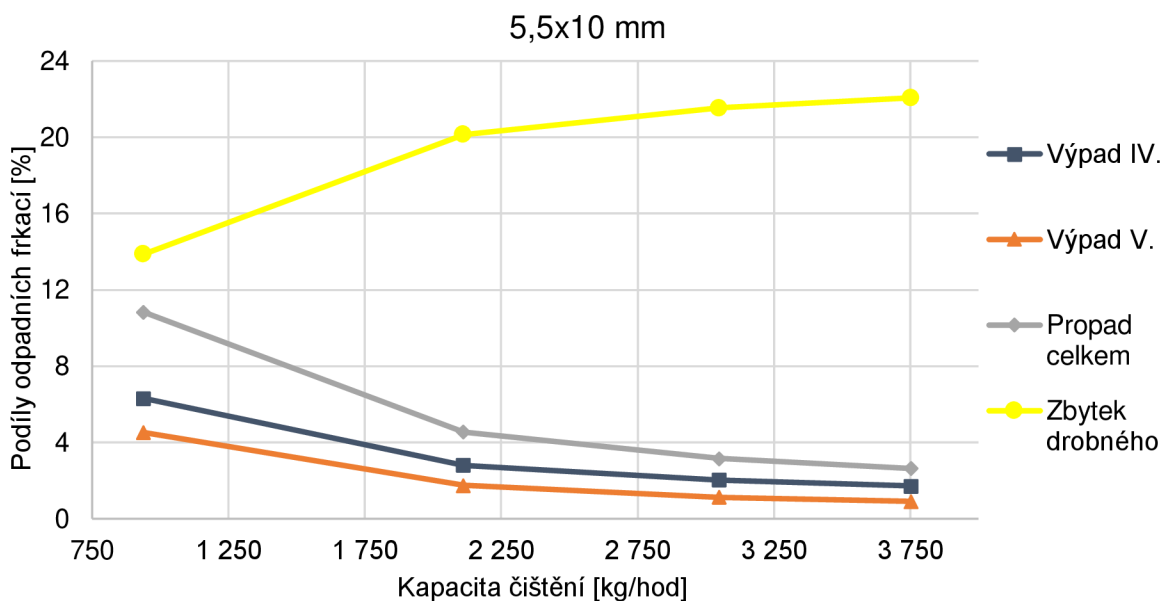




Obrázek 20 Grafická závislost drobného propadu pro síto 5,0x10 mm



Obrázek 21 Grafická závislost drobného propadu pro síto 5,5x10 mm



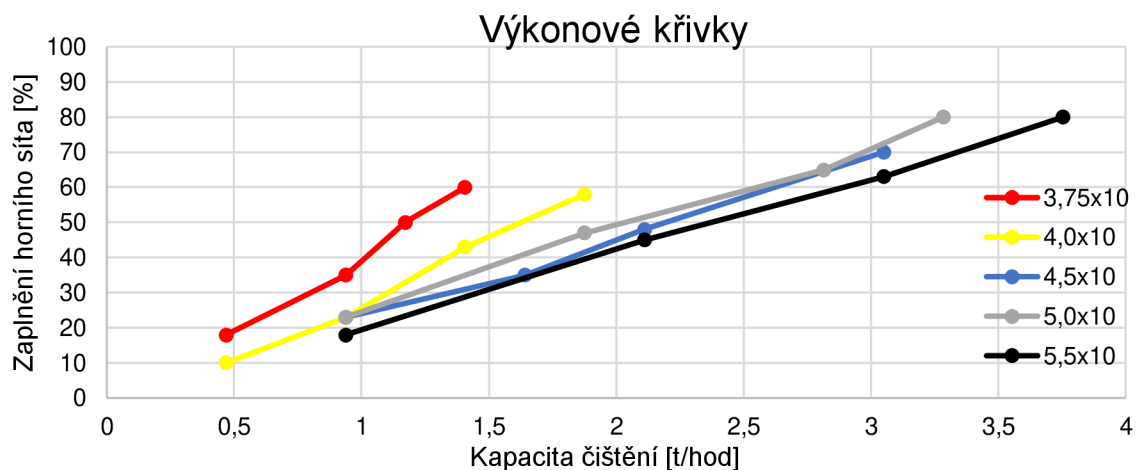
Ve všech grafických výstupech lze pozorovat stejný průběh závislosti množství materiálu ve výpadu IV. Tato závislost je z pravidla klesající se zvyšující se kapacitou čištění. V případě zkoumání závislosti množství materiálu ve výpadu V., lze opět pozorovat závislost klesající se zvětšující se kapacitou čištění. Ovšem zde jsou výrazné dvě výjimky. Těmi výjimkami jsou křivky množství materiálu ve výpadu V. v případě použití horního síta 3,75x10 mm a 4,0x10 mm. U těchto dvou křivek je vidět počáteční zvýšení množství materiálu ve výpadu V. Tento jev je očekávatelný u všech sít při kapacitě čištění od 0 do

zhruba 1000 kilogramů za hodinu. Vysvětlení příčiny je v malé kapacitě, kdy je materiál dávkován v malém množství a díky roztažení do šířky tedy i v malé vrstvě. V malé vrstvě se totiž částice dostávají do kontaktu se sítím mnohem snadněji a častěji, k jejich porovnání s otvory v sítu dochází intenzivněji. Částice se též pohybují po síti pomaleji, díky absenci značné části interakcí s ostatními částicemi. Výsledkem je propad horním sítím na kratší vzdálenosti. Brzký propad horním sítím zároveň umožňuje prosev na delším úseku spodního síta. Pokud je zde spodní patro síti rozděleno na první nepracovní, druhé pracovní a třetí pracovní síto, tak se materiál na spodní síto dostává tak brzy, že se nad třetí síto dostává již velmi malé množství drobného materiálu. Třetí síto je tedy neefektivně využito a část jeho plochy nepracuje. Tato plocha se postupně zmenšuje až do zmiňované kapacity zhruba 1000 kilogramů za hodinu, kdy podíl odděleného materiálu na síti začíná klesat.

Dále je do grafických výstupů zahrnuta křivka *Propad celkem*, která je prostým součtem množství materiálu ve výpadu IV. a V. Celkový propad má klesající tendenci se zvyšující se kapacitou čištění. Poslední křivkou je *Zbytek drobného*. Tato křivka je pro praxi pravděpodobně nejdůležitější a ukazuje dopočítané množství zbylého materiálu, který propadne sítím 2,5x20 mm. Dopočet je proveden jako rozdíl počátečního množství drobného materiálu, zde 24,7 %, a celkového propadu spodního síta. Z logiky věci výše zmíněné má tato křivka rostoucí tendenci.

Dalším měřeným parametrem byl odečet zatížení horního síta. Zatížení síta je vztaženo ke kapacitě čištění a tyto závislosti jsou pro porovnání mezi jednotlivými síty zpracovány do souhrnného *Obrázku 22*.

Obrázek 22 Výkonové křivky



Předpokládaný průběh výkonové křivky je lineární závislost. Tato závislost je rostoucí, kdy síta s menšími otvory mají větší směrnici přímkou, a tedy jejich růst je strmější. Výkonové křivky rovněž přispívají k vhodné volbě síta, zde pouze horního, pokud je rozhodovací proces volby pracovní sady sít zaměřen jak na kvalitu, tak výkonnost čištění.

## 6.2 Závěr

Hypotéza pro provádění čištění zemědělských plodin v obecném smyslu, tedy nejen rozměrové čištění, je zlepšení těch vlastností zrnin, které přispívají k dlouhodobé skladovatelnosti bez ztráty vnitřních vlastností zrna. Rozměrové čištění na laboratorní lince s čističkou JCC 03 VibroCompact mělo za úkol ověřit především oddělení drobných příměsí a nečistot z pšenice ozimé odrůdy Hyking. Teoretickým předpokladem pro čištění pšenice na potravinářskou kvalitu bylo použití některého spodního síta z řady 2,0x10 mm až 2,4x10 mm. Jako vhodnou volbou se zde z charakteristik vstupního materiálu jeví síto 2,4x10 mm. Předpokládané horní síto je 4,5x10 mm. Volba tohoto síta byla experimentálně ověřena proti sítům s jinými rozměry. Očekávaná kapacita při dostatečné míře separace nechtěných složek je hodnota pohybující se kolem 1000 kg.hod<sup>-1</sup> jelikož se jedná o průmyslové čištění.

U všech použitých kombinací sít lze pozorovat odseparování alespoň malé části nechtěných příměsí. Lze tedy potvrdit, že při jakékoliv volbě zkoušeného způsobu čištění se alespoň mírně zlepšují výchozí podmínky dlouhodobé skladovatelnosti zkoušeného materiálu. V širším pojetí má jakékoliv odstranění drobných nečistot pozitivní vliv na udržení vhodného mikroklima uvnitř skladovacích prostor, tedy rovnoměrné provzdušňování zrna. Rovnoměrné proudění vzduchu při skladování je kritické především v období prvního měsíce skladování, kdy dochází ke stabilizaci zrna. V tomto období nesmí docházet v žádném případě k zanášení nebo ucpávání mezizrnových prostor zrna, díky nedokonale vyčištěnému zrnům od jemných nečistot a drobných úlomků zrn či nechtěných zrn ostatních plodin a plevelů. V pozdějších fázích skladování by důsledkem nedostatečného prostoru mezi jednotlivými zrny mohlo docházet k nepravidelnému sléhání zrna a tím by nedocházelo k rovnoměrnému provzdušnění celé vrstvy skladovaného materiálu. Z výše zmíněných důvodů dochází v určitých místech skladovacího prostoru k teplotním a následně i vlhkostním výkyvům, které mají negativní vliv na udržení kvalitativních parametrů

skladovaného zrna, v našem případě potravinářské pšenice a není možné udržet teplotní a vlhkostní parametry skladování v celém objemu materiálu.

Maximální kapacitu čištění lze volit z křivky průběhu množství materiálu ve výpadu V. Jak bylo naznačeno výše, maximální využití spodní vrstvy sít je v bodě, kterým končí rostoucí část křivky materiálu ve výpadu V. Při volbě větší kapacity čištění již dochází k přetížení sít a míra separace drobného materiálu prudce klesá. Naopak při volbě menší kapacity dochází k nevyužití celé síťové plochy spodního patra, benefitem zde ovšem je, že dochází ke značně větší separaci drobného odpadu. Tento efekt může být využit ve specifických aplikacích, ovšem standardně lze sledovat největší množství materiálu ve výpadu V. při kapacitě okolo 940 kg/hod. Tato experimentálně nalezená kapacita potvrzuje další předpoklad a to čištění s kapacitou kolem 1000 kg/hod, kdy hodnota 940 kg/hod je velmi blízká.

Pro volbu konkrétního horního síta lze poté vyjít z křivky *Zbytek drobného*, kdy je potřeba vyhledat síto, které má pro hodnotu kapacity čištění 940 kg/hod nejmenší zbytek drobného materiálu ve finální frakci. Při pohledu do grafických výsledků je to síto 4,5x10 mm s oddělením 58,95 % drobného materiálu. Podíl zbytku drobného materiálu při uvedených podmínkách čištění je 10,14 %. Zároveň je zde i potvrzen fakt, že zde existuje vztah mezi separací drobného materiálu a velikostí otvorů horního síta. Pro horní síta platí, že u sít s menšími otvory nastává situace, kdy malé částice potřebují více pokusů a tím i délky síta na propad. Poté je již k dispozici pouze malá délka síta spodního a dochází k nedostatečné separaci. Naopak pro síta s většími otvory platí, že materiál propadá velmi snadno a velmi brzy (na malé délce), tím je ovšem vrstva na spodním síti vyšší a nedochází zde k jakostnímu prosevu. Síto 4,5x10 mm tyto dva stavy balancuje do rovnováhy a materiál propouští tak, že dochází k jakostnímu prosevu jak na horním, tak na spodním síti.

Doplňujícím údajem je zatížení horního síta na 23 %. Tato hodnota je velmi blízká hodnotě i pro síto 5,0x10 mm a 5,5x10 mm, kde lze odečíst 23 % respektive 19 %. Pokud bychom vycházeli pouze z grafu výkonových křivek, mohou nás tyto hodnoty svést k nevhodné volbě síta, v tomto případě některého s větším okem. Ačkoliv je hodnota zatížení síta velmi podobná až stejná, struktura propadajícího materiálu je odlišná. Toto pak dokazuje zmiňovaná křivka zbytku drobného materiálu ve směsi. Ačkoliv je měření výkonových křivek velmi účelné, je bohužel také zatíženo velkou chybou. Hlavní chyba je

zde vnášena způsobem odečtu hodnoty, kdy při chodu stroje není možné přesně tuto hodnotu určit. Je zde totiž potřeba rozlišit místo, za kterým je materiál nad sítím již pouze z částic větší než otvory. Pravděpodobně i z důvodu této chyby má výkonová křivka pro síto 5,0x10 mm strmější průběh než pro síto 4,5x10 mm.

Pro zobecnění výsledků je potřeba uvědomit si některá již zmíněná fakta. Separace na sítích je při konstantní rychlosti závislá na délce síta. Tuto skutečnost je potřebné zvažovat při aplikaci výsledku na stroj s větší sítovou plochou. Pokud se bude zvětšovat pouze šířka síta s předpokladem dokonalého rozvrstvení materiálu po celé šířce, kapacita stroje bude úměrná poměru velikosti jeho sítové plochy a velikosti sítové plochy JCC 03 VibroCompact. Bude-li se ovšem zvětšovat délka síta, částicím umožníme se po síti pohybovat delší dobu a tím bude docházet k lepšímu prosevu. To znamená, že bude dosaženo výsledků stejných, jako u nižších kapacit čištění na JCC 03 VibroCompact, materiál bude lépe vyseparován. Jinými slovy lze u delšího síta dosáhnout ještě mírně vyšší kapacity při konstantních výstupních parametrech.

## SEZNAM POUŽITÝCH LITERÁRNÍCH ZDROJŮ

- [1] FILIP, Pavel a Václav MARTINEK. *Mlynářská technologie svazek 2: Skladování a příprava surovin*. 1. Praha: Svaz průmyslových mlýnů České republiky, 2012. ISBN 978-80-239-9475-9.
- [2] Doporučení pro ošetřování a skladování zrna obilnin. In: *Uroda.cz: Informace o rostlinné výrobě pro zemědělské odborníky* [online]. Praha: ProfiPress, 2001 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://uroda.cz/doporučení-pro-osetrování-a-skladování-zrna-obilnin/>
- [3] HAMPL, Jan. *Cereální chemie a technologie*. První vydání. Praha: SNTL, n.p. Praha 1 společně s nakladatelstvím ALFA, n.p. Bratislava, 1970, 400 s. Typové číslo: L 18-C3-IV-31/87713/IV.
- [4] BASTLOVÁ, Zita. Mikrobiologie potravin IV. In: *Inovace VOV: portál inovace vyššího odborného vzdělání* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.vovcr.cz/odz/tech/308/page00.html>
- [5] BUREŠOVÁ, Iva a Slavoj PALÍK. *Kvalita obilovin* [dokument MS Word]. 1. Kroměříž: Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, 2005 [cit. 17.2.2023]. Dostupné z: <http://www.agris.cz/clanek/139807>
- [6] ČSN 46 1100 - 1. *Obilí potravinářské: Část 1: Společná ustanovení*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [7] ČSN 46 1200 - 1. *Obiloviny: Část 1: Společná ustanovení*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [8] ČSN 46 1011 - 6. *Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin: Část 6: Zkouška obilovin - Stanovení obsahu příměsí a nečistot*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [9] ČSN 46 1100 - 2. *Obiloviny potravinářské: Část 2: Pšenice potravinářská*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [10] SKALICKÝ, Jaroslav. *Ošetřování a skladování zrnin ve věžových zásobnících a halových skladech: Metodická příručka*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-38-7.
- [11] GREGG, Bill (B.R.) a Gary L. BILLUPS. *Seed conditioning: Volume two: TECHNOLOGY*. 1. Enfield: Science publishers, 2010. ISBN 978-1-57808-608-5.

- [12] KUMHÁLA, František. *Mechanické pochody zpracování partikulárních látek* [Prezentace MS PowerPoint]. Praha: Česká Zemědělská Univerzita v Praze, 2008.
- [13] FEDA, Jaroslav. *Základy mechaniky partikulárních látek*. 1. vydání. Praha: Academia, 1977, 347 s.
- [14] KUMHÁLA, František. *Partikulární látky* [Prezentace MS PowerPoint]. Praha: Česká Zemědělská Univerzita v Praze, 2008.
- [15] Obilniny. In: *Zemědělské komodity: Informace o zemědělství* [online]. Dobřejšovice [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <http://www.zemedelskekomodity.cz/index.php/roslinna-vyroba-menu/obilniny>
- [16] JECH, Ján a kolektiv. *Stroje pre rastlinnú výrobu 3: Stroje a zaradenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie*. Prvé. Praha: Profi Press, s.r.o., 2011, 368 s. ISBN 978-8-86726-41-0.
- [17] KUMHÁLA, František. *Relativní pohyb částice po nakloněné nebo vodorovné rovině* [Prezentace MS PowerPoint]. Praha: Česká Zemědělská Univerzita v Praze, 2008.
- [18] JCM Modulární čističky VibroMax. In: *JK Machinery: oddělujeme zrna od plev* [online]. Praha: JK Machinery a.s., 2018 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://jk-machinery.cz/stroje/jcm-vibromax/>
- [19] JK MACHINERY A.S. *Původní návod k používání: Modulární čističky JCM VibroMax*. Praha, 2023. Původní návod k používání uvedeného zařízení.
- [20] LEE, Man Djun a Pui San LEE. Design and development of size segregation sieve machine with centrifugal action. In: *Universal Journal of Mechanical Engineering* [online]. Horizon Research Publishing Co. Ltd., s. 208-215 [cit. 2023-02-18]. ISSN 2332-3361. Dostupné z: doi:10.13189/ujme.2020.080406
- [21] SCHWANZ, Heiner, Georg PIPPEL, Kai-Uwe VIETH, Burkhard IßBRÜCKER a Heike KNÖRZER. *Seed Cleaning Compendium*. 1. Clenze: ERLING Verlag GmbH & Co. KG, 2019, 119 s. ISBN 978-3-86263-149-0.
- [22] KUMHÁLA, František. *Třídící zařízení* [Prezentace MS PowerPoint]. Praha: Česká Zemědělská Univerzita v Praze, 2008.
- [23] TAS. In: *TAS universal cleaning machine* [online]. Uzwill (Switzerland): Bühler Holding AG [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: [https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/products/universal\\_cleaningmachine.html](https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/products/universal_cleaningmachine.html)

- [24] *Tumbler Screening Machines: Brochure* [online]. Uhingen: Allgaier Process Technology GmbH, 2016 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: [https://www.allgaier-process-technology.com/Downloads/Kompetenzen/Sieben/Taumelsiebmaschinen%20TSM-tsi/APT\\_Brochure\\_Tumbler\\_Screening\\_Machines\\_TSM-tsi\\_EN.pdf](https://www.allgaier-process-technology.com/Downloads/Kompetenzen/Sieben/Taumelsiebmaschinen%20TSM-tsi/APT_Brochure_Tumbler_Screening_Machines_TSM-tsi_EN.pdf)
- [25] Gyrotory reciprocating screener. In: *Rotex industrial screeners* [online]. Cincinnati: Rotex, 2023 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://rotex.com/products/rotex-screener/>
- [26] Rovinný vysévač RQV 210. In: *Šenovka: Stroje a zařízení pro zpracování obilovin* [online]. Vysoké Chvojno: Šenovka, 2018 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.senovka.cz/rovinny-vysevac-rqv-210.html>
- [27] VEVERKA, David. Hranolové vysévače. In: *Vodní mlýny* [online]. Starosedlský Hrádek [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.vodnimlyny.cz/hranolove-vysevace/>
- [28] Kovové tkaniny se čtvercovými oky. In: *Bellus* [online]. Břeclav: Bellus [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: [http://www.bellus.cz/1\\_kovove\\_ctvercove.htm](http://www.bellus.cz/1_kovove_ctvercove.htm)
- [29] NovaBlue sieve cleaner. In: *NovaBlue sieve cleaner Bühler group* [online]. Uzwil (Switzerland): Bühler Holding AG [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.buhlergroup.com/novablue>
- [30] *Volba tvaru otvoru v sítu podle tvaru příměsí v produktu* [interní dokument]. Praha: JK-Machinery s.r.o., 2016, 5 s.
- [31] MALOUN, Josef. *Technologická zařízení a hlavní procesy při výrobě krmiv*. 1. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2001, 201 s. ISBN 80-213-0783-8.



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Kézdiho diagram [13].....	- 12 -
Obrázek 2 Tvar částice [3].....	- 14 -
Obrázek 3 Grafické znázornění hmotnosti materiálu nad sítím v závislosti na čase [12] -	17 -
Obrázek 4 JCM 10122 VibroMax od JK-Machinery a.s. [18] .....	- 18 -
Obrázek 5 Síly na částici na nakloněném kmitajícím sítě [17] (upraveno).....	- 20 -
Obrázek 6 Síly na částici v rotujícím cylindrickém sítě [20](upraveno) .....	- 21 -
Obrázek 7 Krouživě vratný pohyb (firma ROTEX) [25] .....	- 23 -
Obrázek 8 Uspořádání sít [11] .....	- 24 -
Obrázek 9 Plátňová a keprová vazba [28] .....	- 26 -
Obrázek 10 Kuličkové čištění síta [21] .....	- 29 -
Obrázek 11 Variační křivky dvousložkové směsi [3] .....	- 30 -
Obrázek 12 Projektové schéma čistící linky .....	- 36 -
Obrázek 13 Upravená prosévačka RETSCH AS 200 .....	- 39 -
Obrázek 14 Kumulativní množství materiálu na sítích s kruhovými otvory .....	- 40 -
Obrázek 15 Kumulativní množství materiálu na sítích s obdélníkovými otvory.....	- 40 -
Obrázek 16 Značení výpadů čističky JCC 03 VibroCompact .....	- 44 -
Obrázek 17 Grafická závislost drobného propadu pro síto 3,75x10 mm .....	- 48 -
Obrázek 18 Grafická závislost drobného propadu pro síto 4,0x10 mm .....	- 49 -
Obrázek 19 Grafická závislost drobného propadu pro síto 4,5x10 mm .....	- 49 -
Obrázek 20 Grafická závislost drobného propadu pro síto 5,0x10 mm .....	- 50 -
Obrázek 21 Grafická závislost drobného propadu pro síto 5,5x10 mm .....	- 50 -
Obrázek 22 Výkonové křivky .....	- 51 -

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Jakostní ukazatele potravinářské pšenice .....	- 10 -
Tabulka 2 Přehled tvarů otvorů sít .....	- 27 -
Tabulka 3 Technické parametry čistící linky .....	- 36 -
Tabulka 4 Výsledky laboratorního rozboru pšenice ozimé odrůda Hyking .....	- 38 -
Tabulka 5 Seznam použitých sít na granulometrii .....	- 39 -
Tabulka 6 Výstup granulometrické analýzy .....	- 41 -
Tabulka 7 Výsledky rozboru sítím 2,5x20 mm .....	- 43 -
Tabulka 8 Naměřené hodnoty pro síto 3,75x10 mm .....	- 44 -
Tabulka 9 Dopočítané hodnoty pro síto 3,75x10 mm .....	- 45 -
Tabulka 10 Naměřené hodnoty pro síto 4,0x10 mm .....	- 45 -
Tabulka 11 Dopočítané hodnoty pro síto 4,0x10 mm .....	- 45 -
Tabulka 12 Naměřené hodnoty pro síto 4,5x10 mm .....	- 45 -
Tabulka 13 Dopočítané hodnoty pro síto 4,5x10 mm .....	- 46 -
Tabulka 14 Naměřené hodnoty pro síto 5,0x10 mm .....	- 46 -
Tabulka 15 Dopočítané hodnoty pro síto 5,0x10 mm .....	- 46 -
Tabulka 16 Naměřené hodnoty pro síto 5,5x10 mm .....	- 46 -
Tabulka 17 Dopočítané hodnoty pro síto 5,5x10 mm .....	- 47 -

## SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 Mezerovitost.....	- 12 -
Rovnice 2 Objemová hmotnost.....	- 13 -
Rovnice 3 Rychlost částice na skloněném síti .....	- 15 -
Rovnice 4 Pravděpodobnost propadu.....	- 15 -
Rovnice 5 Prosev.....	- 16 -
Rovnice 6 Separace proměnných rovnice prosevu .....	- 16 -
Rovnice 7 Množství materiálu na sítem v závislosti na času .....	- 16 -
Rovnice 8 Množství materiálu v závislosti na délce .....	- 17 -
Rovnice 9 Efektivnost prosevu .....	- 17 -
Rovnice 10 Podmínka prosevu na rotujícím cylindrickém síti .....	- 21 -
Rovnice 11 Kinematický koeficient pohybu .....	- 21 -
Rovnice 12 Kritické otáčky cylindrického síti .....	- 21 -
Rovnice 13 Vztah pro harmonický pohyb .....	- 24 -
Rovnice 14 Minimální frekvence kmitání .....	- 25 -
Rovnice 15 Maximální frekvence kmitání .....	- 25 -
Rovnice 16 Podmínka separovatelnosti.....	- 30 -
Rovnice 17 Čistota první frakce.....	- 32 -
Rovnice 18 Čistota druhé frakce .....	- 32 -
Rovnice 19 Výtěžek první frakce.....	- 32 -
Rovnice 20 Výtěžek druhé frakce .....	- 32 -
Rovnice 21 Výtěžek první složky v první frakci .....	- 33 -
Rovnice 22 Výtěžek druhé složky v druhé frakci .....	- 33 -

## 7 PŘÍLOHY

Příloha 1 Seznam sortimentu sít firmy JK Machinery a.s. pro čističku JCC 03 VibroCompact .....	- 1 -
Příloha 2 Numerické a další grafické výstupy pro granulometrický rozbor pšenice ozimé odrůda HYKING; síta s kruhovým otvorem nahoře, síta s obdélníkovým otvorem dole.-	2 -
Příloha 3 Fotografie struktury frakcí pšenice ozimé odrůda HYKING; síta s kruhovým otvorem nahoře, síta s obdélníkovým otvorem dole .....	- 4 -

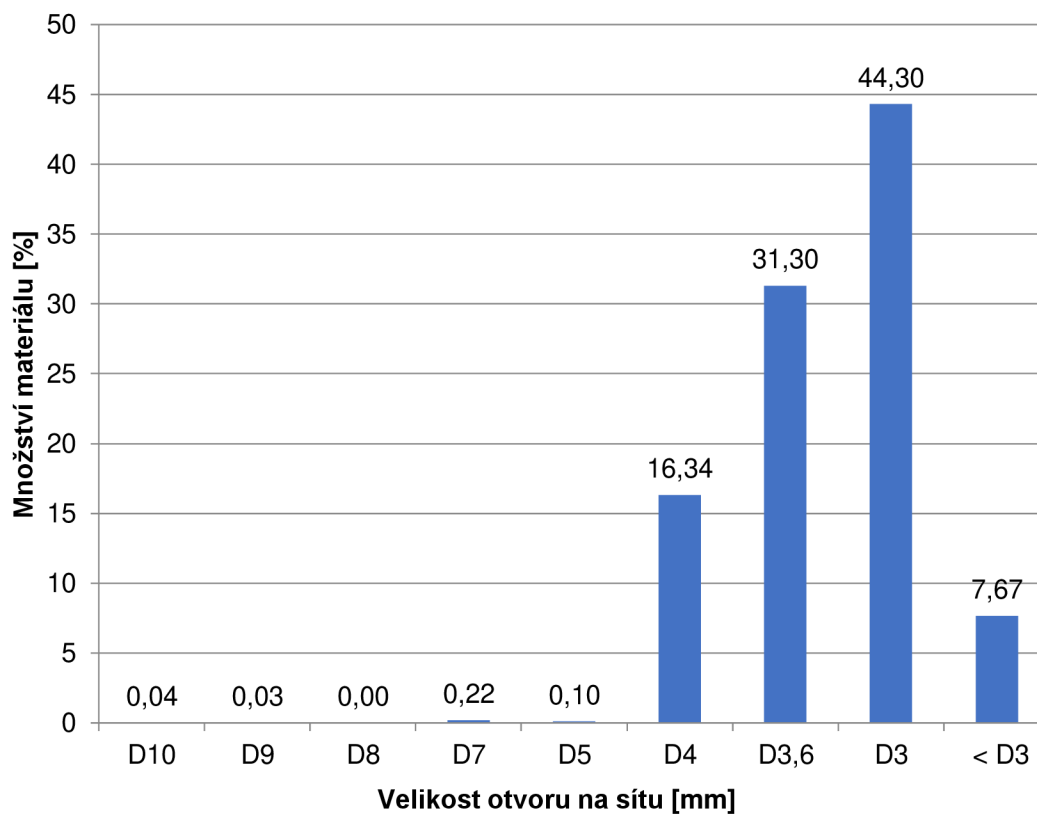
PŘÍLOHA 1 SEZNAM SORTIMENTU SÍT FIRMY JK MACHINERY A.S. PRO ČISTIČKU JCC 03 VIBROCOMPACT

Tvar ok	Čtverec	Obdélník	Kruh	
Rozměr oka	A x A	A x 10	øD; R	
<b>Rozměr</b>	<b>A [mm]</b>	<b>A [mm]</b>	<b>D [mm]</b>	<b>R [mm]</b>
	0,5	1,25	3	4
	0,63	1,4	3,6	4
	0,8	1,6	4	6
	1,0	1,8	5	6
	1,25	2,0	6	8
	1,4	2,2	7	10
	1,6	2,4	8	9
	1,8	2,6	9	12
	2,2	2,75	10	12
	2,5	3,0	12	16
	2,8	3,25		
	3,15	3,5		
	3,5	3,75		
	4,5	4,0		
	5,0	4,5		
	6,0	5,0		
	7,0	5,5		
	8,0	6,0		
	9,0	6,5		
	10,0			
	12,0			
	13,0			
	14,0			
	15,0			

PŘÍLOHA 2 NUMERICKÉ A DALŠÍ GRAFICKÉ VÝSTUPY PRO GRANULOMETRICKÝ ROZBOR PŠENICE OZIMÉ ODRŮDA HYKING; SÍTA S KRUHOVÝM OTVOREM NAHOŘE, SÍTA S OBDÉLNÍKOVÝM OTVOREM DOLE

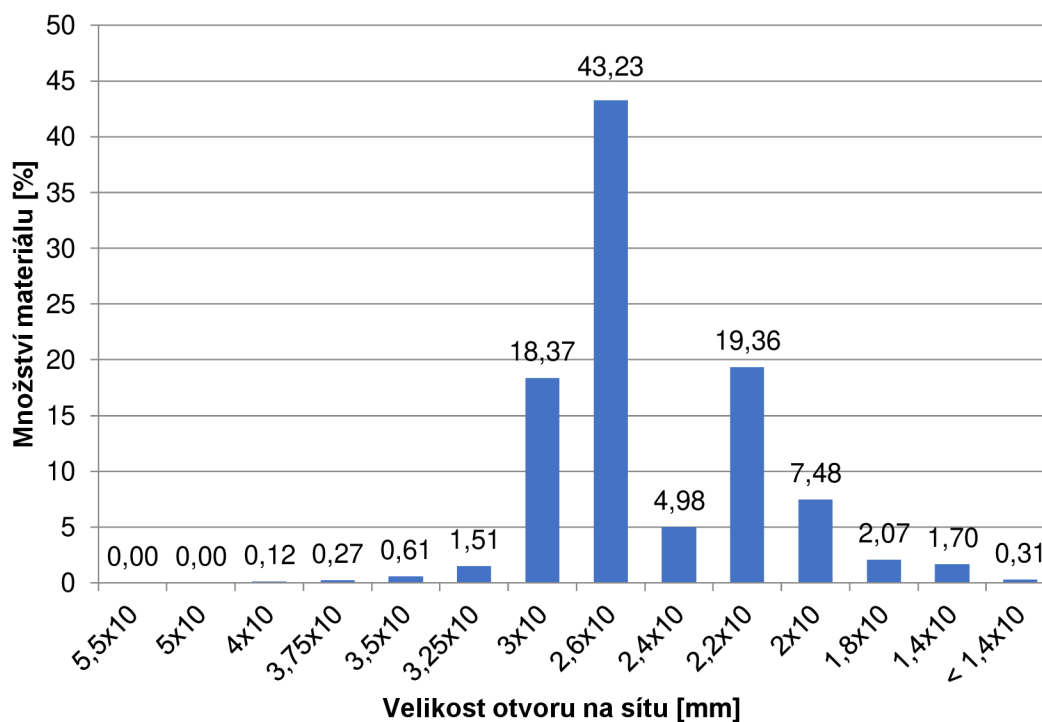
Velikost ok v sítu [mm]	Množství materiálu [g]	Množství materiálu [%]	Kumulativní množství m. [%]
D10	0,12	0,04	0,04
D9	0,08	0,03	0,07
D8	0	0,00	0,07
D7	0,65	0,22	0,28
D5	0,3	0,10	0,38
D4	49,16	16,34	16,72
D3,6	94,18	31,30	48,02
D3	133,29	44,30	92,33
< D3	23,09	7,67	100,00
<b>Celkem</b>	<b>300,87</b>	<b>100,00</b>	

### Granulometrie



Velikost ok v sítu [mm]	Množství materiálu [g]	Množství materiálu [%]	Kumulativní množství m. [%]
5,5x10	0,01	0,00	0,00
5x10	0,01	0,00	0,00
4x10	0,35	0,12	0,12
3,75x10	0,8	0,27	0,39
3,5x10	1,83	0,61	0,99
3,25x10	4,55	1,51	2,51
3x10	55,22	18,37	20,88
2,6x10	129,93	43,23	64,11
2,4x10	14,98	4,98	69,09
2,2x10	58,18	19,36	88,45
2x10	22,47	7,48	95,92
1,8x10	6,21	2,07	97,99
1,4x10	5,1	1,70	99,68
< 1,4x10	0,94	0,31	100,00
<b>Celkem</b>	<b>300,58</b>	<b>100,00</b>	

### Granulometrie



PŘÍLOHA 3 FOTOGRAFIE STRUKTURY FRAKČÍ PŠENICE OZIMÉ ODRŮDA HYKING; SÍTA S KRUHOVÝM OTVOREM NAHOŘE, SÍTA S OBDÉLNÍKOVÝM OTVOREM DOLE

<p>Materiál: PŠENICE, OD HYKING Objemová hm.: [kg/m<sup>3</sup>] Dávkování: [Hz] Sklon: [°] Frekvence motorů: [Hz] Zatížení: [%] 13.8.2020 300g, 80 obr./min 205 Kcal/m</p>	<p>Frakce: &gt;D10 [mm] Množství materiálu: 0,12g [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;D9 [mm] Množství materiálu: 0,08g [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;D8 [mm] Množství materiálu: 0g [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;D7 [mm] Množství materiálu: 0,65g [%] Výpad:</p>
<p>Materiál: &gt;D5 Objemová hm.: 0,3g [kg/m<sup>3</sup>] Dávkování: [Hz] Sklon: [°] Frekvence motorů: [Hz] Zatížení: [%]</p>	<p>Frakce: &gt;D4 [mm] Množství materiálu: 43,16g [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;D3,6 [mm] Množství materiálu: 94,18g [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;D3 [mm] Množství materiálu: 133,23g [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &lt;D3 [mm] Množství materiálu: 23,09g [%] Výpad:</p>
<p>Materiál: Objemová hm.: [kg/m<sup>3</sup>] Dávkování: [Hz] Sklon: [°] Frekvence motorů: [Hz] Zatížení: [%]</p>	<p>Frakce: &gt;5,5x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;5x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;4x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;3,75x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>
<p>Materiál: &gt;3,5x10 Objemová hm.: [kg/m<sup>3</sup>] Dávkování: [Hz] Sklon: [°] Frekvence motorů: [Hz] Zatížení: [%]</p>	<p>Frakce: &gt;3,25x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;3x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;2,6x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;2,4x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>
<p>Materiál: &gt;2,2x10 Objemová hm.: [kg/m<sup>3</sup>] Dávkování: [Hz] Sklon: [°] Frekvence motorů: [Hz] Zatížení: [%]</p>	<p>Frakce: &gt;2x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;1,8x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &gt;1,4x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>	<p>Frakce: &lt;1,4x10 [mm] Množství materiálu: [%] Výpad:</p>