

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Diplomová práce

**Analýza činnosti zpracovatelské linky chmele zaměřená
na rozbor příměsí v jednotlivých částech linky**

Bc. Martin Vopat

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Vopat

Zemědělská technika

Název práce

Analýza činnosti zpracovatelské linky chmele zaměřená na rozbor příměsí v jednotlivých částech linky

Název anglicky

Analysis of the activity of the hop processing line focused on the analysis of impurities in individual parts of the line

Cíle práce

Teoretický rozbor funkce jednotlivých mechanismů zpracovatelské linky chmele. Na základě vlastních experimentů a rozboru příměsí v jednotlivých částech linky navrhnout optimalizaci regulačních parametrů pro konkrétní podmínky.

Metodika

Student provede analýzu činnosti zpracovatelské linky chmele založenou na teoretickém rozboru funkce jednotlivých mechanismů. Experimenty budou založeny na odběru odpadu v několika místech zpracovatelské linky a vyhodnocení podílu příměsí biologického a nebiologického charakteru. Student vyhodnotí původ a příčiny podílu jednotlivých složek příměsí ve chmelovém produktu.

Doporučený rozsah práce

45-50 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

chmel, zpracování chmele, příměsi, kvalitativní ukazatele chmele

Doporučené zdroje informací

JECH, Ján. *Stroje pre rastlinnú výrobu 3 : stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie*. Praha: Profi Press ve spolupráci so Slovenskou poľnohospodárskou univerzitou v Nitre, 2011. ISBN 978-80-86726-41-0.

NEUBAUER, Karel. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. Praha: SZN, 1989. ISBN 80-209-0075-6.

RYBÁČEK, Václav. *Chmelařství*. Praha: SZN, 1980.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 2. 2. 2023

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 01. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Analýza činnosti zpracovatelské linky chmele zaměřená na rozbor příměsí v jednotlivých částech linky“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 27. 3. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Adolfu Rybkovi, CSc., vedoucímu diplomové práce, za jeho odborné rady, věcné připomínky a pomoc při řešení a zpracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval vedoucímu závodu Chmelařství, družstvo Žatec panu Milanu Strnadovi za poskytnuté informace a výpomoci při experimentálních měřeních.

Analýza činnosti zpracovatelské linky chmele zaměřená na rozbor příměsí v jednotlivých částech linky

Abstrakt: Hlavním cílem diplomové práce je popsat funkce jednotlivých mechanismů zpracovatelské linky chmele a provedení rozboru příměsí v této lince. V první části je uveden stručný přehled informací o chmelu, nezbytný pro pochopení daného tématu. Dále je popsána analýza činnosti zpracovatelské linky chmele, která je založena na teoretickém rozboru funkcí jednotlivých mechanismů. Na konci této kapitoly jsou pak uvedeny možné směry dalšího vývoje a proces kontroly kvality na jednotlivých místech linky. V praktické části práce jsou prezentovány výsledky a zhodnocení experimentálních měření. Výsledky jsou uvedeny v grafech pro jednotlivé odlučovací botky a také pro příměsí celkem. Dále jsou také příměsí rozděleny v grafech na biologické a nebiologické nebo na příměsí, které je nutné odstranit a které byly zbytečně odstraněny. Tato měření byla provedena na základě rozboru příměsí v jednotlivých částech linky. V práci jsou také popsány jednotlivé příměsí, u kterých je uvedeno, jakým způsobem se do chmelu dostávají a jak by se tomuto mohlo předejít. V samotném závěru jsou uvedeny možné chyby měření a celkové vyhodnocení.

Klíčová slova: chmel, zpracování chmele, příměsí, kvalitativní ukazatele chmele

Analysis of the activity of the hop processing line focused on the analysis of impurities in individual parts of the line

Abstract: The main aim of the thesis is to describe the functions of the individual mechanisms of the hop processing line and to carry out the analysis of impurities in this line. In the first part, a brief overview of information about hops is given, necessary for understanding the topic. Then the analysis of the operation of the hop processing line is described, based on a theoretical analysis of the functions of the individual mechanisms. At the end of this chapter, possible directions for further development and the process of quality control at individual points on the line are presented. In the practical part of the thesis the results and evaluation of experimental measurements are presented. The results are presented in graphs for the individual separation bots and also for the impurities in total. Furthermore, the impurities are also divided in the graphs into biological and non-biological or impurities that need to be removed and those that have been unnecessarily removed. These measurements were made on the basis of the analysis of the impurities in the different parts of the line. The individual impurities are also described in the paper, indicating how they enter the hops and how this could be prevented. In the very end, possible measurement errors and an overall evaluation are presented.

Keywords: hops, hop processing, admixtures, quality indicators of hops

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod..... | 1 |
| 2 Historie a popis chmele..... | 2 |
| 2.1 Historie pěstování chmele v Čechách | 2 |
| 2.2 Biologická charakteristika chmele | 2 |
| 2.3 Chemické složení chmelových hlávek | 3 |
| 3 Sklizeň a zpracování chmele | 5 |
| 3.1 Sklizeň chmele | 5 |
| 3.2 První etapa zpracování chmele..... | 5 |
| 3.3 Druhá etapa zpracování chmele | 7 |
| 3.3.1 Granule typ 90 | 7 |
| 3.3.2 Granule typ 45 | 8 |
| 4 Strojní zpracovatelská linka chmele | 9 |
| 4.1 Magnetická separace | 11 |
| 4.2 Cyklon | 11 |
| 4.3 Sušení chmele..... | 13 |
| 4.3.1 Proces sušení..... | 13 |
| 4.3.2 Faktory ovlivňující sušení chmele | 13 |
| 4.3.3 Komorová sušárna | 14 |
| 4.4 Kladívkový mlýn..... | 15 |
| 4.5 Rotační síta..... | 16 |
| 4.6 Vibrační síta | 16 |
| 4.7 Granulátor | 17 |
| 4.8 Chladič | 18 |
| 4.9 Balení | 19 |
| 4.9.1 Kvalita obalových materiálů a plynů | 20 |
| 4.10 Skladování..... | 20 |
| 4.11 Kontrola kvality | 21 |
| 4.12 Směry dalšího vývoje ve zpracovatelské lince..... | 23 |
| 5 Cíl práce a metodika | 24 |
| 5.1 Cíl práce | 24 |
| 5.2 Metodika | 24 |
| 6 Praktická část práce..... | 26 |
| 6.1 Naměřené hodnoty | 26 |
| 6.2 Magnet..... | 27 |
| 6.3 Odlučovací botky | 28 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6.3.1 | Odlučovací botka za násypem | 29 |
| 6.3.2 | Odlučovací botka za homogenizátorem..... | 32 |
| 6.3.3 | Odlučovací botka za sušárnou | 33 |
| 6.4 | Příměsi celkem | 34 |
| 6.4.1 | Biologické a nebiologické příměsi | 35 |
| 6.4.2 | Rozdělení příměsí | 36 |
| 6.5 | Druhy příměsí..... | 37 |
| 6.5.1 | Chmelové hlávky | 37 |
| 6.5.2 | Réva, řapíky, vřetýnka a pecičky | 38 |
| 6.5.3 | Lupulin..... | 39 |
| 6.5.4 | Hroudy a kameny | 40 |
| 6.5.5 | Kovové příměsí | 41 |
| 6.5.6 | Ostatní nebiologické a biologické příměsí..... | 42 |
| 6.6 | Chyby měření | 44 |
| 7 | Výsledky a diskuse | 45 |
| 8 | Závěr..... | 46 |
| 9 | Seznam použitých zdrojů | 48 |
| 10 | Seznam obrázků, tabulek a grafů | 50 |

1 Úvod

V současné době je chmel dodáván odběratelům převážně ve formě chmelových granulí. Tyto granule se vyrábí v centrální zpracovatelské lince chmele, která zpracovává dovezený chmel od pěstitelů. Při zpracování dochází zejména k sušení, mletí a granulování chmelových hlávek. Linka zajišťuje nejen zpracování chmele, ale separuje i příměsi, které se do chmelu při jeho sklizni a předchozím zpracování dostaly. Zabezpečení čistoty a kvality chmelových granulí je totiž klíčovým faktorem pro úspěšný proces výroby a zajištění vysokého standardu. Proto jednou z výzev, kterým čelíme, je separace a zabránění vniknutí příměsí biologického i nebiologického charakteru do chmelových granulí. Tato problematika má významné dopady na celý výrobní proces i na konečný produkt. Při neustále rostoucích standardech kvality a bezpečnosti potravin je nezbytné věnovat zvýšenou pozornost opatřením, která minimalizují toto riziko kontaminace chmelu.

V první části diplomové práce je uveden stručný přehled informací o chmelu nutný pro pochopení daného tématu. V samotné části je poté popsána analýza činnosti zpracovatelské linky chmele založena na teoretickém rozboru funkcí jednotlivých mechanismů. V práci jsou poté uvedeny výsledky a zhodnocení experimentálních měření. Tato měření byla prováděna na základě rozboru příměsí odpadu v jednotlivých částech linky. Je popsáno, jakým způsobem se jednotlivé příměsi dostávají do procesu a co je způsobuje. Toto uvědomění je klíčovým faktorem pro navrhování opatření k minimalizaci výskytu a jejich vlivu na kvalitu výsledného produktu. V samotném závěru je uvedeno celkové vyhodnocení.

2 Historie a popis chmele

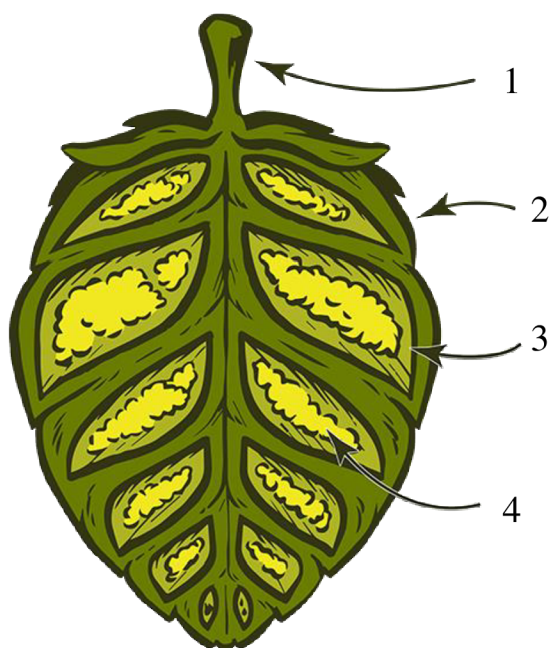
2.1 Historie pěstování chmele v Čechách

Chmel (*Humulus lupulus*) je zahrnut mezi kulturní rostliny s historií sahající hluboko do minulosti. První dochované záznamy o kultivaci chmele na území dnešního Česka pocházejí z roku 859. Významným propagátorem pěstování chmele na českém území byl Císař Karel IV., který podporoval jeho rozšíření. Nicméně během třicetileté války došlo k značné devastaci chmelnic, a obnoveny byly až v 18. století [1]. Nyní se v České republice, která patří mezi největší producenty chmele na světě, pěstuje chmel na ploše pod 5 000 hektarů. Průměrná produkce u nás dosahuje kolem 6 000 tun ročně [2]. Pěstování u nás probíhá ve třech oblastech, a to v oblasti Žatecké, Úštěcké a Tršické. Chmelu totiž vyhovují především teplejší oblasti do 700 m n. m. [1].

Chmelové hlávky se využívají v mnoha odvětvích, včetně výroby piva, farmacie, kosmetiky a potravinářství. Důvodem je obsah chmelového polyfenolu, který vytvářejí lupulinové žlázy rostliny. Jeho sklizeň probíhá v měsíci srpnu a září, kdy má rostlina tohoto polyfenolu nejvíce [3].

2.2 Biologická charakteristika chmele

Chmel otáčivý (*Humulus lupulus*) je dvouděložná dvoudomá vytrvalá bylina z řádu kopřivokvětých, čeledi konopovitých. Jako trvalá bylina vydrží na jednom místě 20 – 25 let. Kořenová soustava chmele může sahat až do hloubky 6 metrů, zatímco nadzemní část dosahuje obvykle výšky 7 metrů, někdy dokonce až 10 metrů. Čtyřhranný pravotočivý stonek, je drsný a porostlý háčkovitými chlupy, které mu napomáhají v jeho popínání. Listy chmele v dolní části lodyhy dosahují šířky až kolem 20 cm, zatímco v horní části jen 6 – 10 cm. Na vrcholech lodyhy vyrůstá květenství chmele (hlávka nebo lata). Samičí květenství – hlávka (viz obr. 1) je tvořena vřetýnkem s článkovitou zalomenou stavbou ukončena stopkou (1), spojující hlávku s plodonosnou větévkou. Skládá se z 8 až 16 článků přitom z každého článku vyrůstají 2 listeny krycí (3) a 4 listeny pravé (2), za nimiž se nachází 1 semeník, žlázy s lupulinem (4) jsou pak na všech částech hlávky. Plodem, je vejcovitá zploštělá nažka, která u kulturních forem chmele není zcela vyvinutá nebo úplně chybí [1].



Obr. 1 - Hlávka chmele v řezu

Dostupné z: <https://connect.lallemandbrewing.com/en/canada/aromazyme/>

1 – stopka s vřetýnkem, 2 – listeny krycí, 3 – listeny pravé, 4 – žlázky s lupulinem

2.3 Chemické složení chmelových hlávek

Chmelové hlávky jsou bohaté na různé látky, z nichž některé jsou klíčové pro charakteristické vlastnosti chmele. Jedná se o směsi látek, které jsou velmi těžko rozpustné a liší se v závislosti na odrůdě daného chmele.

Pryskyřice

Z pivovarského hlediska patří mezi hlavní látky především chmelové pryskyřice, zejména díky zdroji hořkosti. Tyto pryskyřice lze rozdělit na měkké a tvrdé, přičemž měkké pryskyřice jsou z pivovarského hlediska nejcennější. Mezi měkké pryskyřice patří alfa – hořké kyseliny (humulony). Ty jsou skupinou organických sloučenin, které mají největší význam za hořkou chuť. Mají také antimikrobiální vlastnosti, které napomáhají konzervaci [4].

Kvalitu chmele z hlediska obsahu alfa – hořkých kyselin ovlivňuje nejen poloha a lokalita chmelnice, ale také výrazná výšková poloha hlávky na chmelové rostlině. Všechny etapy zpracování a manipulace s hlávkovým chmelem, počínaje sklizní, zpracování a konče výrobou chmelových extraktů nebo granulí, směřují k postupné homogenizaci této primární suroviny. Na druhé straně, dochází při manipulaci a zpracování k uvolňování lupulinových zrn. Toto uvolňování je způsobeno otřesy nebo vibracemi a ztrátou tak cenných látek. Kvůli této nehomogenitě, která se projevuje nejen při skladování chmelu v hranolech je nutné na ni brát ohled u již odebraných vzorků pro stanovení chemické analýzy obsahu alfa – hořkých kyselin tak, abychom předešli hrubým chybám [5].

Tříslovina

Je směsí látek polyfenolového typu. Tyto látky při výrobě piva přispívají k jeho čerění, podporují varný proces, zajišťují stabilitu hořkosti a přidávají charakteristickou chuť. Dávají pivu mírně natrpklou chuť, a to v závislosti na obsahu, který se pohybuje mezi 2 až 6 % hmotnosti hlávky v závislosti na odrůdě [6].

Silice

Jsou to látky těkavé povahy a prakticky nerozpustné ve vodě. Chmelu dodávají jeho typickou vůni. Jejich obsah činí od 0,4 do 2,0 % přičemž nejnižší hodnoty se nachází u jemných chmelů [6].

Voda

Jedná se o látku s největším zastoupením, protože čerstvá hlávka obsahuje 78 – 82 % vody [6].

Doprovodné látky

Kromě výše zmíněných látek obsahují chmelové hlávky také cukry, dusíkaté látky, vosky, lipidy, oxid siřičitý atd. [4].

3 Sklizeň a zpracování chmele

3.1 Sklizeň chmele

Sklizeň chmele probíhá ve třetí dekádě měsíce srpna a začátku září. V těchto měsících mají totiž lupulinové žlázy nejvíc cenného obsahu chmelového polyfenolu. Sklizeň začíná po dosažení tzv. technické zralosti, kdy jsou chmelové hlávky dokonale uzavřené, lesklé se žlutozelenou barvou, pružné a s pravou jemnou chmelovou vůní. Sklizeň probíhá z vysokých (7 m) nebo nízkých (3 m) konstrukcí. Vysoké konstrukce jsou v současnosti nejčastěji používané, nízké konstrukce jsou zastoupeny jen minimálně [7].

V naprosté většině se při sklizni chmelové révy odváží na stacionární pracoviště, kde probíhá zpracování chmele, které zahrnuje čištění, sušení a zpracování produktu. Sklizeň se proto dělí na dvě fáze. Při samotné sklizni jsou nejprve chmelové révy mechanicky odstříhávány 100 – 130 cm nad zemí, strhávány z vrchu chmelnice strhávačem umístěným na traktoru a nakládány na speciální chmelové návěsy. Po naplnění návěsu jsou révy ihned dopravovány k česací lince. Aby nedocházelo k zavadnutí hlávek, musí být interval od odstříhnutí po česání co nejkratší. Proto je nezbytné, aby výkonnost česacích linek a dopravy byla organizačně sladěna, nelze tak rostliny dopravovat do zásoby. Révy po dovezení musí být čerstvé s vlhkostí 72 – 82 %. Tato vlhkost je totiž ideální pro sklizeň [7].

3.2 První etapa zpracování chmele

Při první etapě zpracování chmele, kdy jsou révy dopraveny k česacím strojům probíhá dokončování sklizňového procesu, který zahrnuje česání a čištění chmelových hlávek. Od konečného produktu (hlávek) jsou odděleny ostatních částí rostliny (listy a réva), které se odvázejí ke kompostování. Samotné hlávky jsou následně podrobeny sušení, klimatizaci a balení pro transport do centrální zpracovatelské linky. Začátek sušení musí nastat bezprostředně po opuštění česací linky, aby se zabránilo znehodnocení hlávek. Ty mají totiž stále vlhkost 72 – 82 % a mohlo by dojít k jejich zapaření a znehodnocení. Interval mezi očesáním hlávek a začátkem sušení by tak neměl přesáhnout dvě hodiny. Proto je nezbytné, aby výkonnost česacích linek a sušáren byla organizačně sladěna. Sušení probíhá v komorových nebo pásových sušárnách. V komorových sušárnách se hlávky sesypávají pomocí sesypných žaluzií, zatímco v pásových je chmel po celou dobu sušícího procesu

v pohybu na pásech. V průběhu sušení je zajištěna dokonalá cirkulace sušícího vzduchu a odvod uvolněné vlhkosti. Sušení probíhá za teploty 55 – 60 °C po dobu 6 – 9 hodin, než je docíleno 5 – 7% vlhkosti hlávek a jsou vysušena i větýnka. Při této vlhkosti jsou ale hlávky náchylné k rozpadu díky jejich křehkosti a lámavosti. Mohlo by docházet k odpadu lupulinových žlázek nebo odrolu listenů od větýnka, a proto je nutné odstranit tyto nevýhody v uklidňovacích komorách nebo klimatizaci chmele. Tím se vyrovná vlhkost hlávek a zvýší se na 10 – 12 % tak, aby se minimalizovalo znehodnocení při následné manipulaci, lisování a skladování. Vlhkost hlávek je možno upravit dvěma způsoby. Prvním je přímo v sušárně, kde se hlávky nechávají určitý čas ustálit, aby samovolně přijímaly vlhkost okolního prostředí. Tento způsob se používá u komorových žaluziových a vsázkových sušáren. Druhým způsobem zvýšení vlhkosti je klimatizační komora, navazující na pásovou sušárnu. Pro klimatizaci je použit vzduch o relativní vlhkosti 70 – 75 %. Hlávky se v komoře pohybují po síťových dopravnících 70 – 90 minut, než je docílena požadovaná vlhkost [7].

Po klimatizaci dochází bezprostředně k lisování do transportních žoků nebo hranolů (viz obr. 2). Každý obal je samostatně zvážen, zaplombován a opatřen štítkem s potřebnými informacemi. Díky tomu je zajištěna pravost původu vypěstovaného chmele a deklarovaná kvalita. Takto zabalené hlávky se odváží do skladu a dále pak na další zpracování. Hlavním cílem operací na stacionárním pracovišti je dosáhnout vysoké kvality nepoškozených hlávek s minimálními ztrátami a příměsmi v konečném produktu [7].



Obr. 2 - Hranoly chmele

dostupné z: <https://soller-gmbh.de/cz/chmelova-technika/hopfensaecke>

3.3 Druhá etapa zpracování chmele

Vývoj, jak se chmel při druhé etapě zpracovával a v jaké formě se prodával koncovým zákazníkům, prošel celou řadou změn. Od prodeje baleného chmele v pěstitelských žocích, se začalo počátkem sedmdesátých let výrazně ustupovat. Hlávky se třídily podle požadavků zákazníka, byly konzervovány sírou a slisovány. Při skladování však docházelo k oxidaci a znehodnocování chmele. Ve prospěch kvality chmelových výrobků a pro potřebu snazšího a méně náročného skladování suchých chmelových hlávek došlo ke změně zpracování. Nejprve se přešlo na výrobu mletého chmele, která byla, ale následně plně nahrazena výrobou chmelových granulí. Také zpracování chmele do granulí prošlo vývojem. Na počátku se jednalo o granule, které byly baleny vakuovým způsobem. Tento způsob se ale neosvědčil, a tak se od roku 1985 po celém světě granule balí za využití inertního prostředí. Jako inertní plyny jsou používány oxid uhličitý nebo dusík. Takto zabalené granule lze uchovávat delší dobu, jejich menší objem má výhodu při dopravě i skladování a mají větší využitelnost hořkých látek [8].

3.3.1 Granule typ 90

Název typu granulí je odvozen od výtěžnosti, kdy ze 100 kg chmelových hlávek je vyrobeno právě 90 kg chmelových granulí [9]. Jedná se o nejjednodušší granulovaný chmelový produkt, protože se chmel jen zbaví cizích příměsí, dosuší se na 8,5 – 9 % vlhkosti, rozemele na prášek a následně slisuje do formy granulí o průměru 6 mm (viz obr. 3) [10].



Obr. 3 - Chmelové granule

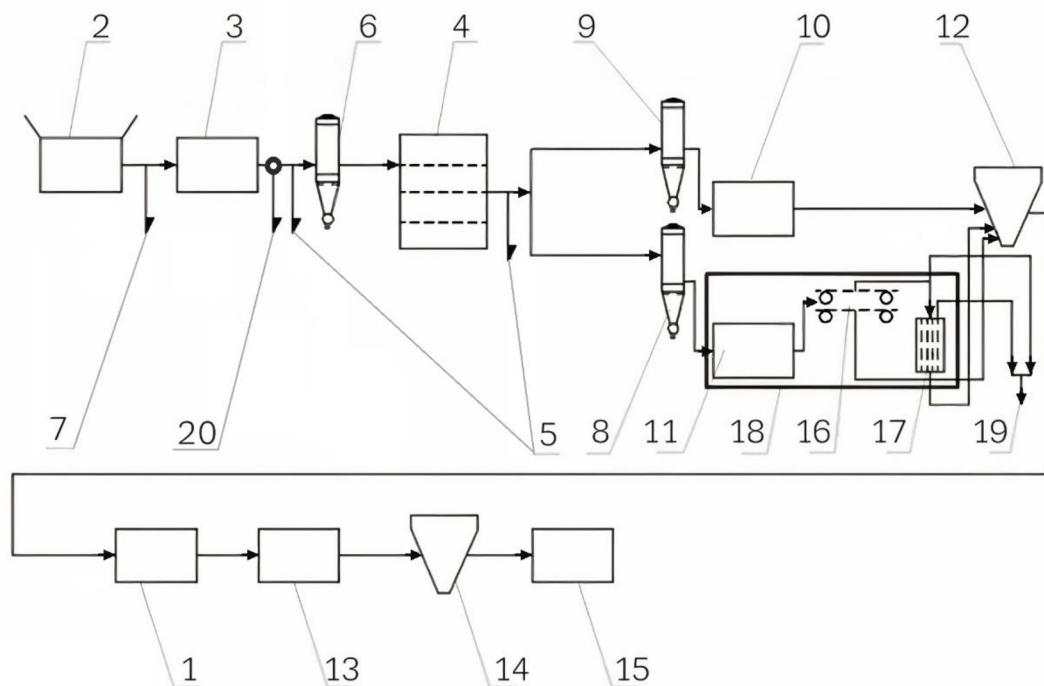
dostupné z: <https://hopfenveredlung.de/produkte/>

3.3.2 Granule typ 45

Název typu granulí je odvozen od výtěžnosti, kdy ze 100 kg chmelových hlávek je vyrobeno právě 45 kg chmelových granulí [9]. Při výrobě granulí typu 45 se chmel také zbaví cizích příměsí, dosuší se na 8,5 – 9 % vlhkosti, ale následné mletí na prášek probíhá v mrazicí komoře při teplotě -30 °C. Při této teplotě jsou totiž lupulinové žlásky tvrdé, přechází v krystalickou formu a lze je mechanicky zpracovat. Lupulinové žlásky (lupulin, jemná frakce) se totiž dále musí separovat od rostlinné části (celulóza, hrubá frakce). Pro správnou separaci je nutno také zvolit správnou mlecí techniku kladívkového mlýnu. Na rotačních a vibračních sítích o velikosti otvorů 0,15 – 0,5 mm dojde k oddělení lupulinové části od rostlinné. Jemná frakce představuje zhruba polovinu hmotnosti hlávek přicházejících do mrazicí komory. Tato frakce, která obsahuje téměř všechny lupulinové žlásky dosahuje zhruba 95 % alfa – hořkých kyselin. Po provedení analýzy lupulinové frakce lze smícháním určitého množství rostlinné frakce získat požadovaný produkt s přesným obsahem alfa –hořkých kyselin. Konečné granule jsou tak obohaceny o lupulin, a proto mají vyšší koncentraci chmelových pryskyřic, dlouhodobější trvanlivost a téměř dvojnásobný obsah alfa – hořkých kyselin oproti granulím typu 90. Výhodou je také to, že dochází k výraznému snížení objemu materiálu při manipulaci, dopravě a skladování. Zbylá rostlinná frakce, která není využita je granulována a využívána například jako krmivo pro zvířata [10].

4 Strojní zpracovatelská linka chmele

V centrální zpracovatelské lince dochází ke druhé etapě zpracování chmele. Úkolem zpracovatelské linky je vyčistit chmel od posledních zbytků příměsí, vysušit na požadovanou vlhkost, rozemlít chmel na prášek, který se slisuje do granulí a zabalit v ochranné atmosféře [9]. Linka dokáže zpracovat 1 500 kg hlávkového chmele za hodinu [11]. Chmel je v žocích nebo hranolech o obvyklé hmotnosti 50 kg svážen do zpracovatelské linky od jednotlivých pěstitelů. Chmel se ukládá do klasických nebo klimatizovaných skladů. Dovezený chmel se na počátku smíchá tak, aby byl docílen požadovaný původ chmele a jeho kvalita. Dále dochází k odebrání vzorků z vybraných obalů kvůli stanovení kvality chmele zejména obsahu alfa – hořkých kyselin [9].



Obr. 4 - Technologické schéma zpracovatelské linky chmele

Dostupné z: <https://www.agrojournal.cz/clanky/vyrobní-technologie-a-mechanizace-pri-pestovani-a-sklizni-chmele-212>

1 – granulátor, 2 – vysypávací zařízení, 3 – homogenizátor, 4 – komorová sesypná sušárna, 5, 7 – odlučovací botka, 6, 8, 9 – cyklon, 10, 11 – kladívkový mlýn, 12 – silo, 13 – chladič, 14 – zásobník granulí, 15 – balicí linka, 16 – rotační síta, 17 – vibrační síta, 18 – mrazicí komora, 19 – odpad, 20 – magnet

Popis strojů a zařízení pro zpracování chmele na granule

Na začátek linky (viz obr. 4) jsou soustředěny žoky nebo hranoly s chmelem určeným ke zpracování. Ty se obsluhou přemísťují do vysypávacího zařízení (2), kde jsou odstraněny všechny obaly, provázky, štítky a všechny nečistoty tak, aby se nedostaly do procesu zpracovatelské linky. Chmelová hmota se otočením vysypávacího zařízení a za pomoci vibračního zařízení pneumaticky dopraví dále do zpracovatelské linky. Následují rotační bubny, které mají tvarové nástroje a homogenizátor (3), v němž dochází k rozrušení a promíchání chmelové hmoty [9]. Dále je hmota opět pneumaticky dopravena do komorové sesypané sušárny (4). Zde je dosušena z 10 % vlhkosti na 8 – 9,5 % vlhkosti. Sušení probíhá na 5 lískách pomocí vzduchu o teplotě do 55 °C. Sušení na jedné lísce probíhá zhruba 10 minut v závislosti na vstupní vlhkosti [11]. Od násypu po dosušení prochází chmel celkem třemi odlučovacími botkami (5, 7) a cyklony (6, 8, 9), ty mají za úkol pneumaticky odstranit všechny lehké i těžší příměsi tak, aby k dalšímu zpracování pokračoval jen čistý chmel [9]. V lince se také nachází celkem pět magnetů (20), které odstraňují kovové příměsi [11]. Dále se linka rozděluje na dvě větve, a to pro výrobu granulí typu 45 a 90. Linka je technicky řešena tak, že může v jeden čas vyrábět pouze jeden typ granulí. Nelze produkovat oba typy současně [9].

Pro granule typu 90 následně dochází k jemnému rozemletí chmele, který je již zbaven nečistot a příměsí na kladívkovém mlýnu (10) a chmelový prášek putuje do sila s míchacím zařízením (12). Při výrobě granulí typu 45 vstupuje chmelová hmota do mrazicí komory, ve které je teplota -30 °C. V této komoře probíhá mletí v kladívkovém mlýnu (10), separace na rotačních sítích (16) a vibračních sítích (17). Jemný propad z rotačních sítí je odveden z mrazicí komory do sila s míchacím zařízením (12). Ostatní hmota, co nepropadla na rotačních sítích, je odvedena do odpadu (19). Nebo je možné pomocí seřizovací klapky směřovat hmotu na vibrační síta. Zde dochází ke konečné separaci, odkud jemná frakce putuje do homogenizátoru a hrubá frakce do odpadu. Pomocí této metody lze částečně ovlivňovat procentické zastoupení alfa – hořkých kyselin ve finálním produktu. V silu s míchacím zařízením se obě větve linky spojují a dochází k homogenizaci. Chmelový prášek pokračuje do granulátoru (1), kde se nachází horizontální, popřípadě prstencová matrice s otvory o průměru 6 mm [9]. Zde dochází k lisování do válcových granulí, při které dochází ke krátkodobému zahřátí chmele do 55 °C. Granule putují do chladiče (13), kde se během 5 minut sníží jejich teplota na 22 až 24 °C [11]. Ochlazené granule se ukládají

do zásobníku granulí (14), odkud putují do balicí linky (15), kde se granule zabalí do foliových sáčků různých velikostí za přítomnosti inertních plynů (CO₂, N₂). Foliové sáčky jsou následně vkládány do kartonů a na palety. Zabalené palety jsou uloženy do skladu, odkud jsou následně připraveny na export [9].

4.1 Magnetická separace

Ve zpracovatelské lince se nachází celkem pět elektromagnetů, které jsou umístěny za homogenizátorem a zajišťují magnetickou separaci [11]. Magnety mají za úkol odstranit kovové příměsi, které se do chmelu dostaly při sklizni nebo při první etapě zpracování. Odstranění příměsí je důležité proto, aby se zajistila kvalita a bezpečnost výsledného produktu. Kovový odpad se do chmelu může dostat při sklizni z chmelnicové konstrukce ve formě drátků nebo háčků, na kterých jsou chmelové révy zavěšeny. Další příměsi kovů vstupují do chmele v průběhu první etapy zpracování vlivem opotřebení strojových částí a uvolnění kovových součástí.

Elektromagnet funguje na principu elektromagnetické indukce. Když elektrický proud prochází vinutím cívky, elektrony v cívce se pohybují. Tímto pohybem se vytváří magnetické pole kolem cívky. Toto pole magnetizuje jádro z magneticky měkké oceli uvnitř cívky. Magnetizované jádro poté vytváří ještě silnější magnetické pole. Síla tohoto magnetického pole závisí na počtu závitů cívky a velikosti proudu. Směr magnetického pole je dán směrem proudu, který jím protéká, a řídí se pravidlem pravé ruky. Když dojde k zastavení proudění proudu, magnetické pole zmizí a jádro ztrácí svou magnetickou sílu [12].

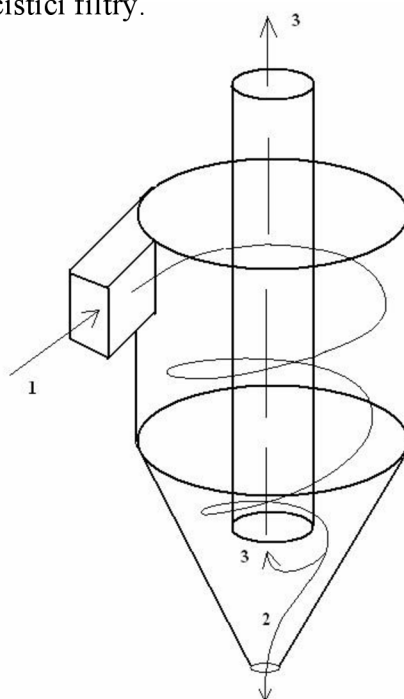
4.2 Cyklon

Využívá princip separace, která odstraňuje částice a hrubý prach z plynu nebo proudu vzduchu. Tento způsob nevyužívá filtrů, je relativně levný a jednoduchý, a proto je používán již mnoho desetiletí. Při tomto způsobu odsávací systém neztrácí tolik sací výkon jako u klasického filtru. Cyklon (viz obr. 5), který je nepohyblivý, má tvar válce nebo konické nádoby, do které je vzduch s nečistotami shora tangenciálně přiváděn sacím otvorem (1). Vzduch uvnitř proudí po trajektorii spirály. Větší i menší částice postupně ztrácejí

v rotujícím proudu energii, setrvačností a nárazem na stěnu cyklonu dochází k separaci většiny částic, které padají díky gravitaci na dno cyklonu a odchází výstupem nečistot (2). Vzduch zbavený většiny nečistot vystupuje odtahovým potrubím (3) ven z cyklonu [13].

Použití cyklonu je nejenom ve chmelařství, ale všude tam, kde je potřeba odloučení většího množství nečistot, jako je například v truhlárnách, tryskacích kabinách nebo ve strojírenském průmyslu. Použití ale není vhodné tam, kde je potřeba oddělit lepidlo (vlhký) prach. Ten by se totiž lepil na boky cyklonu a zanášel by ho. Cyklóny jsou rovněž velmi používány jako odlučovače před filtračním zařízením. Díky nim dochází ke snížení zátěže filtrační jednotky a ke stabilnějšímu provozu. Regulace cyklonu je možno provádět pomocí škrticí klapky v odtahovém potrubí. Nastavení je prováděno na základě velikosti a hmotnosti odsávaných částic tak, aby byla zachována účinnost separace. Při nedostatečném výkonu mohou být cyklonové odlučovače řazeny paralelně do sestavy [14].

Ve zpracovatelské lince funguje cyklon hlavně pro zpomalení a zastavení toku materiálu před jednotlivými technologiemi pro přerušování vzduchového potrubí. Veškerý materiál tak proudí výstupem nečistot (2) a vzduch spolu s jemným prachem vystupuje odtahovým potrubím (3) dále na samočisticí filtry.



Obr. 5 - Schéma cyklonu

Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-530-7/pdf/111.pdf

1 – sací otvor, 2 – výstup nečistot, 3 – odtahové potrubí

4.3 Sušení chmele

Úkolem sušárny je dosušit dodané chmelové hlávky z 10 % na 8 – 9,5 %. Dosušení probíhá v komorové sesypné sušárně na 5 lískách. Sušícím médiem je vzduch o teplotě do 55 °C. Sušení na jedné lísce probíhá zhruba 10 minut v závislosti na vstupní vlhkosti [11].

4.3.1 Proces sušení

Sušení chmele je tepelný proces, při němž dochází k odpařování kapalné fáze z chmelových hlávek do proudu sušícího média. Toto medium bývá zpravidla horký vzduch nenasycený vlhkostí. Tento proces je nejnákladnější způsob odstranění kapalné fáze z tuhých látek, při němž je velká spotřeba tepelné energie a s ní spojené vysoké náklady.

Uvnitř hlávek probíhá přenos energie kondukcí, zatímco na povrch hlávek teplým vzduchem konvencí. Rychlost sušení chmele je určena dvěma faktory: rychlostí difuze kapalné vody k povrchu hlávek a rychlostí desorpce vody z povrchu hlávek. Rychlost difuze je závislá na teplotě a vlhkosti hlávek, zatímco rychlost desorpce je závislá na teplotě, vlhkosti a koncentraci vody na povrchu hlávek. V případě, kdy rychlost vypařování vody z povrchu nedosáhne úrovně rychlosti, kterou se kapalná voda dokáže difundovat k povrchu hlávky, dochází ke konstantní rychlosti sušení. Jakmile se rychlost difuze sníží pod úroveň rychlosti desorpce, dojde k postupnému poklesu rychlosti sušení [15].

4.3.2 Faktory ovlivňující sušení chmele

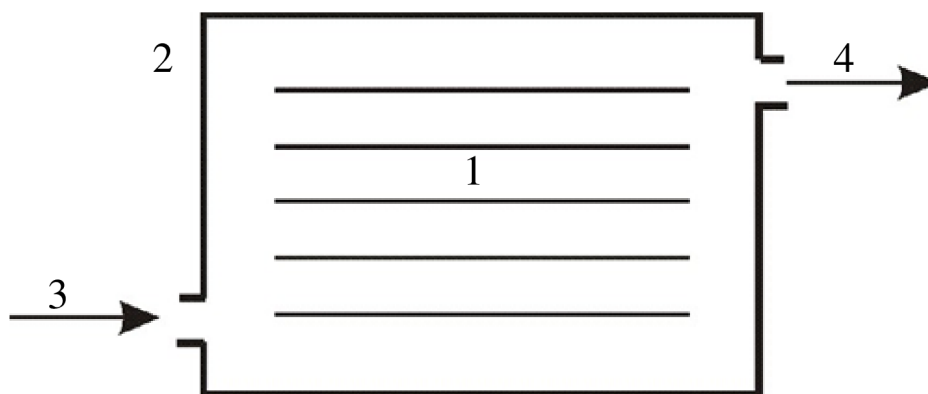
Průběh sušení chmelových hlávek ovlivňují především tyto faktory:

- Počáteční vlhkost chmelových hlávek
- Teplota a relativní vlhkost vzduchu okolního prostředí
- Teplota sušícího vzduchu – lze regulovat sušení nastavením teploty sušícího vzduchu, nebo u sušáren vybavených ventilátorem nastavením množství a rychlosti vzduchu [15]

4.3.3 Komorová sušárna

Komorová sesypná sušárna chmele (viz obr. 6) je vybavena 5 sklopnými žaluziemi (1) neboli lískami uložených v rámu (2). Označení lísky získaly díky tomu, protože dříve byly používány proutky lísky, jako síto pro sušení. Sklopné žaluzie jsou umístěny nad sebou, přičemž pod spodní žaluzií se nachází dopravník, který dosušený chmel postupně odvádí ze sušárny. Chmel je ukládán v rovnoměrné vrstvě na horní žaluzii, která je v rovinné poloze. Žaluzie má v sobě otvory, které slouží k průchodu sušícího vzduchu s co nejmenším odporem, ale zároveň musí žaluzie zamezovat propadu chmele. Chmel se vždy po určitém stupni dosušení postupně přesune otevřením žaluzií na další žaluzii a nový chmel je doplněn na první. Chmel se postupně na žaluziích suší z 10 % vlhkosti na horní žaluzii až na vlhkost 8 – 9,5 % na žaluzii poslední. Poté, co se dostane na poslední žaluzii a je dosušen na požadovanou vlhkost, je pomocí dopravníku dopraven ven ze sušárny. Jako zdroj tepla se nyní používá topeniště na lehký topný olej. Od výměníků tepla je následně pomocí nucené cirkulace dodáván ohřátý vzduch do sušárny (3). Sušící vzduch nakonec opouští sušárnu výstupním otvorem (4) [4].

Tento typ sušárny lze zařadit do kategorie sušáren bez pohybu materiálu, protože s chmelem je pohybováno při sušení jen při přesunu na další žaluzii [16].

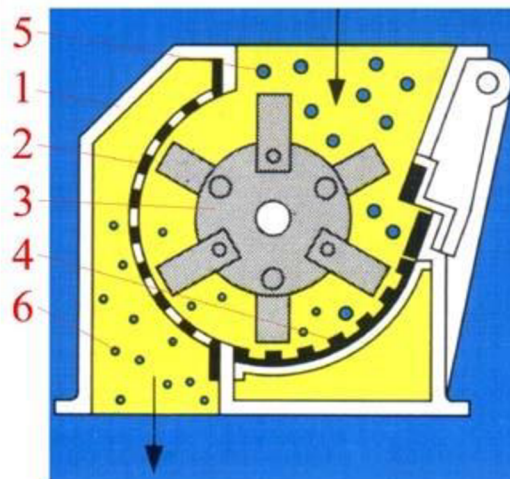


Obr. 6 - Komorová sesypná sušárna

1 – sklopné žaluzie, 2 – rám sušárny, 3 – vstup sušícího vzduchu, 4 – výstup sušícího vzduchu

4.4 Kladívkový mlýn

Slouží k jemnému rozemletí chmele. Materiál do mlýnu (viz obr. 7) přichází shora vstupním otvorem (5) díky pneumatickému potrubí. Základ mlýnu tvoří rám (1), jehož přední část je možno otevřít. Mlecí kladiva, které se nachází na rotoru (3) jsou zavěšena volně na čepech nebo na pevno s rotorem. Volně zavěšená mlecí kladiva se dají po opotřebení vyměnit. Díky vysoké frekvenci otáčení rotoru, který je poháněn elektromotorem jsou kladiva odstředivou silou oddalována směrem od středu rotoru. Stator tvoří mlecí stěna (4), která je tvořena vyměnitelnými deskami z legované oceli a síto (2) pro propad namletého materiálu. K mletí materiálu dochází především díky rázovému namáhání, díky nárazům rychle rotujících kladiv do částic chmele, nárazy částic do mlecí stěny a mezi částicemi chmele navzájem. Nejúčinnější jsou nárazy úderových kladiv do částic chmele. Základní význam pro funkci mlýnu má velikost obvodové rychlosti a pevnostní charakteristika chmele. Namleté částice chmele, které jsou menší, jak otvory v sítu odchází ven z kladívkového mlýnu výstupním otvorem (6). Větší částice zůstávají v mlýnu do té doby, než se díky úderům mlecích kladiv jejich velikost nezmenší tak, aby propadly sítem. Velikost namletého chmele lze do určité míry regulovat velikostí otvoru síta nebo frekvencí otáčení rotoru. Proces mletí chmele pro granule typu 90 probíhá na kladívkovém mlýnu za teplot okolního prostředí. Zatímco mletí pro granule typu 45 je prováděno na kladívkovém mlýnu, který se nachází v mrazicí komoře, ve které je - 30 °C [17].



Obr. 7 - Kladívkový mlýn

Dostupné z: https://kchsz.sjf.stuba.sk/download/Procesne_strojnictvo/Kapitoly/PS1_02_Partikularne%20latky_operacie.pdf

1 – rám mlýnu, 2 – síto, 3 – rotor, 4 – mlecí stěna, 5 – vstupní otvor, 6 – výstupní otvor

4.5 Rotační síta

Rotační síta jako celek se nachází v mrazicí komoře, ve které je - 30 °C a slouží pro výrobu granulí typu 45. Jedná se o třídíče, které rozdělují částice podle jejich velikostí. Jejich úkolem je tak oddělit jemnou frakci (lupulinové žlásky) od ostatní rostlinné frakce (listů a hlávek). Namletý materiál vstupuje do otáčejícího se síťového válce, který je uchycen v rámu. Materiál se díky silám vznikajícím v rotující hmotě a vlivem sklonu válce posouvá směrem dopředu. Díky relativnímu pohybu částic vůči sítům se jemná frakce vlivem tíhové síly přesévá přes otvory a pokračuje do sila. Ostatní rostlinná frakce pokračuje k výstupnímu konci válce, odkud putuje do odpadu vně mrazicí komory, nebo díky seřizovací klapce na další separaci na vibrační síta. Velikost otvorů sít je 0,15 – 0,5 mm. Díky změně frekvence otáčení motoru lze regulovat rychlost a kvalitu přesévání [16].

4.6 Vibrační síta

Jedná se také o třídíč nacházející se v mrazicí komoře, který slouží k separaci částic podle jejich velikostí. Třídíč (viz obr. 8) je tvořen rámem stroje, který je uložen na čtyřech měkkých ocelových vinutých pružinách tak, aby bylo zamezeno přechodu dynamických sil do okolního prostředí. Rám stroje drží třístupňová vibrační síta, která jsou tvořena třemi sítí nad sebou. Pro generování vibrací se na stroji nachází dva elektrické vibrátory. Tvar kmitu připomíná různě tvarované a orientované elipsy. Materiál přichází na první síto, kde se za pomoci vibrací a sklonu síta pohybuje směrem dopředu. První polovina sít má především dopravní schopnost díky orientaci kmitů, zatímco v druhé polovině se síťová plocha pohybuje proti pohybu materiálu, a tak dochází k ostrému dotřídění. Díky relativnímu pohybu částic vůči sítům dochází k přesívání a jemná frakce propadáva na další síto. Zbylá rostlinná frakce pokračuje do odpadu. Po průchodu hmoty všemi třemi sítí je jemná frakce pneumaticky dopravena do sila [18].



Obr. 8 - Vibrační síta

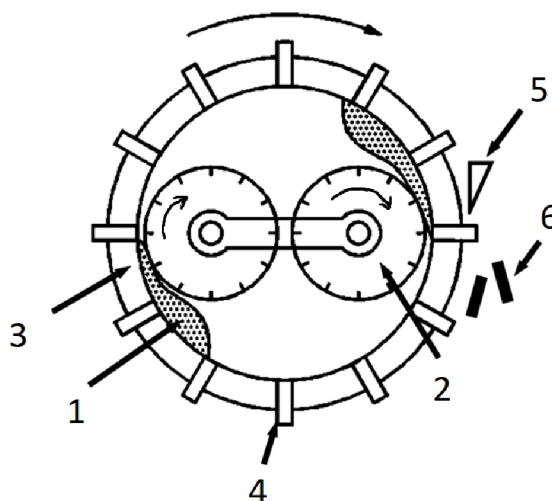
[9]

4.7 Granulátor

V granulátoru (viz obr. 9) dochází ke granulaci chmelového prášku. Přivedený materiál (1) je protlačován díky otáčejícím se rolnám (2) skrz prstencovou matici (3) ze speciálního materiálu. V ní se nachází průtlačné kanálky (4) o průměru 6 mm. Tvar kanálků je vždy upraven tak, aby optimálně odpovídal právě zpracovanému druhu granulí a odrůdě. Při granulaci rozdílných druhů granulí a jiné české nebo zahraniční odrůdě je tedy nutno vyměnit matici tak, aby měla vhodné průtlačné kanálky. Při protlačování dochází ke krátkodobému zahřátí chmele na teplotu až 55 °C. Po protlačení materiálu kanálky jsou hotové výlisky chmelových granulí odřezány nožem (5). Granule (6) dále odcházejí do chladiče po vibračním žlabu, kde je z nich oddělen odrol. Odrol je vrácen zpět a znovu granulován. Díky granulaci dojde k výraznému zmenšení sypné hmotnosti z 0,04 kg.l⁻¹ u hlávkového chmele na 0,5 až 0,6 kg.l⁻¹ u granulí [11].

Aby byla dosažena deklarovaná kvalita granulí, nesmí jejich měrná hmotnost překročit 550 kg.m⁻¹ a teplota při lisování by měla dosahovat maximálně 55 °C. U chmele s vyšším obsahem alfa – hořkých kyselin (2 – 17 %) se musí úměrně snižovat lisovací teplota a zvyšovat délka lisovacích kanálků (20 – 50 mm), aby nedošlo ke ztrátám cenných látek.

Proto, se při výrobě granulí 45 používají matrice s větší délkou lisovacích kanálek než u granulí 90 právě díky vyššímu obsahu alfa – hořkých kyselin [9].



Obr. 9 - Granulátor

Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Mechanical-schematic-diagram-of-a-rotary-ring-die-granulator_fig1_339729281

1 – Materiál, 2 – otáčející se rolny, 3 – prstencová matrice, 4 – průtlačné kanálky, 5 – nůž,
6 – granule

4.8 Chladič

Navazuje na granulátor tak, aby se vyrobené granule mohly ihned ochlazovat. Granule je třeba zchladit, protože zahřáté granule jsou lepkavé a po zabalení by se mohly lepit na sebe nebo oxidovat, čímž by docházelo k jejich degradaci. Během 5 minut proto dojde v chladiči ke snížení teploty granulí na 22 až 24 °C tak, aby se zabránilo oxidaci [11]. Granule jsou v chladiči uloženy na roštu. Studený venkovní vzduch je nasáván spodem skříně chladiče a proudí skrz rošt s vrstvou granulí do horní části chladiče, kde díky ventilátoru opouští skříně chladiče [19]. Tímto způsobem se granule ochlazují. Jejich teplota při výstupu z chladiče je průběžně kontrolována a zapisována tak, aby byla zabezpečena kvalita. Z chladiče odchází granule do zásobníku [11].

4.9 Balení

Ochlazené granule se ze zásobníku pomocí vibračního síta dostávají na automatickou kalibrovanou dávkovací váhu. Ta má za úkol navážit požadované množství do kompozitních sáčků. Granule jsou baleny do sáčků ze speciální čtyř nebo pětivrstvé hliníkové folie tak, aby ochránily zpracovaný produkt [11]. Velikost sáčku lze individuálně měnit dle požadavků zákazníka od 300 g do 20 kg [20].

Aby nedocházelo ke ztrátě kvality uvnitř sáčku, je vzduch nahrazen inertním plynem. Jako inertní plyn se používá směs CO₂ a N₂. Sáčky jsou po naplnění svařeny, označeny a vkládány obsluhou do papírových kartonových krabic. Při balení dochází namátkou ke kontrole těsnosti svarů ve vodní lázni a kontrole obsahu zbytkového kyslíku na analyzátoru kyslíku. Na každé plné krabici je uveden název produktu, identifikační kód dodavatele, jméno výrobního závodu, rok sklizně, typ granulí, číslo balicího příkazu, název odrůdy a oblast, množství alfa – hořkých kyselin, netto hmotnost sáčku, počet sáčků v kartonu, datum výroby, datum spotřeby a název dodavatele. Takto označená krabice je přelepena samolepicí páskou, přepásána fixační páskou a díky válečkovému dopravníku se dostává na konec linky.



Obr. 10 - Automatický balicí robot

[11]

Zde automatický více – kloubový robot stohuje krabic na palety. Po naplnění celé palety dojde k jejímu přepásání fixační páskou a obalení průtažnou folií automatickým balicím robotem (viz obr. 10). Tyto palety jsou následně uskladněny ve skladu [11].

V zahraničí se alternativně plní granule do velkých krabic o hmotnosti 90 až 140 kg. Tyto krabice jsou vyloženy kompozitním hliníkovým vakem, do kterého se kromě granulí přidává také inertní plyn. Vaky jsou stejně jako menší sáčky v krabici svařeny a dokonale utěsněny. Krabice se poté zalepí a stohují se na palety [20].

4.9.1 Kvalita obalových materiálů a plynů

Při balení granulovaného chmele je nutné průběžně sledovat kvalitu používaných materiálů a plynů. Proto je kladen důraz již na správný výběr obalového materiálu tak, aby vyhovoval všem parametrům.

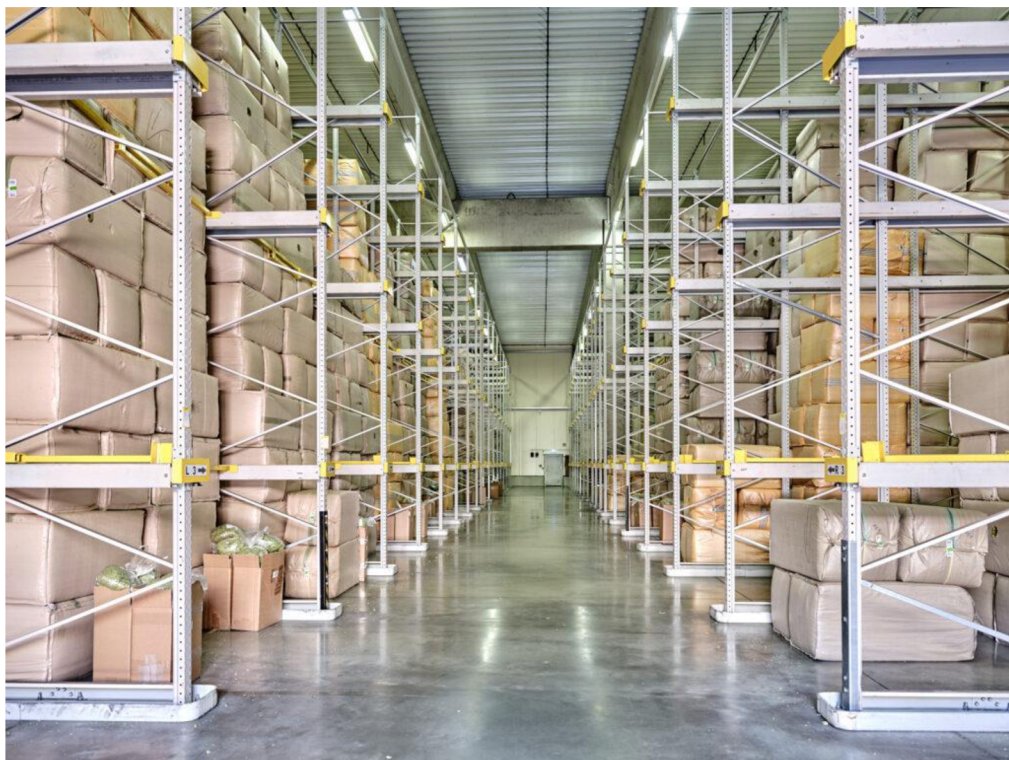
- Kvalita folie je testována specialisty výrobních firem přímo na balicím zařízení i nezávislou firmou tak, aby splňovala všechny pevnostní a hygienické požadavky.
- Pro výběr správných kartonových krabic je potřeba brát v úvahu jejich pevnost v závislosti na hmotnosti balení, způsobu skladování, druhu přepravy a typu vyprazdňování u spotřebitele.
- Je nutné sledovat požadovanou čistotu inertních plynů (CO₂ a N₂).

Tímto dochází k minimalizaci možného mechanického poškození nebo znehodnocení [11].

4.10 Skladování

V posledních desetiletích se pozornost odborníků přesouvá stále více k objektivně hodnoceným znakům kvality chmele, především obsahu hořkých látek. To má za následek, že se nejen zpracovaný chmel, ale i nezpracovaný chmel ukládá do klimatizovaných skladů

(viz obr. 11), ve kterých je teplota od 2 do 4 °C. Důvodem, je to, že skladování chmele v klimatizovaných prostorách pomáhá zachovat jeho kvalitu a cenné látky. V současné době se tak upouští od skladování nezpracovaného chmele ve klasických skladech a začíná se hojně používat skladů klimatizovaných [8].



Obr. 11 - Klimatizovaný sklad

Dostupné z: <https://hopfenveredlung.de/prozess/>

4.11 Kontrola kvality

Kvalita se kontroluje v procesu granulace na několika místech tak, aby nedošlo ke znehodnocení chmele a byla dodržena požadovaná jakost.

Při dodání chmele do skladu se kontroluje jeho hmotnost a zjišťuje vlhkost. Hodnota vlhkosti je důležitá z důvodu prevence samovznícení. Když zjištěná vlhkost přesáhne 12 % je poté kontrolován každý obal z podezřelé dodávky. Z každé dodávky je odebírán směsný vzorek o hmotnosti 200 g pomocí zařízení pro odběr vzorků chmele z hranolů (viz obr. 12). Tento

vzorek se poté rozdělí na tři díly. První z nich je určen do laboratoře, kde jsou provedeny chemické a mechanické zkoušky, při kterých je také určen počet příměsí a konduktometrická hodnota chmele (KH), která udává obsah alfa – hořkých kyselin. Druhý vzorek je určen pro stanovení bonity chmele a jeho nákupní ceny. Třetí vzorek obdrží obchodní firma [21].

U násypu státní kontrolor z Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) dbá na správnost násypu a ověřuje původ chmele při vstupu do zpracování. Následuje kontrola homogenizovaného chmele po průchodu homogenizátorem, u kterého se kontroluje vlhkost a hodnota KH. V komorové sušárně dochází kontinuálně k měření teploty chmele. Dále u granulí typu 45 dochází k analýze lupulinové i rostlinné frakce, při které se zjišťuje vlhkost a hodnota KH. U granulí typu 45 se také kontroluje koncentrace obou frakcí v homogenizované fázi. Při granulaci i po ochlazení granulí je měřena jejich teplota. Následně při balení granulí do foliových sáčků se odebírá reprezentativní vzorek ke zjištění konečných hodnot vlhkosti a hodnoty KH. U uzavřených sáčků se kontroluje zbytkový kyslík v sáčku a správnost sváru sáčku ve vodní lázni. Finální kontrolu zajišťuje státní kontrolor (ÚKZÚZ), který zkontroluje hmotnost balení a ověří originalitu původu chmele. Ujistí se, zda byly splněny všechny základní kvalitativní hodnoty chmele dané ČSN a vystaví vážicí listinu [11].



Obr. 12 - Zařízení pro odběr vzorků chmele z hranolů

Dostupné z: https://invenio.nusl.cz/record/170477/files/nusl-170477_1.pdf

4.12 Směry dalšího vývoje ve zpracovatelské lince

V budoucím vývoji zpracovatelské linky je klíčové zaměřit se na další optimalizaci procesů s cílem dosáhnout co nejlepší kvality finálního produktu. Rostoucí konkurenční prostředí na globální úrovni ovlivňuje české pěstitele, kteří jsou nuceni reagovat na narůstající požadavky trhu. Trendem je stále větší důraz nejen ze strany českých, ale i zahraničních odběratelů na kvalitu a dokonalou čistotu konečného produktu. Proto je nezbytné přijmout opatření, která povedou k absolutní eliminaci nečistot v technologickém procesu. Jedním z aktuálních trendů je také postupná náhrada lidské práce automatizovanými roboty, kteří přebírají funkce a úkoly dříve vykonávané lidskou obsluhou. Příkladem může být zpracovatelská linka v Žatci, kde probíhá balení krabic právě plně automaticky.

Možným trendem ve vývoji může také být výroba chmelových extraktů. Tyto extrakty jsou homogenní, viskózní přírodní produkty bez přídavných látek. V závislosti na odrůdě chmele mají extrakty (viz obr. 13) žlutou až tmavě zelenou barvu. Jejich textura je medově pryskyřičná různé konzistence. Při extrakci se jako výchozí produkt používají chmelové granule. Výsledný extrakt má ještě více koncentrované cenné látky, než chmelové granule a také je stabilnější a lépe skladovatelný díky svému objemu [20]. V České republice ani na Slovensku se chmelový extrakt nevyrábí z důvodu nepěstování vhodné odrůdy chmele a chybějícím extrahárnám, kde by bylo možno chmelový extrakt vyrábět [9].



Obr. 13 - Chmelový extrakt

Dostupné z: <https://hopfenveredlung.de/produkte/>

5 Cíl práce a metodika

5.1 Cíl práce

Cílem práce je provést rozbor funkce jednotlivých mechanismů zpracovatelské linky chmele. Následně na základě vlastních experimentů a rozboru příměsí v jednotlivých částech linky navrhnout optimalizaci regulačních parametrů pro konkrétní podmínky.

5.2 Metodika

V práci je provedena analýza činnosti zpracovatelské linky chmele založená na rozboru funkce jednotlivých mechanismů. Experimenty jsou založeny na odběru odpadu v několika místech zpracovatelské linky a vyhodnocení podílu příměsí biologického a nebiologického charakteru. Následně jsou vyhodnoceny původy a příčiny podílu jednotlivých složek příměsí ve chmelovém produktu.

Bylo rozhodnuto o provedení dvou měření ze dvou sezón. První měření pro chmel sklizený v roce 2022 a druhé měření pro sklizeň 2023. Tímto krokem dojde ke zpřesnění výsledků a zohlední se případné sezonní výkyvy v obsahu příměsí. Měření tak umožní nejen eliminovat zkreslení dat, ale i porovnat výsledky mezi oběma sezónami. Při prvním měření byl prováděn rozbor odpadu pro výrobu chmelových granulí typ 90 a při druhém pro typ 45. Pro měření byly vybrány výrobní cykly tzv. balící příkazy menších hmotností proto, aby následná separace příměsí netrvala příliš dlouze. Při prvním měření byl prováděn odchyt odpadu na třech předem vytipovaných místech. Konkrétně z odlučovacích botek za násypem, za homogenizátorem a za sušárnou. Zvážena byla také hmotnost násypu. Při druhém měření byl odebírán odpad navíc z magnetu.

Při samotném měření byly před spuštěním celé linky umístěny pod odlučovací botky prázdné krabice. Tyto krabice byly označeny tak, aby nemohlo dojít k jejich pozdější záměně. Při zpracování balícího příkazu byly krabice průběžně kontrolovány, aby nedošlo k úniku odpadu mimo ně, případně k jejich naplnění a nutné výměně. Po dokončení chodu linky byly krabice s odpadem přemístěny do společného prostoru, kde probíhal jejich rozbor.

Byly stanoveny frakce, na které se zachycený odpad bude separovat. Konkrétně na chmelové hlávky, révu + řapíky + vřetýnka + pecičky, lupulin, hroudy a kameny, kovové příměsi a ostatní příměsi. Ruční rozbor probíhal odděleně pro každou krabici zvlášť. Odpad z krabice byl rozdělen do připravených měřících nádob o známé hmotnosti a poté zvážen. Nakonec byl obsah měřících nádob sloučen a stanovena tak hmotnost odpadu z jedné botky. Všechny hodnoty hmotností byly zapsány do tabulky. Takto byla postupně prováděna měření všech krabic se zachyceným odpadem.

Výsledky pak byly převedeny do tabulek a grafů. Byly vytvořeny grafy výsledků pro jednotlivé odlučovací botky a také pro příměsi celkem. Dále byly také příměsi rozděleny v grafech na biologické a nebiologické nebo na příměsi, které je nutné odstranit a které byly zbytečně odstraněny.

6 Praktická část práce

6.1 Naměřené hodnoty

| 1. měření | | 1. botka | | 2. botka | | 3. botka | | Celkem | |
|----------------------|----------------------------------|--------------|---------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | za násypem | | za homogénizátorem | | za sušárnou | | | |
| Typ příměsi | Druh frakce | [g] | [%] | [g] | [%] | [g] | [%] | [g] | [%] |
| Biologické příměsi | Chmelové hlávky | 254 | 5,45 | 1 944 | 81,27 | 891 | 36,68 | 3 089 | 32,57 |
| | Réva, řapíky, vřetýnka a pecičky | 157 | 3,37 | 147 | 6,15 | 493 | 20,30 | 797 | 8,40 |
| | Lupulin | 0 | 0,00 | 245 | 10,24 | 963 | 39,65 | 1 208 | 12,74 |
| Nebiologické příměsi | Hroudy a kameny | 4 205 | 90,18 | 35 | 1,46 | 0 | 0,00 | 4 240 | 44,71 |
| | Kovové příměsi | 26 | 0,56 | 12 | 0,50 | 78 | 3,21 | 116 | 1,22 |
| | Ostatní příměsi | 21 | 0,45 | 9 | 0,38 | 4 | 0,16 | 34 | 0,36 |
| Celkem | | 4 663 | 100,00 | 2 392 | 100,00 | 2 429 | 100,00 | 9 484 | 100,00 |

Tab. 1 - Naměřené hodnoty - 1. měření

| 2. měření | | 1. botka | | 2. botka | | 3. botka | | Celkem | |
|----------------------|----------------------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | za násypem | | za homogénizátorem | | za sušárnou | | | |
| Typ příměsi | Druh frakce | [g] | [%] | [g] | [%] | [g] | [%] | [g] | [%] |
| Biologické příměsi | Chmelové hlávky | 1 805 | 8,65 | 6 288 | 43,82 | 1 784 | 4,65 | 9 877 | 13,42 |
| | Réva, řapíky, vřetýnka a pecičky | 1 227 | 5,88 | 2 589 | 18,04 | 26 602 | 69,30 | 30 418 | 41,32 |
| | Lupulin | 1 450 | 6,95 | 4 344 | 30,28 | 9 777 | 25,47 | 15 571 | 21,15 |
| Nebiologické příměsi | Hroudy a kameny | 14 498 | 69,45 | 862 | 6,01 | 0 | 0,00 | 15 360 | 20,87 |
| | Kovové příměsi | 155 | 0,74 | 33 | 0,23 | 66 | 0,17 | 254 | 0,35 |
| | Ostatní příměsi | 1 739 | 8,33 | 232 | 1,62 | 159 | 0,41 | 2 130 | 2,89 |
| Celkem | | 20 874 | 100,00 | 14 348 | 100,00 | 38 388 | 100,00 | 73 610 | 100,00 |

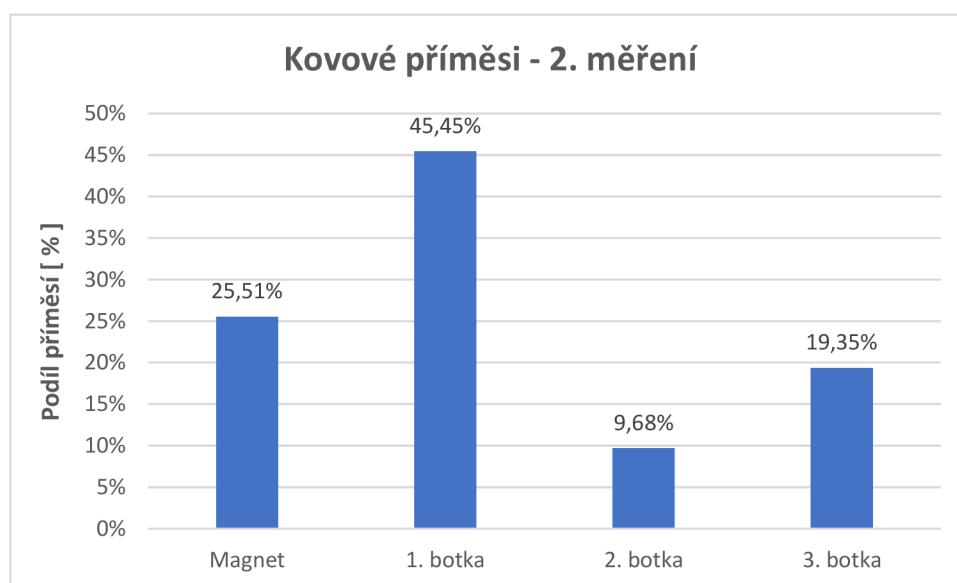
Tab. 2 - Naměřené hodnoty - 2. měření

První měření (viz tab. 1) bylo prováděno pro chmel sklizený v roce 2022. Byl zachycen odpad o celkové hmotnosti 9 484 kg z balícího příkazu číslo 9/07/0046 pro výrobu granulí 90. Samotný rozbor byl uskutečněn dne 17. 2. 2023.

Druhé měření (viz tab. 2) bylo prováděno pro chmel sklizený v roce 2023. Byl zachycen odpad o celkové hmotnosti 73 610 kg z balícího příkazu číslo 9/07/3046 pro výrobu granulí 45. Samotný rozbor byl uskutečněn dne 23. 2. 2024.

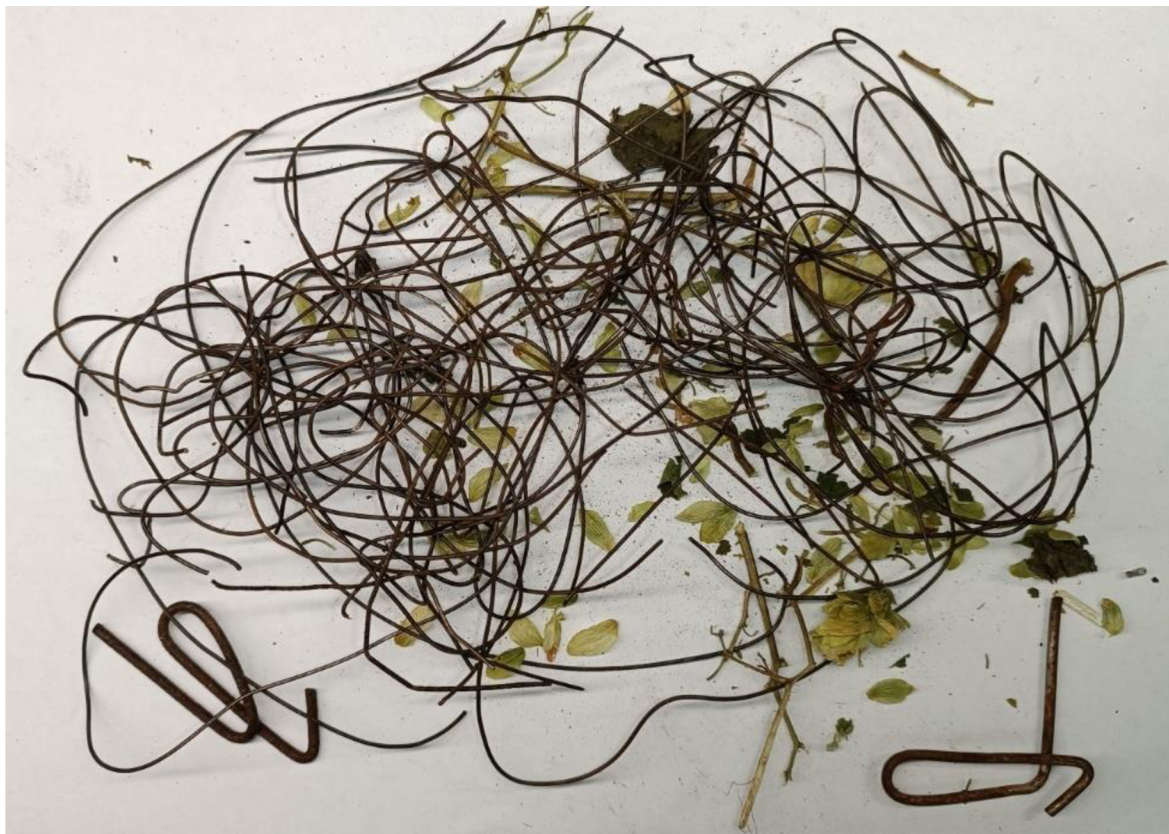
6.2 Magnet

Měření hmotnosti zachyceného odpadu na elektromagnetech bylo prováděno pouze u 2. měření. Proto nejsou hmotnosti kovových příměsí z magnetu dále porovnávány s prvním měřením a ani nejsou započítány do celkové hmotnosti. Jak je vidět z grafu 1 elektromagnety zdaleka nezachytí veškeré kovové příměsí. Většinu těchto příměsí tak musí dále zachytit odlučovací botky umístěné v lince. Při měření magnety zachytily dokonce pouze jednu čtvrtinu veškerých kovových příměsí. Nicméně je i přesto důležité jejich umístění na začátku procesu zpracování, protože alespoň částečně zamezí vniku kovu do zpracovatelské linky a předejdou tak možným způsobeným škodám. Pokud bychom chtěli dosáhnout dokonalého odstranění kovového odpadu nebo by odpad nadměrně opotřeboval zpracovatelskou linku, bylo by vhodné přidat na začátek linky elektromagnety, které by zamezily vniku kovu dále do zpracování.



Graf 1 - Kovové příměsí - 2. měření

Magnety zachytávají příměsi kovového charakteru (viz obr. 14), jako jsou chmelovodiče, háčky a různé kovové předměty, které se do chmele dostaly. Kromě kovu jsou zachyceny i nepatrné části chmele, které jsou ale ke svému výskytu nepodstatné.



Obr. 14 - Příměsi zachycené na magnetu

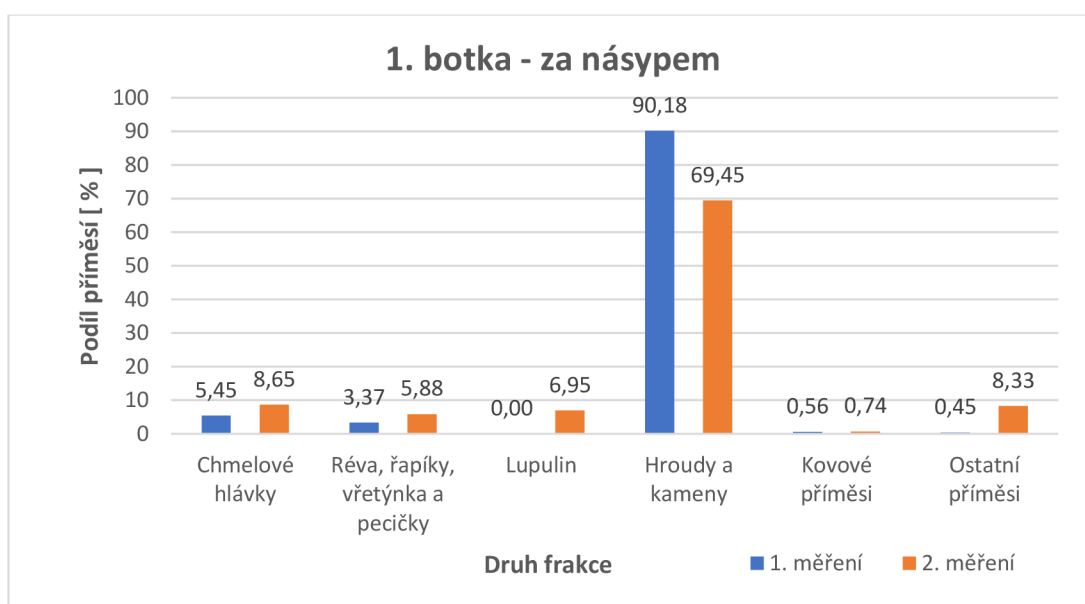
6.3 Odlučovací botky

Botky fungují na principu gravitace, kdy jsou příměsi díky své větší hmotnosti, než chmelové hlávky zachytávány na těchto botkách. Ve zpracovatelské lince se nachází celkem tři botky, a to za násypem, za homogenizátorem a za sušárnou. Spolu s příměsmi je ale zachycena také část hlávek a lupulinu, které představují pro zpracovatelskou linku ztrátu. Odpad z odlučovacích botek je zachycován do kartonových krabic (viz obr. 15) a po naplnění je odvážen na skládku.



Obr. 15 - Odlučovací botka

6.3.1 Odlučovací botka za násypem



Graf 2 - 1. botka - za násypem

Jedná se o první botku, která má z úkol zachytit příměsi. Na této botce bývají zachytávány nejtěžší příměsi, jak tomu bylo i při prvním a druhém měření (viz graf 2), kdy nepočtenější zastoupení tvořily hroudy a kameny. Rozdíly podílu chmelových hlávek, révy, řapíků, větýnek, peciček a kovových příměsí byly při prvním i druhém měření v podobném rozsahu.

Lupulin

Při prvním měření nebyl zachycen žádný lupulin, vedle toho při druhém byla zjištěná hmotnost 1 450 g. Tento lupulin však podle své barvy pochází již z první etapy zpracování. Lupulin totiž v průběhu času mění svou barvu na tmavší. Proto má tento lupulin (viz obr. 16) výrazně tmavší barvu než lupulin zachycen na dalších odlučovacích botkách. U dodavatele chmele se tak lupulin usazuje na částech zařízení a po určité době odpadá do chmele. Při prvním měření nebyl žádný lupulin na první botce zachycen nejspíš proto, že dodavatel chmele používá jiný typ sušárny nebo zpracování chmele.



Obr. 16 - Vzorek lupulinu zachycený na první botce - za násypem

Ostatní příměsi

Při prvním měření byly zachyceny ostatní příměsi jen drobného charakteru (viz obr. 17), které měly hmotnost jen 21 g, zatímco při druhém měření 1 739 g. Bylo to způsobeno velkým výskytem betonu a cihel (viz obr. 18), které způsobily velký hmotnostní rozdíl. Tyto příměsi se mohly do chmele dostat společně se zeminou nebo odpadnutím ze stěny v průběhu první etapy zpracování.



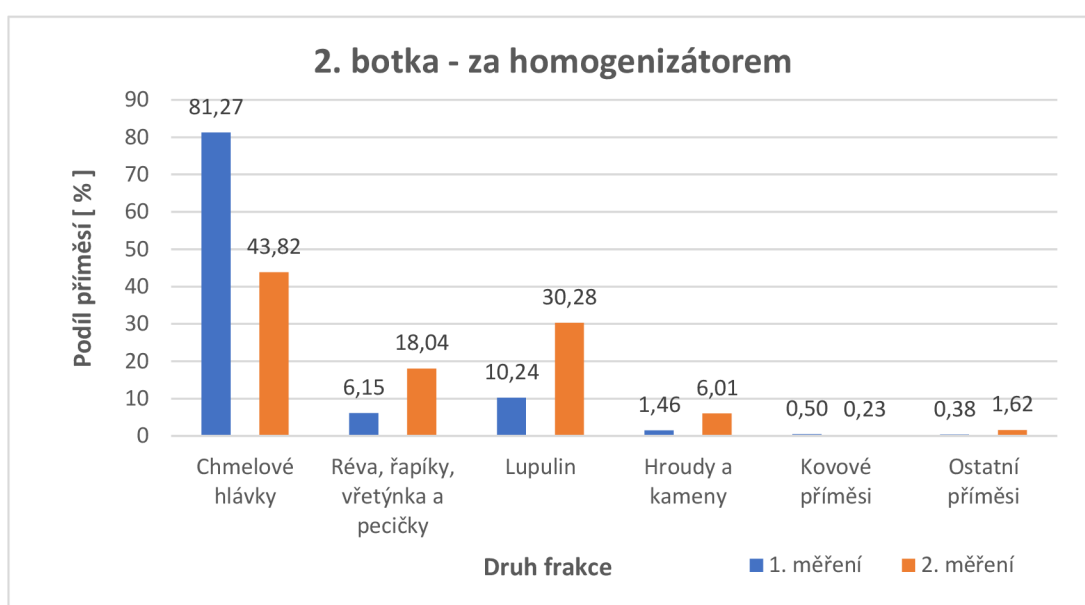
Obr. 17 - Ostatní příměsi - zachycené na první botce - za násypem - 1. měření



Obr. 18 - Ostatní příměsi - zachycené na první botce - za násypem - 2. měření

Hmotnosti hrud a kamenů jsou při druhém měření nižší než při prvním. Tato odchylka může být způsobena již výše popsaným výskytem většího množství ostatních příměsí a lupulinu ve druhém měření nebo tím, že při sklizni chmele pro první měření byly chmelnice více rozbahněné a hroudy s kameny se tak do chmele dostaly ve větším množství.

6.3.2 Odlučovací botka za homogénizátorem

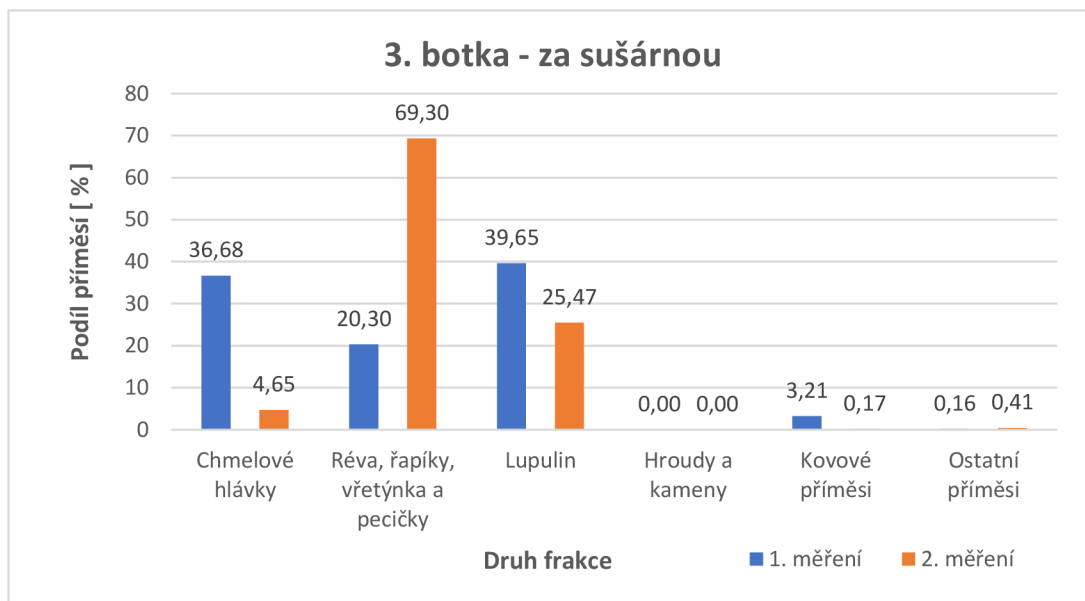


Graf 3 - 2. botka - za homogénizátorem

Jedná se o druhou botku, která navazuje na homogénizátor. Tato botka má za úkol zachytit příměsí, které byly rozduženy homogénizátorem. Hodnoty mezi prvním a druhým měřením (viz graf 3) jsou značně rozdílné. Tyto odchylky můžou být způsobeny jinou odrůdou chmele, rozdílnými podmínkami při sklizni nebo jiným nastavením a druhem česacích linek.

Botka zachytila nejvíce chmelových hlávek, které ale představují pro výrobu ztrátu. Při druhém měření byl zaznamenán podíl chmelových hlávek téměř o polovinu menší než při prvním měření. Také byl zachycen lupulin, který podle své barvy pochází již z usazení ve zpracovatelské lince.

6.3.3 Odlučovací botka za sušárnou



Graf 4 - 3. botka - za sušárnou

Tato již v pořadí třetí botka navazuje na sušárnu. Tato botka zachycuje příměsí, které již prošly sušárnou. Zachycený odpad na této botce již prošel procesem sušení, při kterém se změnila jeho vlhkost z 10 % na 8 – 9,5 %. S vlhkostí je spojena i hmotnost daných příměsí, a proto by k výsledkům měření měla být připočtena i hmotnost vody, která byla odsušena. Tím by bylo docíleno sjednocení podílu hmotnosti vody v zachyceném odpadu. Jelikož je ale rozdíl před a po sušení jen 1,5 – 2 % hmotnosti, a vlhkost příměsí může být v důsledku jejich jiné hustoty než chmelových hlávek jiná, není tato hodnota brána v potaz.

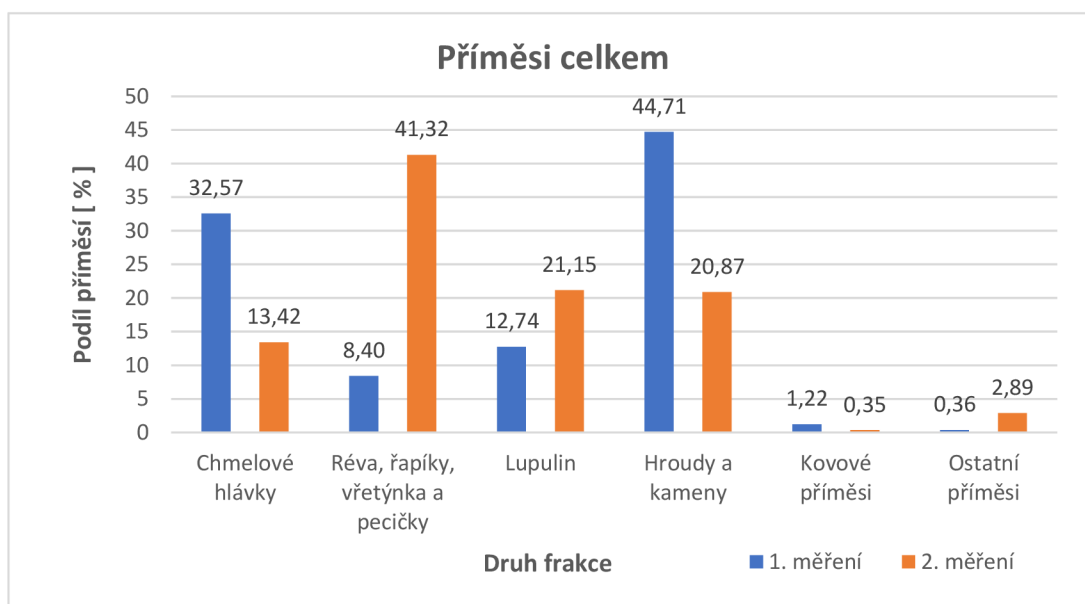
Réva, řapíky, vřetýnka a pecičky

Zvážené hmotnosti v této frakci se při prvním a druhém měření výrazně liší (viz graf 4). Je to dáno tím, že při druhém měření se v této směsi nacházelo velké množství peciček, zatímco při prvním měření skoro žádné.

Pecičky vznikají ze semeníků při nežádoucím opylení samičího květenství. Tyto pecičky jsou tvrdé a obsahují méně alfa – hořkých kyselin a aromatických látek než chmelové hlávky. Proto je nutné tyto pecičky odstranit, aby nezhoršovaly kvalitu výsledného produktu [6].

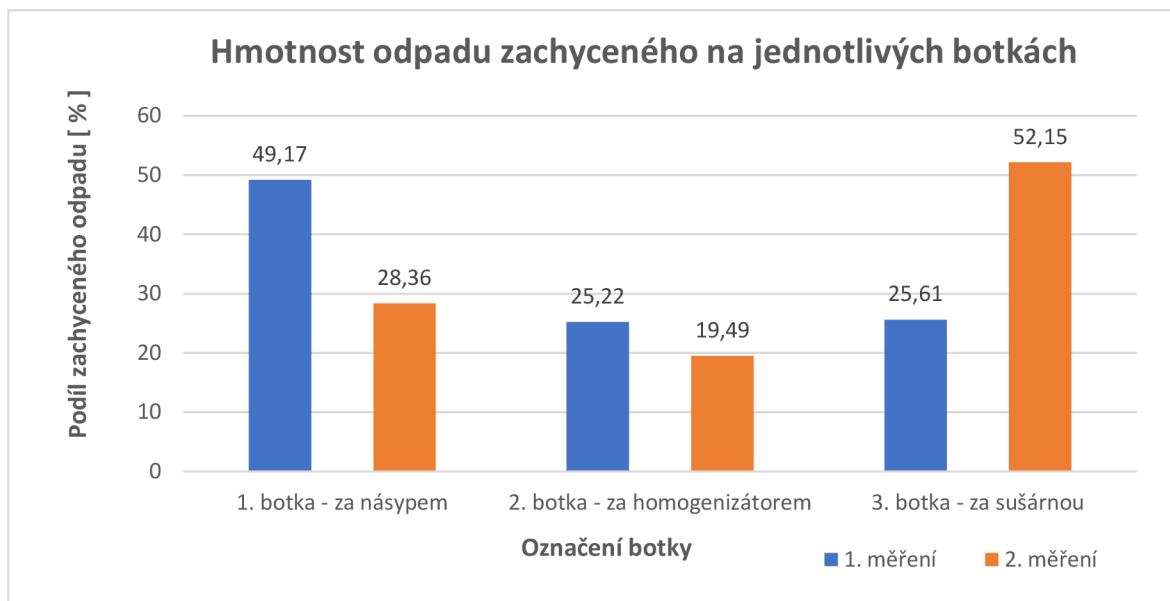
Při výrobě granulí typu 90 je tato odlučovací botka poslední, ve které může dojít k separaci odpadu. Dále by se tak ideálně již žádné příměsi vyskytovat neměly. Při výrobě granulí 45 dochází ještě k separaci uvnitř mrazicího boxu na rotačních a vibračních sítích. Kde probíhá oddělení hrubé a jemné frakce. Jelikož se ale zde nachází chmel, který byl už jemně namlet na kladívkovém mlýnu, byl by rozbor tohoto odpadu značně komplikovaný.

6.4 Příměsi celkem



Graf 5 - Příměsi celkem

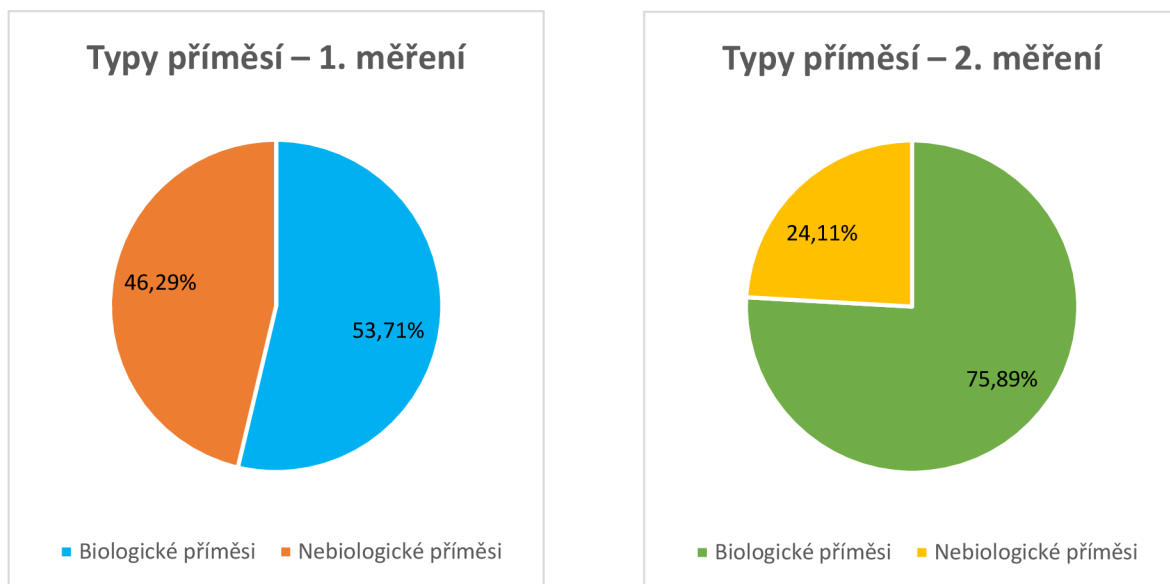
Celkově ze všech odlučovacích botek (viz graf 5) bylo při prvním měření zachyceno nejvíce hrud a kamenů. Ve druhém měření byly pak nepočtenější frakce, réva, řapíky, větýnka a pecičky. Nejmenší zastoupení pak měly kovové a ostatní příměsi, které se pohybovaly maximálně v nižších jednotkách procent.



Graf 6 - Hmotnost odpadu zachyceného na jednotlivých botkách

Jak je vidět z grafu 6 při prvním měření bylo nejvíce odpadu zachyceno na 1. botce za násypem. Bylo to způsobeno velkým množstvím kamenů a hrud. Při druhém měření bylo nejvíce odpadu zachyceno naopak na poslední botce z důvodu velkého množství peciček.

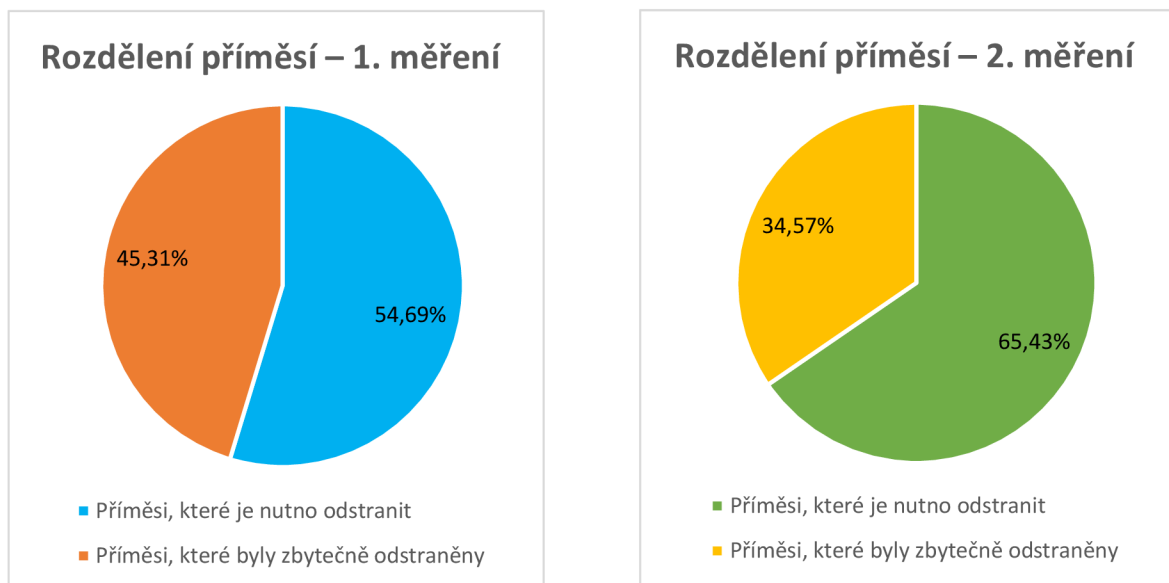
6.4.1 Biologické a nebiologické příměsi



Graf 7 - Typy příměsí - 1. a 2. měření

Do biologických příměsí (viz graf 7) řadíme chmelové hlávky, révu, řapíky, vřetýnka, pecičky a lupulin. Mezi nebiologické pak hroudy, kameny, kovové a ostatní příměsi. Lze také říct, že biologické příměsi jsou chmelového charakteru a nebiologické nejsou.

6.4.2 Rozdělení příměsí



Graf 8 - Rozdělení příměsí - 1. a 2. měření

Mezi příměsí, které je potřeba odstranit, patří réva, řapíky, větýnka, pecičky, hroudy, kameny, kovové příměsí a ostatní příměsí. Mezi příměsí, které byly zbytečně odstraněny pak chmelové hlávky a lupulin. Jejich zachycení totiž pro výrobu znamená ztrátu, neboť se již nevrací zpět do zpracování a odváží se na skládku. Jak můžeme vidět z grafu 8 bylo při prvním měření zachyceno i 45,31 % příměsí, které byly odstraněny zbytečně. Při druhém měření pak tyto příměsí tvořili 34,57 %.

Při prvním měření pro výrobu granulí 90 bylo zachyceno celkem 9 484 g odpadu ze všech odlučovacích botek. Hmotnost příměsí z tohoto odpadu, které je nutno odstranit, neboť zhoršují výslednou kvalitu byla 5 187 g. Hmotnost nasypu byla 2 594 500 g. Z chmelu bylo tak odstraněno 0,199 % příměsí.

Při druhém měření pro výrobu granulí 45 bylo zachyceno celkem 73 610 g odpadu ze všech odlučovacích botek. Hmotnost příměsí z tohoto odpadu, které je nutno odstranit, neboť zhoršují výslednou kvalitu byla 48 162 g. Hmotnost nasypu byla 12 237 500 g s vlhkostí 9,93 %. Z chmelu bylo tak odstraněno 0,394 % příměsí (pro účely porovnání s prvním měření není započítána hmotnost odpadu z magnetu a mrazicího boxu). Hmotnost finálních granulí činila 6 280 000 g s vlhkostí 8,65 %.

6.5 Druhy příměsí

6.5.1 Chmelové hlávky

Dochází k jejich zachycení na odlučovacích botkách nezáměrně spolu s příměsí. Hlávky jsou jedinou frakcí, která má zůstat nezachycena a být slisována na granule. Jsou zachyceny celé chmelové hlávky nebo již rozpadlé na jednotlivé lístky. Ty se mohou rozpadnout nebo znehodnotit nejčastěji po projití první etapy zpracování při lisování do hranolů nebo kdykoli poté i ve zpracovatelské lince. Tyto hlávky (viz obr. 19) představují pro výrobu ztrátu. Odpad z odlučovacích botek je totiž odvezen na skládku a dále se nevyužívá a neseparuje.

Bylo by možné zachycený odpad dále separovat a využít tak odseparované chmelové hlávky pro výrobu granulí nebo na jiné účely. Při zachytávání velkého množství chmelových hlávek by bylo nutno upravit parametry linky tak, aby nedocházelo k příliš velkým ztrátám.



Obr. 19 - Vzorek chmelových hlávek

6.5.2 Réva, řapíky, vřetýnka a pecičky

Jejich výskyt ve zpracovatelské lince chmele je způsoben nedokonalostí separace na stacionárních česacích a čistících strojích při první etapě zpracování chmele. Tyto stroje bývají záměrně nastaveny tak, aby mohly být více vytiženy, což má za následek vyšší obsah chmelových příměsí. Réva, která tvoří základ nadzemní části rostliny, je z těchto příměsí nejvíce objemná (viz obr. 20). Listové řapíky jsou stonky, které podírají listy chmele. Pokud by se do chmele tyto listy dostaly, dochází ve většině případů k jejich rozpadu po průchodu sušárnou. Vřetýnka s článkovitou zalomenou stavbou se nachází ve středu chmelových hlávek a vyrůstají z nich listeny. Pokud dojde k rozpadu hlávky, jsou vřetýnka zachytávána na odlučovacích botkách, jinak pokračují dále. Výskyt tvrdých peciček je dán vznikem ze semeníků při nežádoucím opylení samičího květenství. Na rozdíl od ostatních příměsí nepředstavují tyto příměsí chmelového charakteru takové riziko znehodnocení výsledného produktu, ale i přesto dochází při zanesení ke snížení kvality. Tyto příměsí totiž neobsahují tolik cenných látek jako právě chmelové hlávky, proto je nutné je odstranit.



Obr. 20 - Vzorek révy, řapíků, vřetýnek a peciček

6.5.3 Lupulin

Lupulin je zlatožlutý prášek nacházející se v chmelových hlávkách. Lupulin je nejcennější součástí chmelových hlávek [4]. Nezáměrně se uvolňuje z chmelových hlávek díky otřesům a vibracím při procházení linkou. Usazováním ulpívá na vnitřních stěnách technologií ve zpracovatelské lince. Po navrstvení, kdy se postupně zvětšuje jeho hmotnost samovolně odpadne. Takto navrstvený (viz obr. 21) se pak díky své hmotnosti dostane do odlučovací botky, kde propadne do odpadu. Nejen že tak dochází ke ztrátám cenných látek, které lupulin obsahuje, ale dochází také k zalepování linky. To může mít za následek snížení kvality výsledného produktu. Hmotnost zachyceného lupulinu se může měnit, protože každá odrůda chmele ho obsahuje jiné množství anebo usazený lupulin může odpadnout až v dalším balicím příkazu.

Kdyby byly tyto ztráty lupulinu velké, bylo by možné z odpadu jednoduše ručně odseparovat velké kusy zachyceného lupulinu od zbytku příměsí a umístit ho zpět do zpracovatelské linky, aby docházelo ke zmenšení ztrát.



Obr. 21 - Vzorek lupulinu

6.5.4 Hroudy a kameny

Vnik kamenů a hrud (viz obr. 22) do chmele může být způsoben několika faktory zejména pak odletujícími částmi půdy od kol traktorů a návěsů. Při dešti se totiž půda na cestách a ve chmelnicích rozbahní a při průjezdu traktorů se nalepí na jejich kola. Při vyšších rychlostech traktorů zejména při dopravě na stacionární linku pak dochází k odlétání půdy až do přepravovaného chmele a jeho znečištění. Je proto nutné, aby traktory i návěsy byly vybaveny blatníky a zástěrkami kol pro zabránění odletujícím částem vniknout do chmelu. Při přepravě očesaného chmele na stacionární pracoviště by bylo ideální, aby se traktory pohybovaly po zpevněných cestách, kde se nenachází rozbahněná půda kvůli dalšímu nabalování zeminy na jejich kola. Další varianta může nastat při ručním strhávání chmelových rév, při kterém stojí obsluha ve vlečce, do které může zanést půdu na svých botách a znečistit tak chmel.



Obr. 22 - Vzorek hrud a kamenů

Další možností vniku půdy do chmele nastává při vykládání návěsů u česacích linek. Vykládání probíhá v prostoru na zavěšování chmelových rév, kde se nachází betonová podlaha nebo holá půda. Tato půda může být rozbahněná a znečistit tak chmel. I když se v místě vykládky nachází betonová podlaha dochází k vykládání chmele na místo, kde stála předtím kola návěsu, která mohla být znečištěna. Půda se tak může nalepit na chmelové révy a dostat se tak do česací linky. V lince dojde při separaci k odstranění části hrud, ale i tak

některé hroudy projdou dále. Ty jsou pak spolu s chmelovými hlávkami po projití sušárnou slisovány do hranolů a odváženy k dalšímu zpracování. Z hrud se dále uvolňují při dalším zpracování prachové částice, které způsobují prašnost a opotřebovávají strojní zařízení linek. Proto je nutno zabránit vstupu hrud do procesu zpracování.

S ohledem na minimalizování zanesení zeminy do chmele by v případě deště a rozbahnění půdy bylo ideální počkat, až půda uschne a nebude tak hrozit znečištění. Toto řešení by mělo ale za následek zastavení celého procesu sklizně. Docházelo by k možnému snížení kvality chmele a bylo by značně nevhodné.

6.5.5 Kovové příměsi

Kovový odpad (viz obr. 23) se do chmelu může dostat při sklizni z chmelnicové konstrukce. Nejčastěji ve formě chmelovodiče, který je tvořen z drátku. Na tomto drátku je zavěšena celá chmelová réva a při strhávání strhávačem dojde k jeho přetržení. Drátek spolu s chmelovou révou je pak dopraven na česací linku, kde je z velké části odseparován a dále nepokračuje.

Pro zavěšení chmelovodičů se používá nejenom plastových provázků, ale také kovových háčků. Tyto háčky mohou při strhávání povolit a dostat se tak také do chmele.



Obr. 23 - Vzorek kovových příměsí

6.5.6 Ostatní nebiologické a biologické příměsi

Mezi ostatní nebiologické příměsi můžeme zařadit kov, sklo, asphalt, beton, plast atd. Do biologických dřevo, pecky, plody, hmyz, zvířata atd. Tyto příměsi (viz obr. 24) se mohou dostat do chmele společně se zeminou, která se nalepí na kola traktorů a návěsů z chmelnic, při přepravě, nebo z podlahy česací linky. Zvířata a hmyz se většinou nachází na chmelových révách, se kterými jsou odvezena na česací linky a dostanou se tak do chmele.



Obr. 24 - Vzorek ostatních nebiologických a biologických příměsí

Další možností je vliv lidského faktoru, kdy dojde nedopatřením nebo záměrně k zanesení pracovních pomůcek nebo drobných předmětů do chmele obsluhou ve chmelnicích nebo na česací lince. Proto je nutné na obsluhu dbát, aby se tyto případy nestávaly. Tyto ostatní příměsi jsou vzhledem ke svému procentuálnímu zastoupení v odpadu minimální.

Kovové ostatní příměsi

Kovové příměsi (viz obr. 25) mohou vstoupit do chmele vlivem opotřebení součástí. Při manipulaci s chmelem na traktorových návěsích nebo v průběhu česání a separace může dojít k opotřebení nebo odpadnutí různých součástí a jejich následnému uvolnění. Může se jednat o různé kusy úlomků železa, matice, šrouby, pružiny atd. U příměsí větších rozměrů dojde k separaci na česací lince, zatímco menší příměsi podobných rozměrů a vlastností, jako jsou chmelové hlávky projdou celým procesem čištění.



Obr. 25 - Vzorek ostatních kovových příměsí

Provázky

Na provázcích (viz obr. 26) jsou zavěšeny chmelovodiče, po kterých rostou révy. Při strhávání dochází ve většině případů k přetrhnutí chmelovodiče a provázek tak zůstává na stropu konstrukce. Občas dochází také ale k přetrhnutí provázku a ten tak spadne spolu s chmelovou révou do návěsu a je odvážen na česací linku. Separace těchto provázků je značně obtížná, neboť mají podobné vlastnosti jako chmelové hlávky.



Obr. 26 - Vzorek provázků

6.6 Chyby měření

Před provedením jakéhokoli experimentu je klíčové pečlivě promyslet a stanovit správnou metodu měření tak, aby byly dosaženy přesné a spolehlivé výsledky. Současně je důležité identifikovat možné chyby, ke kterým by mohlo v průběhu experimentu dojít, a přijmout opatření k jejich minimalizaci či předejití. Tímto způsobem můžeme zajistit, že výsledky experimentu budou co nejvěrohodnější a přesné.

Chyby v průběhu experimentu

K chybě by mohlo dojít při zachytávání odpadu do krabic. Krabice je vhodné označit tak, aby nedošlo k jejich záměně. Při zachytávání odpadu je třeba krabice kontrolovat, aby nedošlo k uniku odpadu mimo krabice, případně k jejich naplnění. Je rovněž vhodné poučit pracovníky zpracovatelské linky o prováděném experimentu proto, aby nemanipulovali s krabicemi během procesu měření.

Chyby v průběhu vážení

Chyby při určování hmotnosti na váze mohou vzniknout z různých důvodů, včetně nepřesné kalibrace váhy, nevhodného umístění vážených předmětů na váze, mechanického poškození váhy nebo neodečtení hmotnosti obalu, ve kterém se vážený materiál nachází. Je důležité také vybrat takovou váhu, která rozsahem odpovídá váženým předmětům. Při odečítání hodnot hmotností je nezbytné dbát na jejich správně zapisování a označení. Tyto chyby mohou vést k nepřesným výsledkům měření a ovlivnit spolehlivost a přesnost vážení. Aby se minimalizovaly chyby měření, je důležité pravidelně provádět kalibraci váhy, udržovat váhu v dobrém stavu a dodržovat správné postupy vážení.

Chyby při vyhodnocování

Mohou být způsobeny různými faktory, ať už špatným výběrem metody vyhodnocení, nevhodným použitím grafů, či nepřesným přepsáním hodnot. Nefunkční metody vedou k nesprávným interpretacím výsledků a zkreslením závěrů výzkumu. Grafy, které nejsou přesné nebo jsou obtížně čitelné, mohou ztížit pochopení dat a vztahů mezi proměnnými. Chybné interpretace a závěry mohou výrazně ovlivnit validitu a spolehlivost výsledků. Je proto nezbytné být pečlivý při každém kroku vyhodnocování dat a věnovat pozornost detailům, aby se minimalizovalo riziko chyb a zajistila se výsledná kvalita experimentu.

7 Výsledky a diskuse

Při prvním a druhém měření bylo na odlučovacích botkách zachyceno 9 484 g a 73 610 g odpadu, který byl rozdělen na jednotlivé frakce. Těmito frakcemi byly chmelové hlávky, réva + řapíky + větýnka + pecičky, lupulin, hroudy a kameny, kovové příměsi, ostatní příměsi. Chmelové hlávky a lupulin, které byly zachyceny na odlučovacích botkách představují pro výrobu ztrátu. Obsahují totiž cenné látky, o které takto výsledné granule přichází. Zachycená chmelová réva a řapíky pochází jednoznačně od pěstitelů. Dostávají se do chmele nedostatečnou separací na česacích linkách. Obsah peciček ve chmelu je způsoben nežádoucím opylením samičího květenství a vzniku těchto tvrdých peciček. Mají minimální cenné látky a je proto dobré je odstranit. Hroudy a kameny se do chmele dostávají zejména za deštivého počasí, kdy jsou chmelnice rozbahněné. Od projíždějících traktorů totiž odletuje zemina až na jejich návěsy a znečišťuje chmel. Zachycené kovové příměsi pochází z chmelnic ve formě chmelovodičů a háčků. Ostatní příměsi, které mohou být různých materiálů a velikostí, mohou vstupovat do chmelu na různých místech (chmelnice, česací linky, sušárny atd.).

Poměrové zastoupení jednotlivých příměsí bylo při prvním a druhém měření značně rozdílné. Například réva + řapíky + větýnka + pecičky 8,40 % a 41,32 % nebo hroudy a kameny 44,71 % a 20,87 %. Tato variabilita může být způsobena jinou odrůdou chmele, rozdílnými podmínkami při sklizni nebo jiným nastavením a druhem česacích linek. Obecně však lze jednotlivé skupiny příměsí rozdělit na tři skupiny po dvojicích.

První skupinou příměsí jsou hroudy a kameny, réva + řapíky + větýnka + pecičky, které dosahovaly průměrné poměrové hmotnostní zastoupení v desítkách procent ($32,79 \% \pm 11,92 \%$; $24,86 \% \pm 16,46 \%$) a je nutné, je z chmele odstranit. Druhou skupinou příměsí jsou chmelové hlávky a lupulin, které dosahovaly poměrového hmotnostního zastoupení také v desítkách procent ($22,99 \% \pm 9,58 \%$; $16,95 \% \pm 4,21 \%$), ale byly odstraněny z chmele zbytečně, neboť představují ztrátu. Třetí skupinou příměsí jsou kovové a ostatní příměsi, které se ve chmelu nacházeli jen v desetínách až nižších jednotkách procent ($0,78 \% \pm 0,44 \%$; $1,63 \% \pm 1,27 \%$), ale přesto je nutné je odstranit. Na základě provedených měření bylo zjištěno, že odpad, který je nutné odstranit z chmele zachycený na botkách, představoval 0,199 % a 0,394 % z hmotnosti násypu.

8 Závěr

Cílem práce byl teoretický rozbor funkce jednotlivých mechanismů zpracovatelské linky chmele. Poté na základě vlastních experimentů a rozboru příměsí v jednotlivých částech linky navrhnout optimalizaci regulačních parametrů pro konkrétní podmínky.

V první části diplomové práce je uveden stručný přehled informací o historii, biologickém a chemickém složení chmele a také o sklizni a první etapě zpracování chmele. Tyto informace jsou nutné pro čtenáře proto, aby pochopil dané téma.

V samostatné části je poté popsána analýza činnosti zpracovatelské linky chmele založena na teoretickém rozboru funkcí jednotlivých mechanismů. Je popsán kompletní proces zpracování chmele, od příjmu chmelových hranolů přes průchod chmele jednotlivými mechanismy linky, až po expedici hotových granulí. U mechanismů je popsáno jejich konstrukční řešení a chod včetně schémat či obrázků. Na konci této kapitoly je pak uveden proces kontroly kvality na jednotlivých místech linky a možné směry dalšího vývoje.

V praktické části práce jsou poté uvedeny výsledky a zhodnocení experimentálních měření. Tato měření byla prováděna na základě rozboru příměsí odpadu v jednotlivých částech linky. Výsledkem bylo zjištěno, že se ve chmelu nacházelo 0,199 % a 0,394 % příměsí, které bylo nutno odstranit, protože by zhoršovaly kvalitu výsledných granulí. Největší zastoupení nežádoucích příměsí pak tvořily hroudy a kameny s cca 33 % \pm 12 % z hmotnosti zachyceného odpadu a réva + řapíky + větýnka + pecičky s cca 28 % \pm 16 %.

Hroudy s kameny se do chmele dostávají zejména za deštivého počasí, kdy jsou chmelnice rozbahněné. Od projíždějících traktorů totiž odletuje zemina až na jejich návěsy a znečišťuje tak chmel. Než odpad z chmele složitě separovat je důležité zabývat se prevencí, aby se odpad do chmele vůbec nedostával. Je proto nutné, aby traktory i návěsy byly vybaveny blatníky a zástěrkami kol pro zabránění odletujícím částem vniknout do chmelu. Příměsí chmelového charakteru pak pochází od pěstitelů kvůli nedostatečné separaci na česacích linkách. Nebo pak kvůli nežádoucímu opylení samičího květenství a vzniku peciček, které se do chmelu také dostávají. Je proto nutné dbát na obsluhu česacích linek, aby upřednostňovala čistotu chmelových hlávek před výkonností česacích linek.

Při dalších možných měřeních by bylo vhodné provést odběr také mezi poslední odlučovací botkou a kladívkovým mlýnem, kde by se žádné potencionální příměsi vyskytovat neměly a zároveň není chmel již rozemlet na prášek. Po rozboru by bylo zřejmé, jaké množství odpadu nejsou botky schopné zachytit a zároveň, jaké procento příměsí výsledné granule obsahují. Pro odběr by bylo nejspíše nutné zastavit chod zpracovatelské linky a provést odebrání vzorku pro rozbor, neboť linka tvoří uzavřený okruh. Rozbor by bylo nutné provést na separačním zařízení, neboť příměsí dosahují malých rozměrů a nachází se jich ve chmelu již opravdu malé množství.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] HAJŠL, Jiří. *Chmelové stránky*. [Online]. [cit. 2023-11-01]. Dostupné z: <https://chmelar.hajsl.cz/>.
- [2] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Zemědelství 2022*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2023. ISBN 978-80-7434-699-6.
- [3] SVAZ PĚSTITELŮ CHMELE ČESKÉ REPUBLIKY. *Czhops*. [Online]. [cit. 2023-11-01]. Dostupné z: http://www.czhops.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=29&lang=cs.
- [4] RYBÁČEK, Václav. *Chmelařství*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1980.
- [5] KROFTA, Karel. Vzorkování chmele. *Chmelařství*. 1994, č. 67, s. 125-129.
- [6] *Agrobiologie*. [Online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: https://agrobiologie.cz/SMEP3/Fytotechnika/fyto/php/skripta/kapitoladb94.html?titul_key=4&idkapitola=30.
- [7] *Agrojournal*. [Online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.agrojournal.cz/clanky/vyrobní-technologie-a-mechanizace-pri-pestovani-a-sklizni-chmele-212>.
- [8] CHMELAŘSTVÍ, DRUŽSTVO ŽATEC. *Chmelařství*. [Online]. [cit. 2023-11-01]. Dostupné z: <https://www.chmelarstvi.cz/zpracovani-chmele>.
- [9] RYBKA, Adolf. Stroje a zařízení na posklizňovou úpravu chmele. *Stroje pre rastlinnú výrobu 3: stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie*. Praha: Profí Press ve spolupráci so Slovenskou poľnohospodárskou univerzitou v Nitre, 2011, s. 179- 193. ISBN 978-80-86726-41-0.
- [10] *Hop*. [Online]. [cit. 2023-11-01]. Dostupné z: <http://www.hop.cz/home.php?lg=cz>.
- [11] CHMELAŘSTVÍ, DRUŽSTVO ŽATEC. *Chmelařství, družstvo Žatec - Zpracování a skladování chmele na nejvyšší úrovni*. Žatec: Aa Group s.r.o., 2018.
- [12] *Priklady_IV_magneticke_pole*. [Online]. [cit. 2023-11-01]. Dostupné z: https://elmag.fel.cvut.cz/sites/default/files/users/pankrac/files/Priklady_IV_magneticke_pole.pdf.
- [13] *Tigemma engineering*. [Online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://tigemma-engineering.cz/odsavani/produkty/cyklonove-odlucovacce>.

- [14] *Vzduchotechnik*. [Online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnik.cz/vyrobky/cyklon-d-630/>.
- [15] KOŘEN, Jiří a kol. *Sušení chmele na komorových sušárnách, Metodika pro praxi 10/2008*. Chmelařský institut s.r.o, 2008. ISBN 978-80-86836-51-5.
- [16] NEUBAUER, Karel a kol. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. Praha: SZN, 1989. ISBN 80-209-0075-6.
- [17] JIROUT, Tomáš. [Online]. 2006 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~jiroutom/vyuka/hmz/hmz13_rv.pdf.
- [18] *Techkon*. [Online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://techkon.cz/>.
- [19] *Stoza*. [Online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://stoza.cz/ostatni-stroje-a-zarizeni/chladic-granuli-chp/>.
- [20] *Hopfenveredlung*. [Online]. [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://hopfenveredlung.de>.
- [21] KROFTA, Karel. *Hodnocení kvality chmele*. Žatec: Chmelařský institut, 2008. ISBN 978-80-86836-84-3.
- [22] BIENDL, Martin. Aktuální vlastnosti ethanolových extraktů chmele ve srovnání s CO₂- extrakty. *Kvasný průmysl*. 1996, roč. 42, č. 10, s. 310 - 314. ISSN 2570-8619.

Seznam zkratk

KH.....konduktometrická hodnota
 ÚKZÚZ.....Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

10 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1 - Hlávka chmele v řezu | 3 |
| Obr. 2 - Hranoly chmele | 6 |
| Obr. 3 - Chmelové granule | 7 |
| Obr. 4 - Technologické schéma zpracovatelské linky chmele..... | 9 |
| Obr. 5 - Schéma cyklonu | 12 |
| Obr. 6 - Komorová sesypná sušárna | 14 |
| Obr. 7 - Kladívkový mlýn..... | 15 |
| Obr. 8 - Vibrační síta | 17 |
| Obr. 9 - Granulátor..... | 18 |
| Obr. 10 - Automatický balicí robot..... | 19 |
| Obr. 11 - Klimatizovaný sklad..... | 21 |
| Obr. 12 - Zařízení pro odběr vzorků chmele z hranolů | 22 |
| Obr. 13 - Chmelový extrakt | 23 |
| Obr. 14 - Příměsi zachycené na magnetu | 28 |
| Obr. 15 - Odlučovací botka..... | 29 |
| Obr. 16 - Vzorek lupulinu zachycený na první botce - za násypem | 30 |
| Obr. 17 - Ostatní příměsi - zachycené na první botce - za násypem - 1. měření | 31 |
| Obr. 18 - Ostatní příměsi - zachycené na první botce - za násypem - 2. měření | 31 |
| Obr. 19 - Vzorek chmelových hlávek | 37 |
| Obr. 20 - Vzorek révy, řapíků, větýnek a peciček..... | 38 |
| Obr. 21 - Vzorek lupulinu | 39 |
| Obr. 22 - Vzorek hrud a kamenů | 40 |
| Obr. 23 - Vzorek kovových příměsí | 41 |
| Obr. 24 - Vzorek ostatních nebiologických a biologických příměsí | 42 |
| Obr. 25 - Vzorek ostatních kovových příměsí | 43 |
| Obr. 26 - Vzorek provázků | 43 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 - Naměřené hodnoty - 1. měření | 26 |
| Tab. 2 - Naměřené hodnoty - 2. měření | 26 |

Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1 - Kovové příměsi - 2. měření..... | 27 |
| Graf 2 - 1. botka - za násypem..... | 29 |
| Graf 3 - 2. botka - za homogenizátorem | 32 |
| Graf 4 - 3. botka - za sušárnou..... | 33 |
| Graf 5 - Příměsi celkem | 34 |
| Graf 6 - Hmotnost odpadu zachyceného na jednotlivých botkách | 35 |
| Graf 7 - Typy příměsí - 1. a 2. měření | 35 |
| Graf 8 - Rozdělení příměsí - 1. a 2. měření..... | 36 |