

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



**Technologie sušení chmele v komorové sušárně s
využitím uklidňovacích komor**

Diplomová práce

Bc. Jakub Pivko

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Pivko

Zemědělské inženýrství

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Technologie sušení chmele v komorové sušárně s využitím uklidňovacích komor.

Název anglicky

Hop drying technology in chamber dryer with using of calm down kilns.

Cíle práce

Student provede rozbor technologického procesu sušení chmele v komorové sušárně s využitím uklidňovacích komor. Předností tohoto způsobu sušení je zvýšení kvality produktu a úspora energie, protože odpadá fáze přesoušení chmele a následného zvlhčování. Student vyhodnotí přednosti a nedostatky a navrhne optimalizaci regulačních parametrů pro konkrétní podmínky.

Metodika

Student ve chmelařském podniku, který má komorovou sušárnu a uklidňovací komory, změří základní parametry předmětné sušárny. Zjistí teplotní a vlhkostní parametry sušícího media a vlhkost chmele v průběhu sušení a uklidňování, stanoví sušící křivku a příp. doporučí úpravy pro další sklizňovou sezonu.

Doporučený rozsah práce

45-50 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

chmel, sušení chmele, komorová sušárna, kvalitativní ukazatele chmele

Doporučené zdroje informací

JECH, J. a kol. Stroje pre rastlinnú výrobu 3. Stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie. Profi Pres s.r.o. Praha, 2011, 368 s. ISBN 978-80-86726-41-0

NEUBAUER, K. a kol. Stroje pro rostlinnou výrobu. SZN Praha, 1989, 720 s. ISBN 80-209-0075-6

RYBÁČEK, V. a kol. Chmelařství. SZN Praha, 1980, 426 s.

Studijní a výzkumné zprávy. Dokumentace KZS TF ČZU v Praze, CHI s.r.o. Žatec a Chmelařství, družstvo Žatec. Patenty a užitné vzory. Odborné časopisy a firemní literatura.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Konzultant

Ing. Jan Podsedník Chmelařství, družstvo Žatec

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2019

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Technologie sušení chmele v komorové sušárně s využitím uklidňovacích komor" 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

Bc. Jakub Pivko

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Adolfu Rybkovi, CSc. a Ing. Janu Podsedníkovi za cenné rady, věnovaný čas, a především za odborné vedení mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Bc. Michalu Markovi za věnovaný čas a pomoc při provedených měření.

Technologie sušení chmele v komorové sušárně s využitím uklidňovacích komor

Abstrakt

Hlavním cílem práce je rozbor technologického procesu sušení chmele v komorové sušárně s využitím uklidňovacích komor. V teoretické části práce je zpracována historie sušení chmelových hlávek, základní teorie celého procesu sušení a přehled různých typů horkovzdušných sušáren v České republice. Zatímco v praktické části práce byly konstatovány změřené základní parametry předmětné sušárny. Poté za pomoci metody analýzy byly zjištěny teplotní a vlhkostní parametry sušicího média a vlhkosti chmelových hlávek v průběhu celého procesu. Dále bylo v práci dokázáno, že uklidňovací komory jsou velmi užitečným nástrojem k dosažení potřebné kvality chmele a ušetření nákladů pro chmelařské společnosti.

Klíčová slova: chmel, sušení chmele, komorová sušárna, kvalitativní ukazatele chmele

Hop drying technology in chamber dryer with using of calm down kilns

Abstract

The main goal of the work is to analyse the technological process of drying hops in a kilns dryer using calm down kilns. In the theoretical part of the work is worked out the history of the hop head drying, the basic theory of the whole drying process and an overview of the different types of hot air kilns in the Czech Republic. While in the practical part of the work were noted the measured basic parameters of the drying works. Then, using the method of analysis, the temperature and humidity parameters of the drying medium and the humidity of the hop heads were detected throughout the process. Furthermore, it has been proven that calm down kilns are a very useful tool to achieve the needed hops quality and save costs for hop companies.

Keywords: hop, hop drying, chamber dryer, qualitative indicators of hop

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce	2
3 Metodika	3
4 Přehled řešené problematiky	4
4.1 Historie sušení chmele.....	4
4.2 Základy sušení	5
4.2.1 Proces sušení.....	6
4.3 Druhy sušáren	7
4.3.1 Pasové sušárny	8
4.3.1.1 Historický vývoj pásových sušáren.....	8
4.3.2 Komorové sušárny	11
4.3.2.1 Historický vývoj komorových sušáren.....	11
4.3.2.2 Žaluziové sesypné komorové sušárny.....	13
4.3.2.3 Boxové komorové sušárny	14
4.3.3 Přehled horkovzdušných sušáren v České republice	16
5 Praktická část práce	17
5.1 Termín a podmínky měření	17
5.2 Popis a metodika měření	17
5.2.1 Měření pomocí dataloggerů.....	17
5.2.2 Laboratorní rozbor odebraných vzorků.....	18
5.2.3 Popis a technologické schéma komorové sušárny WOLF	23
5.3 Výsledky měření	24
5.3.1 První měření.....	24
5.3.1.1 Vlhkost chmele v závislosti na čase měření	25
5.3.1.2 Porovnání vlhkosti chmele a relativní vlhkosti vzduchu v průběhu celého procesu sušení.....	29
5.3.1.3 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře	30
5.3.2 Druhé měření	31
5.3.2.1 Vlhkost chmele v závislosti na čase měření	32
5.3.2.2 Porovnání vlhkosti chmele a relativní vlhkosti vzduchu v průběhu celého procesu sušení.....	36

5.3.2.3	Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře	37
5.3.3	Třetí měření	38
5.3.3.1	Vlhkost chmele v závislosti na čase měření	39
5.3.3.2	Porovnání vlhkosti chmele a relativní vlhkosti vzduchu v průběhu celého procesu sušení.....	43
5.3.3.3	Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře	44
6	Závěr	46
7	Seznam použitých zdrojů	48
8	Seznam obrázků a tabulek	49

1 Úvod

V současnosti se proces sušení využívá v mnoha odvětvích, a to především v zemědělství pro sušení chmelových hlávek, obilí a exkrementů. Dále se také proces sušení využívá např. v potravinářství, hutnictví, strojírenství, energetice, chemii a stavebnictví.

Sušení chmele je považováno za nejjednodušší způsob konzervace chmelových hlávek, protože jednak upravuje životní faktor pro mikroflóru hlávek a také umrtvuje chmelovou hlávkou. Sušení chmele je operace ve sklizňovém procesu, která následuje po česání chmelových hlávek. V dnešní době se na sušení chmelových hlávek využívají horkovzdušné sušárny.

Horkovzdušné sušárny se dělí do dvou typů, a to na pásové a komorové sušárny. Komorové sušárny můžeme dále rozdělit na komorové žaluziové sesypné a komorové boxové sušárny. V současnosti v České republice převažují sušárny pásového typu, ale komorové sušárny se opět dostávají do popředí, a to díky zautomatizovanému procesu sušení, který vede ke snížení nákladů. V posledních letech se v České republice po zkušenostech ze zahraničí (zejména USA) začínají objevovat boxové komorové sušárny, které byly zkonstruovány pouze v několika originálních provedeních.

Dalším významným pojmem, který se postupně dostává do podvědomí všem pěstitelům je uklidňovací komora. Uklidňovací komora se využívá ke stabilizaci teploty a vlhkosti chmelových hlávek na požadovanou hodnotu. Kromě stabilizačního procesu dochází uvnitř uklidňovací komory i k tzv. odpočínutí chmelových hlávek. V současnosti jsou uklidňovací komory velmi populární, jelikož v nich je obrovská perspektiva. Ta spočívá nejen ve splnění požadavků, které jsou na proces kladeny, ale také ve snížení nákladů.

2 Cíl práce

Diplomová práce obsahuje dva cíle. Prvním z nich je rozbor technologického procesu sušení chmele v komorové sušárně s využitím uklidňovacích komor. Předností tohoto způsobu sušení je zvýšení kvality produktu a úspora energie, protože odpadá fáze přesoušení chmele a následného zvlhčování. Druhým cílem práce je vyhodnocení předností a nedostatků celého procesu.

3 Metodika

Pro zpracování této práce byly použity metody sběru dat a informací, metody analýzy a metody porovnání sušárenské technologie. Metoda sběru dat a informací spočívala v tom, že ve chmelařském podniku, který má komorovou sušárnu a uklidňovací komory, byly změřeny základní parametry předmětné sušárny. Poté za pomoci metody analýzy byly zjištěny teplotní a vlhkostní parametry sušicího média a vlhkosti chmelových hlávek v průběhu celého procesu, tj. proces sušení a proces uklidňování. Z těchto zjištěných parametrů byla stanovena sušicí a uklidňovací křivka.

4 Přehled řešené problematiky

4.1 Historie sušení chmele

Již od samotného počátku docházelo k sušení chmelových hlávek, toto sušení probíhalo v přírodních podmínkách. Chmelové hlávky byly rozloženy do tenké vrstvy na podlaze ve stínu. Tento způsob sušení chmelových hlávek byl velmi zdlouhavý, a proto se uvažovalo o lepším řešení, než bylo sušení chmelových hlávek na vhodných podlažích. Tímto řešením se nakonec stalo sušení chmelových hlávek na lískách odlišné konstrukce. Nové řešení totiž nabízelo daleko lepší využití prostoru, jelikož se chmelové hlávky ukládaly do více vrstev nad sebou. Toto řešení sice přineslo lepší prostorové využití, ale bylo stále velmi zdlouhavé, a proto došlo k dalšímu urychlení sušicího procesu chmelových hlávek. Tímto urychlením bylo zavedení tepelného vytápění, které bylo pro odpovídající období velmi důležitým krokem vpřed. Díky zavedení tepelného vytápění můžeme toto období označit za přechodné, jelikož došlo ke změně způsobu sušení, a to od přirozeného způsobu sušení k horkovzdušnému sušení. Zavedení tepelného vytápění vedlo k organizovanému ukládání lísek a ke vzniku prvních lískových sušáren (např. Bařtipánova sušárna v Hředlích). Toto organizované ukládání v podstatě představovalo ukládání lísek v několika patrech nad sebou, pod které byl veden rozvod teplého (sušicího) vzduchu. Od této inovace způsobu sušení chyběl už jen krok ke vzniku horkovzdušných sušáren, které známe ze současné doby. Tyto sušárny dělíme na pásové a komorové horkovzdušné sušárny. [5]

Samotné počátky horkovzdušného sušení chmelových hlávek spadají do druhé poloviny 19. století. Mezi první typy horkovzdušných sušáren patří obdoba tzv. hvozdových sušáren, které se využívaly na sušení sladu. Od této doby prošly horkovzdušné sušárny specifickým vývojem, který probíhal ve velmi vysokém tempu. Tento vývoj v zásadě představoval, že v každém chmelovém hospodářství byla postavena sušárna, jelikož horkovzdušné sušení mělo velice pozitivní dopad na kvalitu sklizeného chmele. Horkovzdušným sušením bylo také dosaženo vynikajícího lesku a barvy chmelových hlávek. [1]

Původní selské sušárny byly různého konstrukčního provedení. Hlavním vývojem těchto sušáren bylo hlavně nahrazení sušení v jedné vrstvě za sušení ve dvou či více vrstvách nad

sebou. Následnou inovací se stalo také zavedení systému tzv. protiproudového sušení, tj. proudící vzduch je veden proti směru posunu chmele. V zásadě jde o to, že tím nejteplejším vzduchem byla sušena nejvíce prosušená vrstva, zatímco po jejím prosušení přebral vzduch uvolněnou vlhkost. Díky přebrání uvolněné vlhkosti se vzduch ochladil a vstoupil do další méně prosušené vrstvy. V případě, že sušárna obsahovala více vrstev se proces dále opakoval. [1]

U horkovzdušných sušáren byl také zaveden systém tzv. žaluziových sušáren, který představoval mnoho variant. Zmíněné varianty začínaly na jednožaluziových, ale mohly být také třížaluziové. K těmto žaluziím také patřili vyprazdňovací vozíky, díky těmto vozíkům probíhalo sušení maximálně ve čtyřech vrstvách. U horkovzdušného sušení byly zaznamenány významné změny v technickém vývoji, které měly velmi užitečný dopad na proces sušení. [7]

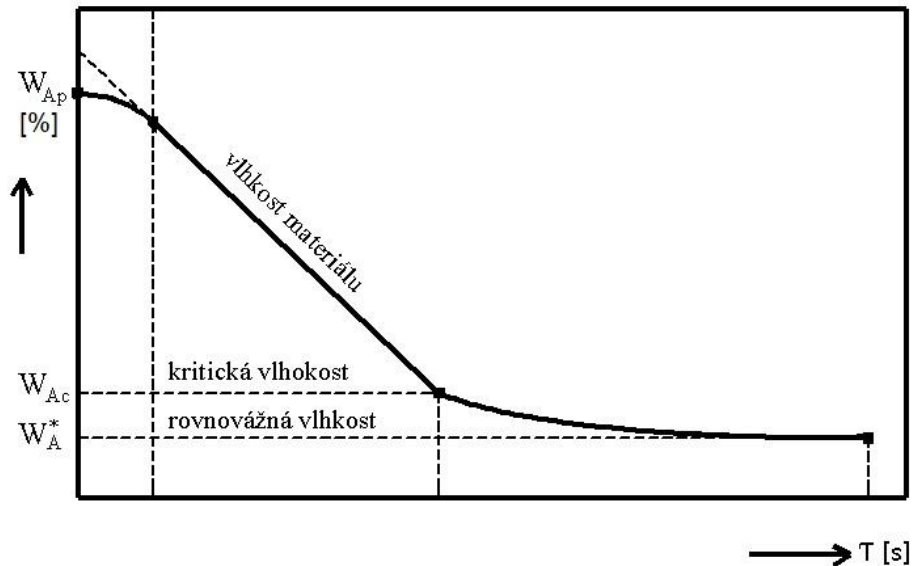
4.2 Základy sušení

Sušení představuje tepelný proces, při kterém dochází ke snížení vlhkosti sušeného materiálu. Tím pádem dochází u chmelových hlávek k odpaření kapalné fáze, a to díky proudu sušicího média. Zpravidla je za sušicí médium považován nenasycený vzduch vlhkem. Odpařování kapalné fáze způsobuje teplo, které zajišťuje horký vzduch. Teplotu horkého vzduchu je možné regulovat na požadovanou hodnotu. Sušicí proces se uskutečňuje v zařízeních, které nazýváme sušárny. [2]

Dalšími důležitými pojmy týkajícími se procesu sušení jsou konvekce, kondukce a desorpce. Zatímco konvekce zajišťuje přenos energie na povrch hlávek, tak kondukce způsobuje přenos energie uvnitř hlávek. Následující pojem, tedy desorpce vody, je určen teplotou vzduchu, vlhkostí a koncentrací vody na povrchu. [6]

Proces sušení je závislý na rychlosti sušení, která může nabývat dvou stavů. Prvním ze dvou stavů je konstantní rychlost sušení, při které se nemění teplota chmelových hlávek, jelikož všechno dodávané teplo se spotřebovává na odpařování vody z povrchu. Druhý stav prezentuje klesající rychlost sušení, která nastane po dosažení kritického bodu (CK). K dosažení kritického bodu dojde ve chvíli, kdy klesne obsah vody natolik, že vzduch už

nemá co odpařovat. Poté dochází k tomu, že teplota povrchu začne stoupat a rychlost odpařování naopak klesne. Kritická vlhkost (obr. 1) musí být co nejmenší, aby rychlost sušení mohla prudce klesat. Abychom mohli dosáhnout ideální kritické vlhkosti, tak musíme měnit rychlost sušení. Kritická vlhkost je rozdílná pro každou odrůdu. [5]



Obr. 1 Graf zobrazující křivku vlhkosti materiálu [2]

W – vlhkost materiálu [%], τ – čas [s]

4.2.1 Proces sušení

Proces sušení je rozdělen do tří částí (obr. 2):

a) Počátek sušení

Tato část trvá ze všech tří částí nejkratší dobu, leckdy je v některých případech těžko zachytitelná. Po vzniku gradientu teploty dochází k ohřevu chmelové hlávky, při kterém dochází k postupnému odpařování vody, které má za důsledek zpomalení ohřevu chmelových hlávek. Při tomto odpařování je spotřebováváno teplo dodávané horkým vzduchem. [1]

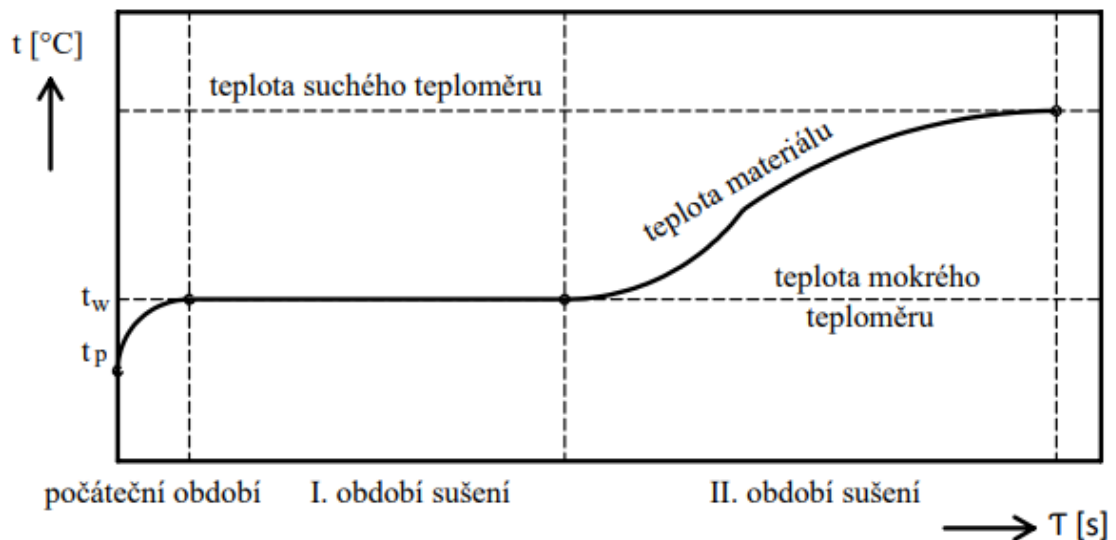
b) Sušení pomocí konstantní rychlosti

V druhé části procesu sušení se teplota chmelových hlávek nemění, jelikož dosahuje teploty mokrého teploměru a všechno dodávané teplo je spotřebováno na odpařování vody z povrchu. V této části závisí rychlost sušení na vlhkosti, hmotnostním průtoku

vzduchu a teplotě. Sušení pomocí konstantní rychlosti trvá až do dosažení kritického bodu, přitom teplota hlávek zůstává konstantní. [1]

c) Sušení pomocí klesající rychlosti

V okamžiku dosažení kritického bodu se rychlost sušení začne snižovat, jelikož přestane povrch chmelových hlávek pokrývat vrstva vody a do styku se vzduchem se dostanou suché části povrchu chmelových hlávek. Poté dochází k ohřevu chmelových hlávek nad teplotu mokrého teploměru. Rychlost sdílení tepla se postupně zpomaluje až do chvíle, kdy materiál dosáhne téměř stejné teploty horkého vzduchu a vlhkosti. Následuje zastavení obou dějů, protože chmel už nelze vysušit více než na teplotu vzduchu. [2]



Obr. 2 Graf znázorňující průběh sušení [2]

t – teplota [$^{\circ}\text{C}$], τ – čas [s]

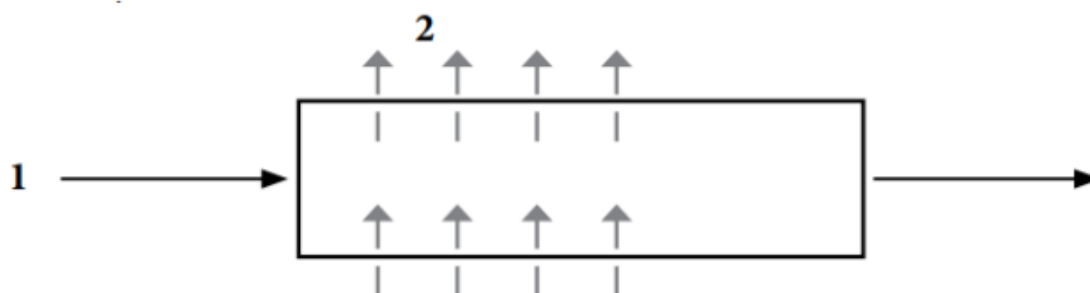
4.3 Druhy sušáren

V současnosti se pro sušení chmelových hlávek využívají tzv. horkovzdušné sušárny. Chmelové hlávky uvnitř sušáren jsou vysušeny za pomoci horkého vzduchu. Horkovzdušné sušárny dále dělíme do dvou odlišných kategorií:

- Pásové sušárny
- Komorové sušárny

4.3.1 Pasové sušárny

Pasové sušárny patří nejen do kategorie horkovzdušných sušáren, ale zároveň i do kategorie kontinuálních. U pásových sušáren je směr pohybu chmele kolmý na proud sušicího vzduchu, což je znázorněno na obr. 3. Největší výhodou pásových sušáren je to, že chmelové hlávky jsou v neustálém kontaktu se sušicím vzduchem. Proto jsou ve srovnání s ostatními typy nejlepší svým výkonem a rychlostí sušení, díky těmto vlastnostem lze dosáhnout velmi nízké vlhkosti sušeného chmele. [3]



Obr. 3 Vliv sušicího vzduchu na pohyb chmele [3]

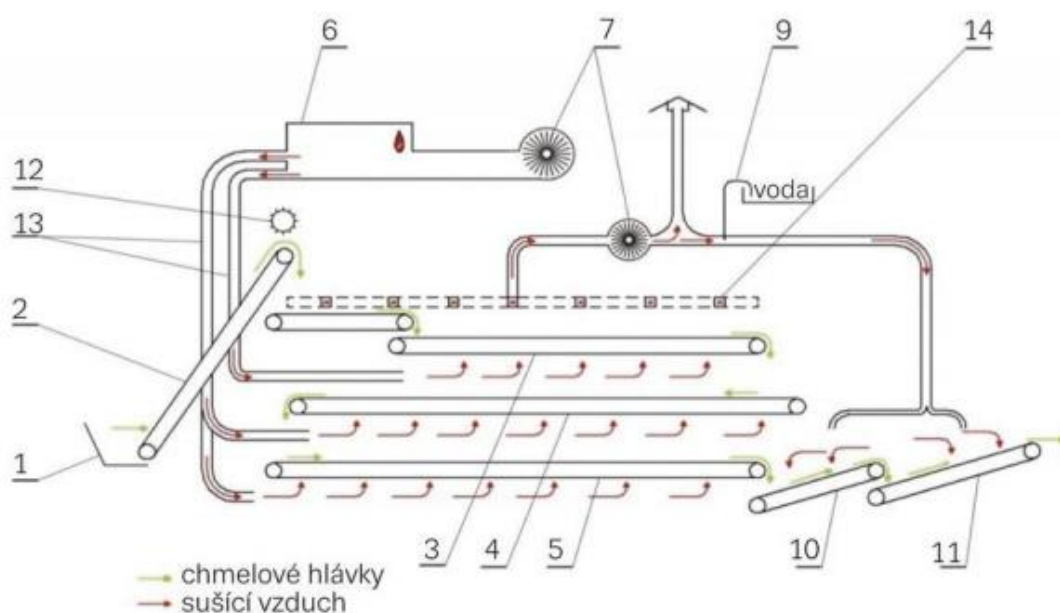
1 – směr pohybu chmelových hlávek, 2 – směr proudu horkého vzduchu

4.3.1.1 Historický vývoj pásových sušáren

Historický vývoj pásových sušáren spadá do druhé poloviny 20. století a lze jej rozdělit do čtyř etap (tab. 1). Za počátek první etapy označujeme období, v kterém se na světový trh dostal prototyp pásové sušárny od německé firmy Binder & Bürgmayer. Původem byl tento typ sušárny určen k sušení listové zeleniny, ale byl vhodný i pro sušení chmelových hlávek. V České republice se tento typ sušárny poprvé objevil v roce 1959 na farmě Státního statku v Břežanech u Žatce. Měl však jisté nevýhody a to především, že topeniště sušárny bylo na naftu. Kvůli těmto nedostatkům započala tuzemská výroba pásových sušáren na Milevsku. Již v roce 1961 bylo vyrobeno 10 kusů prvních pásových sušáren, zvláštností těchto nově vyrobených pásových sušáren byla tzv. recirkulace vzduchu, která vracela část odváděného vzduchu zpět do sušicího procesu. Tento typ pásových sušáren dostal označení PSCH 325 a byl vybudován např. v Ročově a ve Svojetíně. Poté následovalo přechodné období mezi první a druhou etapou, jelikož došlo k pozdržení tuzemské výroby, které vedlo k dovozu náhradních sušáren SH 200 z Jugoslávie. Tyto typy u nás dostaly označení Čačak. S nárůstem požadavků na sušení vznikl nový typ pásových

sušáren PCHA 375, u kterého byla zvýšena výkonnost na $500 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ a zrušena recirkulace vzduchu. Ke zrušení recirkulace vzduchu došlo na základě negativního působení vzduchu na kvalitu sušení. [3]

Druhá etapa vývoje s sebou přinesla novou generaci pásových sušáren, které byly označovány PCHB. Tato generace obsahovala 3 prototypy, které byly pojmenovány PCHB 375 K, PCHB 500 K a PCHB 750 K. Nová generace pásových sušáren přinesla dominantnost, a proto došlo k zastavení výstavby komorových sušáren. Z nové generace pásových sušáren se nejlépe osvědčil typ PCHB 750 K (obr. 4), který byl vyvážen i do zahraničních oblastí. [3]



Obr. 4 Technologické schéma pásové sušárny PCHB 750 K [4]

1 – násypka, 2 – šikmý sítový dopravník, 3(4,5) – sušící sítový dopravník, 6 – horkovzdušný agregát, 7 – ventilátor, 9 – vodní hospodářství, 10(11) – sítový dopravník klimatizační komory, 12 – rovnací válec, 13 – rozvodné vzduchové potrubí, 14 – odsávací otvory

Ve třetí etapě došlo ke vzniku nového typu pásových sušáren, nový typ dostal označení PCHC 750 K. Jelikož rostly požadavky na výkonnost sušáren, tak došlo k vývoji nového prototypu v Novém Městě nad Váhom, který dostal název TS5 - 051. Tento typ umožnil zvýšení vrstvy sušených chmelových hlávek na všech pásech, díky tomu, že byla zvýšena

teplota sušení na prvním pásu. Můžeme tedy konstatovat, že byla výkonnost u nového prototypu zvýšena nejméně na 900 kg.h⁻¹. [3]

Čtvrtou generací pásových sušáren se stal prototyp TPD – K, jedná se o prototyp sušárny pro velká sklizňová střediska. Byl zhotoven pouze jeden prototyp, který byl v roce 1983 představen ve Stekníku. Tento typ pásové sušárny má dělený první pás a jeho výkonnost činí 1500 kg.h⁻¹. [3]

Tab. 1 Přehled pásových sušáren v příslušných etapách [3]

ETAPA	OBDOBÍ	POPIS SUŠÁRNY	TECHNOLOGICKÉ PRVKY
I.	1959–1963	Binder § Bürgmayer PSCH 325 Vojvodianka SH 200	Topeniště na naftu, recirkulace. Topeniště na uhlí, dělené pásy, později široké pásy, recirkulace. Topeniště na naftu nebo LTO. Výška vrstvy chmele na pásech: 120 - 180 - 270 mm/ ^x
II.	Od roku 1968	PCHB 375 K PCHB 500 K PCHB 750 K	Topeniště na LTO, jeden odsávací ventilátor, instalace klimatizační komory, výška vrstvy chmele na pásech: 150 - 220 - 340 mm
III.	Od roku 1976	PCHC 750 K TS5 - 051	Zkrácený sušicí tunel. Obchod teplého vzduchu od topeniště, instalace klimatizační komory, intenzifikace sušicího procesu, výška vrstvy na pásech: 250 - 300/370 - 450/560 - 670 mm
IV.	Od roku 1983	TPD – K	Určeno pro velká sklizňová střediska, dvakrát dělený první pás, specifické řešení vzduchotechniky, výška vrstvy na pásech: 350 - 400/520 - 600/780 - 900 mm

^x uváděné výšky vrstvy sušeného chmele od 1. nejvýše instalovaného pásu

4.3.2 Komorové sušárny

Komorové sušárny jsou označovány jako vsádková zařízení, ve kterých sušící vzduch prostupuje vrstvou vlhkých chmelových hlávek. Tento systém odpovídá protiproudému systému, jelikož dochází k postupu sušeného materiálu proti směru proudění vzduchu. Komorové sušárny dále můžeme rozdělit na 2 druhy. První z nich označujeme jako sesypné žaluziové komorové sušárny a druhým typem jsou boxové (vsádkové) komorové sušárny. Chmel je u komorových sušáren sušen po dobu 6 – 8 hodin při teplotě 55 – 60 °C a zaplňování sušících komor probíhá vždy v určitých intervalech. [5]

4.3.2.1 Historický vývoj komorových sušáren

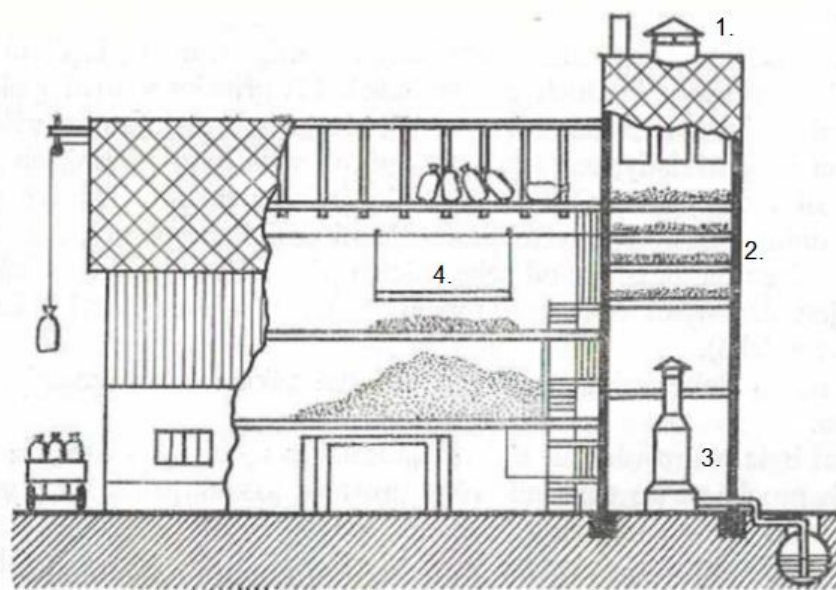
První generací komorových sušáren byla obdoba tzv. hvozdivých sušáren. Tento typ komorových sušáren měl perforované podlaží, které nazýváme žaluzie. Po ploše žaluzie byly rozprostřeny chmelové hlávky a díky průchodu vzduchu probíhalo samotné sušení, během kterého byla sušená vrstva chmelových hlávek prohrabávána. Prohrabávání chmelových hlávek mělo za důsledek zkrácení doby sušení na necelý den. Pro historii komorových sušáren byla tato generace sušáren velmi významným krokem kupředu. [7]

Za následující etapu vývoje můžeme označit nahrazení pevné žaluzie za sklopnou a umístění vozíků s perforovaným dnem pod sklopnou žaluzii. Tyto změny znamenaly obrovský pokrok v historii, jelikož umožnily sušit chmelové hlávky ve více vrstvách nad sebou a ulehčily vyprazdňování sušárny. U sušáren tohoto typu nebyl stále dořešen odvod vzduchu, proto vznikly jednoduché výparníky, které byly zkonstruovány v nejvyšším bodě střešní konstrukce. [7]

V období mezi světovými válkami vzbudily pozornost především dvě změny sušáren. První z nich spočívala v tom, že horký vzduch procházel do výparníkového prostoru přímo přes vozíky a sklopné žaluzie. Poté byl horký vzduch vyveden postranními kanály mezi žaluzie. Princip této změny byl v budoucnu zdokonalen a využívá se dodnes na mnohem kvalitativně vyšší úrovni. Druhou změnou byla nucená cirkulace, což mělo za následek instalaci jednoduchých ventilátorů nad žaluziovým prostorem. [1]

Následující etapou vývoje bylo období po druhé světové válce, ve kterém byl sortiment komorových sušáren značně pestrý. Existovalo mnoho různých typů sušáren, které se lišily především ve velikosti sušicí plochy, ta se pohybovala v rozmezí od 4 m² do 30 m². Velikost sušicí plochy závisela na výměře chmele u pěstitelů, kteří sušárny vlastnili. Přechodem ke kolektivnímu hospodaření, docházelo ke vzniku větších výměr chmele, což mělo za následek vývoj komorových sušáren o větším výkonu. [1]

První z nabízejících se možností bylo přidání sklopných žaluzií. Tato možnost měla ale značné omezení, jelikož protiproudý systém sušárny předpokládá určitý stupeň vysušení na první (nejvyšší) sklopné žaluzii. Pokud by tento stupeň splněn nebyl, tak by docházelo k zapaření chmelových hlávek, a tím i k jejich znehodnocení. Počet žaluzií, který se ukázal jako použitelný, byly 3 sklopné žaluzie a vozíky s perforovaným dnem (obr. 5). [1]



Obr. 5 Schéma komorové sušárny [7]

1 – střešní odvětrávání, 2 – sklopné žaluzie, 3 – teplovzdušný agregát, 4 – vyprazdňovací vozík

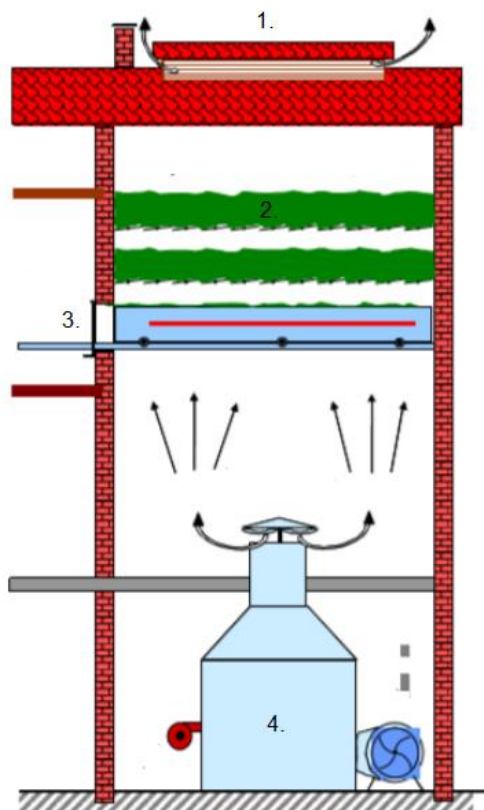
Další možnost byla ve zvětšení půdorysného prostoru sušárny. Jelikož se ukázalo, že tehdy existující komorové sušárny o půdorysné ploše 30 m² mají značné problémy s rovnoměrným rozvodem sušicího vzduchu, tak vývoj přešel k výstavbě vícekomorových sušáren. I když se zpravidla množství komor pohybovalo v rozmezí 3 – 4, tak byly i ojedinělé typy s počtem 8 komor vedle sebe. Další neoddělitelnou součástí vývoje bylo rovněž budování skladovacích prostorů. [1]

Základní změny a zdokonalení byly normalizovány a sjednoceny na základě jednotlivých výzkumů takto:

- počet komor 1 – 4 (maximálně 8)
- velikost kanálů pro přívod vzduchu do sušárny 0,16 m² na 1 m² sušící plochy
- půdorysný rozměr komory 5 x 4,5 m, tj. 22,5 m²
- výšku mezi nejnižší žaluzií a topeništěm na minimálně 6 m

4.3.2.2 Žaluziové sesypné komorové sušárny

Tento typ komorových sušáren (obr. 6) můžeme rozdělit na několik variant od jednožaluziových až po třížaluziové + vyprazdňovací vozíky nebo nekonečně pohyblivé pásy. Sušení probíhá maximálně ve čtyřech vrstvách. Tento typ sušáren se v České republice objevuje již v menším počtu, jelikož zde převažují pásové sušárny a po zkušenostech ze zahraničí (USA) se začínají konstruovat boxové komorové sušárny, které jsou v České republice prozatím pouze v několika originálních provedeních. [5]



Obr. 6 Schéma žaluziové sesypné sušárny [5]

1 – střešní odvětrávání, 2 – sklopné žaluzie, 3 – vyprazdňovací vozík, 4 – teplovzdušný agregát

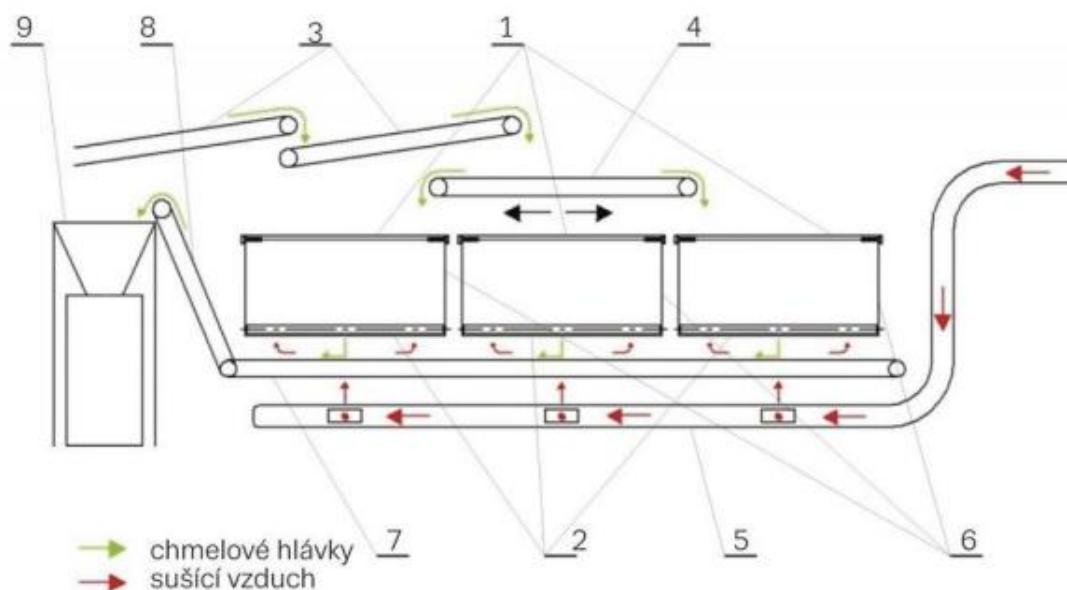
Žaluziové sesypné komorové sušárny můžeme také rozdělit podle jednotlivých typů:

- komorové sušárny se samovolnou cirkulací sušícího vzduchu
- komorové sušárny s nucenou cirkulací vzduchu
- komorové sušárny s nucenou cirkulací a se zabudovaným klimatizačním zařízením
- komorové sušárny s vysokou násypnou výškou vrstvy sušeného chmele

Žaluziové sušárny jsou sušárnami výškového typu, u kterých je ve spodní části topeniště na plyn nebo lehký topný olej. Nad tímto topeništěm v minimální vzdálenosti 6 m je vlastní sušící prostor, který představují sklopné žaluzie. U tohoto typu komorové sušárny je čerstvý chmel rozložen na nejvýše položenou sklopnou žaluzii až do doby, než dosáhne chtěného prosušení. Poté jsou chmelové hlávky sesypány na druhou sklopnou žaluzii a na první žaluzii je opět nasypán čerstvý chmel. Tento proces se opakuje do úplného zaplnění sušárny a konečného stupně vysušení chmelových hlávek. Vyprázdnění sušárny probíhá za pomoci vyprazdňovacích vozíků nebo nekonečně pohyblivých pásů. Po vyprázdnění ze sušárny následuje klimatizace chmelových hlávek, jejíž princip závisí na využití odpadního vzduchu odváděného ze sušárny. Odváděný vzduch se po průchodu vodní pračkou ochladí na teplotu 25 – 28 °C a zvlhčuje chmel po dobu 70 – 90 minut. [1]

4.3.2.3 Boxové komorové sušárny

Boxové sušárny (obr. 7) se od žaluziových sesypných komorových sušáren liší především konstrukčním řešením. Tento typ komorových sušáren je využíván především v zahraničí, a to konkrétně v USA nebo Německu. Jedná se o 1 – 3 komorové sušárny s posuvným a perforovaným dnem s doporučenou výškou vrstvy sušených chmelových hlávek 0,8 m. Teplota sušení se pohybuje v rozmezí od 55 °C do 60 °C. Doba zaplňování jedné ze sušících komor musí být co nejmenší, jelikož bylo zjištěno, že po určité době dojde k většímu prosušení chmelových hlávek, které byly do komory nasypány na začátku a přes tuto část začne unikat vzduch. Proto je doba zaplňování komory přibližně 20 – 30 minut a celková doba sušení v jedné komoře odpovídá 720 minutám. U těchto sušáren se suší na stupeň vysušení cca 9 – 10 % a po usušení se chmelové hlávky ihned lisují do pěstitelských hranolů. [5]



Obr. 7 Technologické schéma boxové komorové sušárny [4]

1 – 3 sušící komory, 2 – sušící síťové dopravníky, 3 – pásové dopravníky, 4 – posuvný pásový dopravník, 5 – rozvod sušícího vzduchu, 6 – přední čela sušících komor, 7 – příčný pásový dopravník, 8 – vynášecí kapsový dopravník, 9 – hranolový lis

Sušárna (obr. 7) obsahuje 3 sušící komory (1), které byly zhotoveny z úhelníkových profilů a tyto profily pak vyplněny dřevotřískovými deskami. Půdorysné rozměry sušících komor odpovídají 8 x 1,5 m a vrstva chmelových hlávek dosahuje výšky 0,8 m. Dno komor tvoří síťové dopravníky (2), které jsou využívány pro plnění i vyprazdňování sušících komor. Přisun čerstvého chmele zajišťují pásové dopravníky (3), které jsou umístěny kolmo na začátek sušících komor. Rozvod sušícího vzduchu je veden potrubím (5), které je umístěno pod sušícím síťovým dopravníkem. Po usušení dochází ke klimatizaci chmelových hlávek, která probíhá přirozeným způsobem. Chmelové hlávky se po usušení nechají po určitý čas ustálit tak, aby nabraly optimální vlhkost z okolní atmosféry. Po klimatizaci následuje vyprazdňování komor. Dochází k otevření předního čela (6) sušící komory a sušící síťový dopravník dopravuje suché chmelové hlávky na příčný pásový dopravník (7). Chmelové hlávky jsou následně vynášeny pomocí kapsového dopravníku (8) do hranolového lisu (9). [4]



Obr. 8 Sušicí komory ve Měsíci

4.3.3 Přehled horkovzdušných sušáren v České republice

V této kapitole je uveden přehled horkovzdušných sušáren v České republice (tab. 2) v jednotlivých chmelařských oblastech. Tato tabulka je důkazem toho, že v České republice skutečně převažují pásové sušárny nad komorovými sušárnami. Nejvíce vybudovaných pásových sušáren bylo typu PCHB 750 K, kterých je v České republice celkem 73. Zatímco mezi komorovými sušárnami dominuje typ 4KSCH, tj. čtyřkomorová žaluziová sesypná sušárna, důkazem je počet zkonstruovaných čtyřkomorových sušáren v České republice, který činí celkem 50 kusů. Po zkušenostech ze zahraničí (zejména USA) se začínají konstruovat boxové komorové sušárny, které jsou v České republice prozatím pouze v několika originálních provedeních. Celkem jsou prozatím zkonstruovány 3 boxové komorové sušárny, a to ve Měsíci (obr. 8), Modřanech a Stekničku.

Tab. 2 Přehled horkovzdušných sušáren v ČR

Oblast	SUŠÁRNY											
	Pásová						Komorová žaluziová <u>sesypná</u>					Komorová boxová
	Čačak	PSCH 325	PCHB 500 K	PCHB 750 K	TS5 - 051	TPD - K	1KSCH	2KSCH	3KSCH	4KSCH	8KSCH	
<u>Žatecká-Rakovnická</u>	6	6	1	46	15	1	9	8	2	44	2	3
<u>Tršická</u>	0	0	0	16	17	0	0	0	0	0	0	0
<u>Ústěcká</u>	3	1	0	11	6	0	2	2	3	6	0	0
Celkem	9	7	1	73	38	1	11	10	5	50	2	3
	129						78					3

5 Praktická část práce

5.1 Termín a podmínky měření

Měření na komorové sušárně WOLF v Libočanech probíhalo v prvních dvou případech během dvou dnů, výjimkou bylo třetí měření, u kterého délka měření odpovídala třem dnům. V prvním z nich byl změřen proces sušení v komorové sušárně a během druhého dne byly naměřeny hodnoty z uklidňovacích komor. Tato měření probíhala ve dnech 25. a 26. 8. 2019, druhé měření proběhlo ve dnech 27. a 28. 8. 2019 a třetí měření proběhlo ve dnech 31. 8. 2019, 1. a 2. 9. 2019.

5.2 Popis a metodika měření

V rámci měření byly využity datalogery VOLTcraft DL-121-TH a vlhkostní analyzátor Kern DBS 60-3.

5.2.1 Měření pomocí dataloggerů

Pro kontinuální měření relativní vlhkosti vzduchu a teploty ve vrstvě sušeného chmele byly použity datalogery VOLTcraft DL-121-TH (obr. 9). Datalogger je spolu se snímačem uložen v plastovém pouzdře a napájen vloženou baterií. Plastové pouzdro je opatřeno USB konektorem, přes který je možné importovat získaná data do počítače. U těchto dataloggerů je možné programovat interval ukládání dat, v našem měření byl použit interval 5 minut.



Obr. 9 Datalogger VOLTcraft DL-121-TH [8]

Pro ochranu před znečištěním lupulínem a mechanickým poškozením při prostupu sušárnou byly datalogery zafixovány do polyuretanové hmoty a vloženy do dvou nerezových polokulových sít (obr. 10). Tím byla zajištěna dostačující ochrana před

mechanickým poškozením a současně síta umožnila prostupu vzduch tak, aby nedocházelo ke zkreslení výsledných hodnot. Využití dataloggerů při tomto měření má obrovskou výhodu v tom, že dataloggery postupují spolu s chmelem sušárnou a snímají kontinuálně data o prostředí sušárny během celého procesu sušení.



Obr. 10 Uložení dataloggeru v ochranném síti

Do komorové sušárny WOLF byly úhlopříčně vloženy tři dataloggery na první žaluzii při třetím měření násypu. Tyto tři dataloggery byly vyjmuty po průchodu celou sušárnou, a to průběžně během vyprazdňování uklidňovací komory. Dalších pět dataloggerů bylo zavěšeno do uklidňovací komory, tak aby vždy jeden datalogger byl v měřeném násypu, který prošel přes všechny žaluzie sušící komory až do uklidňovací komory. Těchto pět dataloggerů bylo vyjmutu těsně před začátkem vyprazdňování uklidňovací komory. U každé manipulace s dataloggery byl zapsán datum a čas manipulace.

5.2.2 Laboratorní rozbor odebraných vzorků

Při laboratorním rozboru byla sledována vlhkost odebraných vzorků chmele. Nejdříve byla naměřena vlhkost celých chmelových hlávek a poté byly hlávky rozcupovány na lupínky a větýnka, u kterých byla posléze naměřena také vlhkost. Dalším krokem bylo porovnání naměřených hodnot s relativní vlhkostí sušícího media, která byla změřena pomocí

dataloggerů VOLTcraft DL-121-TH. Vzorky byly odebírány na předem stanovených místech. Prvním odběrovým místem byl plnicí pásový dopravník (obr. 11), který zajišťuje naplnění prázdné sušicí komory. Druhým odběrovým místem byla první žaluzie v komorové sušárně (obr. 12) a vzorek byl odebrán těsně před přesypáním chmele z první žaluzie na druhou. Třetím odběrovým místem byl tzv. vozík (obr. 13), ten představuje poslední vrstvu chmele sušeného v komoře. Vzorek byl odebrán po vyjetí vozíku ze sušárny a těsně před vyprázdněním vozíku do uklidňovací komory. Čtvrtým odběrovým místem byla uklidňovací komora (obr. 14), ve které byl vzorek odebrán při vyprazdňování komory těsně před lisováním do hranolů. Vlhkost chmele byla zjištěna za pomoci vlhkostního analyzátoru DBS 60-3 od firmy Kern (obr. 15).

Mezní hodnoty vlhkosti usušeného chmele:

- < 8 % - přesušený chmel
- 9 - 11 % - optimální hodnoty
- 11 - 12 % - akceptovatelná zvýšená vlhkost
- > 12 % - vysoká vlhkost, chmel musí být dosušen



Obr. 11 Šikmý plnicí dopravník

Na obr. 11 vidíme šikmý plnicí dopravník, který byl prvním odběrovým místem. Pomocí tohoto dopravníku je odebírán chmel ze zásobníku s mokrým (čerstvým) chmelem a zároveň plněna první žaluzie komorové sušárny po celé její ploše. Plnění sušicí komory chmelovými hlávkami je zcela automatické, což nám umožňuje nastavení výšky vrstvy chmelových hlávek v rozmezí od 300 mm do 400 mm. Během našich měření byla výška vrstvy chmelových hlávek nastavena na 340 mm po celé ploše první sklopné žaluzie.



Obr. 12 První žaluzie sušicí komory

Chmelové hlávky jsou na první sklopné žaluzii (obr. 12) sušeny po dobu 60 – 120 minut při teplotě 30 – 45 °C. Tato teplota se mění v průběhu sušení, při naplnění první sklopné žaluzie mokrým (čerstvým) chmelem o vlhkosti přibližně 70 % teplota sušicího prostředí odpovídá 30 °C. Teplota sušicího prostředí stoupá v průběhu sušení a nejvyšší je při sklápění první žaluzie, tedy přesunu chmelových hlávek z první sklopné žaluzie na druhou. Dalším důležitým údajem je relativní vlhkost sušicího prostředí, ta se pohybovala v rozmezí od 50 do 100 %. Nejvyšší relativní vlhkost byla při naplnění první sklopné žaluzie mokrým chmelem a v průběhu sušicího procesu klesala, tedy nejnižší byla při sklápění první sklopné žaluzie a následného přesunu chmele na druhou žaluzii.



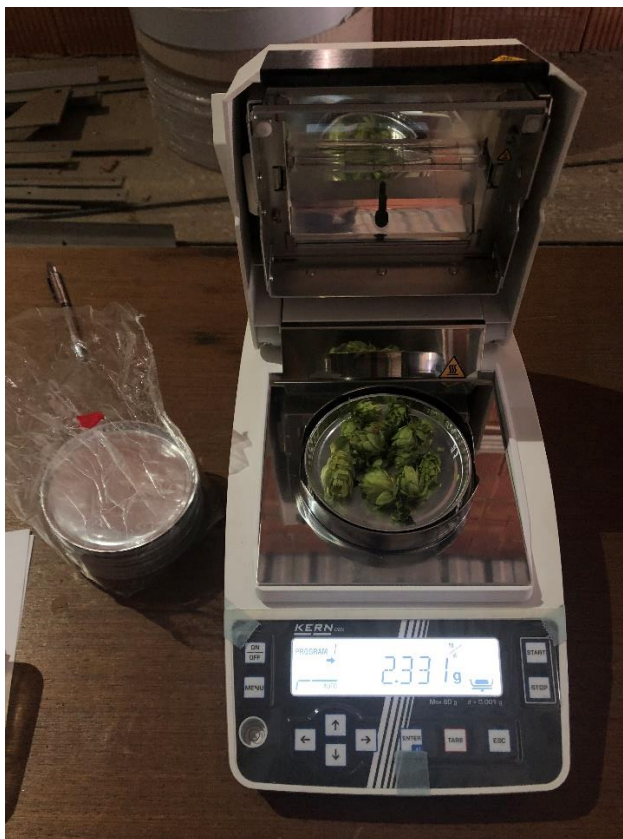
Obr. 13 Vyprazdňování sušicího vozíku a plnění uklidňovací komory

Na obr. 13 vidíme průběh vyprazdňování sušicího vozíku na plnicí pás. Nejdříve vyjede vozík ven ze sušárny, poté se vyprázdní chmelové hlávky z vozíku na plnicí pás a následně zajede vozík zpět do sušárny a započne plnění uklidňovací komory. Během tohoto plnění dochází k převrstvení chmelových hlávek a tím i k dosažení správné homogenity chmelových hlávek. Dojde k odstranění tzv. teplých míst, které se odstraní po přepadu z plnicí pásu do uklidňovací komory. Na obr. 14 můžeme vidět naplněnou uklidňovací komoru chmelovými hlávkami, uvnitř které dochází ke stabilizaci teploty a vlhkosti chmelových hlávek. Do uklidňovací komory je nejčastěji nasypano 6 vrstev (násypů) chmelových hlávek, ovšem v některých výjimkách bylo do uklidňovací komory nasypano i 7 vrstev (násypů) chmelových hlávek. Kromě stabilizačního procesu uvnitř uklidňovací komory dochází i k tzv. odpočinutí. Během času, při kterém chmelové hlávky leží uvnitř uklidňovací komory dochází ke stabilizaci teploty a vlhkosti chmelových hlávek na požadovanou hodnotu. Výsledná vlhkost chmelových hlávek se tedy pohybuje v rozmezí od 9 do 10,5 %.



Obr. 14 Uklidňovací komora

Na obr. 15 můžeme vidět moderní analyzátor vlhkosti Kern DBS 60-3, který disponuje 10 automatickými sekvencemi sušících programů a pamětí pro 100 provedených sušení. K sušení vzorků se používá halogenový zářič o výkonu 400 W. Délku sušení lze nastavit časově nebo lze navolit ukončení sušení při dosažení konstantní hmotnosti vzorku. V našem případě byla zvolena druhá možnost pro určení délky sušení. Oproti stávajícím vlhkoměrům, které využívá obsluha sušárny pro ověření vlhkosti usušených chmelových hlávek se analyzátor vlhkosti Kern DBS 60-3 osvědčil jako nejpresnější. Zatímco stávající vlhkoměry měří vlhkost pouze v rozmezí od 8 % do 16 %, tak moderní analyzátor vlhkosti Kern DBS 60-3 měří vzorky v celém rozsahu. Analyzátor vlhkosti změřil vzorky, které měly vlhkosti např. kolem 6 % nebo kolem 75 %. U těchto vzorků, které nespádaly do rozmezí 8 – 16 %, ukázaly stávající vlhkoměry chybu. Na základě těchto zjištění můžeme brát hodnotu ze stávajících vlhkoměrů pouze za informativní nikoliv přesnou.

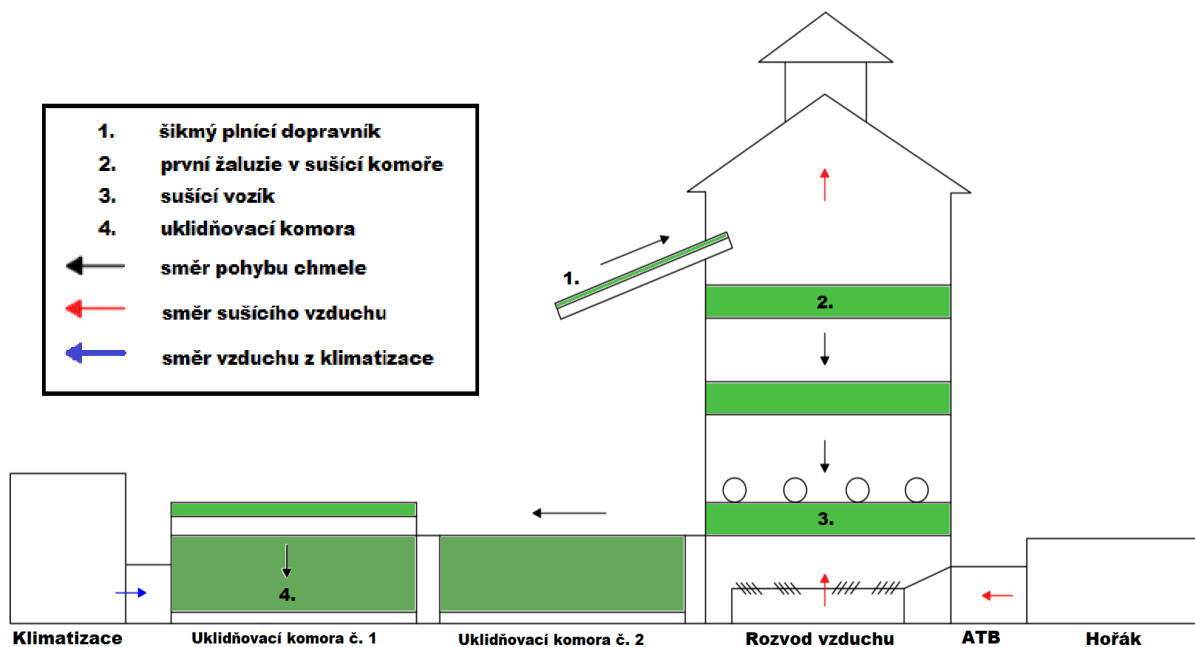


Obr. 15 Vlhkostní analyzátor Kern DBS 60-3

5.2.3 Popis a technologické schéma komorové sušárny WOLF

Technologické schéma a princip funkčnosti jsou zobrazeny v obr. 16. Černá šipka představuje pohyb chmele sušárnou, červená šipka představuje pohyb sušícího vzduchu a modrá šipka ukazuje pohyb vzduchu z klimatizace. Chmel je nejdříve dopraven pomocí šikmého dopravníku na první žaluzii, po dosažení relativní vlhkosti vzduchu cca 50 % je sesypán na druhou žaluzii. Po přiměřeném čase sušení je sesypán na vozíky. Ve vozíku je odporové lanko, které snímá hodnotu odporu. Když se hodnota dostane na 282,2, tak začne systém hlásit, že je nutné s vozíky vyjet ven. Za pomoci vozíku je chmel vysypán na plnicí dopravník, ze kterého je chmel vyprázdněn do uklidňovací komory. Uvnitř uklidňovací komory dochází k výsledné stabilizaci vlhkosti a teploty chmelových hlávek na požadovanou hodnotu. Sušící vzduch produkuje teplovzdušný agregát o výkonu 1480 kW. Díky boxu vzdušného víru ATB dochází k rovnoměrnému temperování vzduchového proudu směrem k sušárně. Tento proud vzduchu poté prochází sušící komorou od spodu směrem nahoru. Na střeše je zabudované střešní odvětrávání, pomocí kterého se dostává

sušící vzduch ven ze sušárny. Z klimatizace do uklidňovacích komor proudí směs tří složek vzduchu a vodní stěna. Doba provlhčování odpovídá 4 hodinám a poté se nechá chmel v klidu ležet. Následuje vyskladnění uklidňovací komory a posléze také lisování do hranolů.



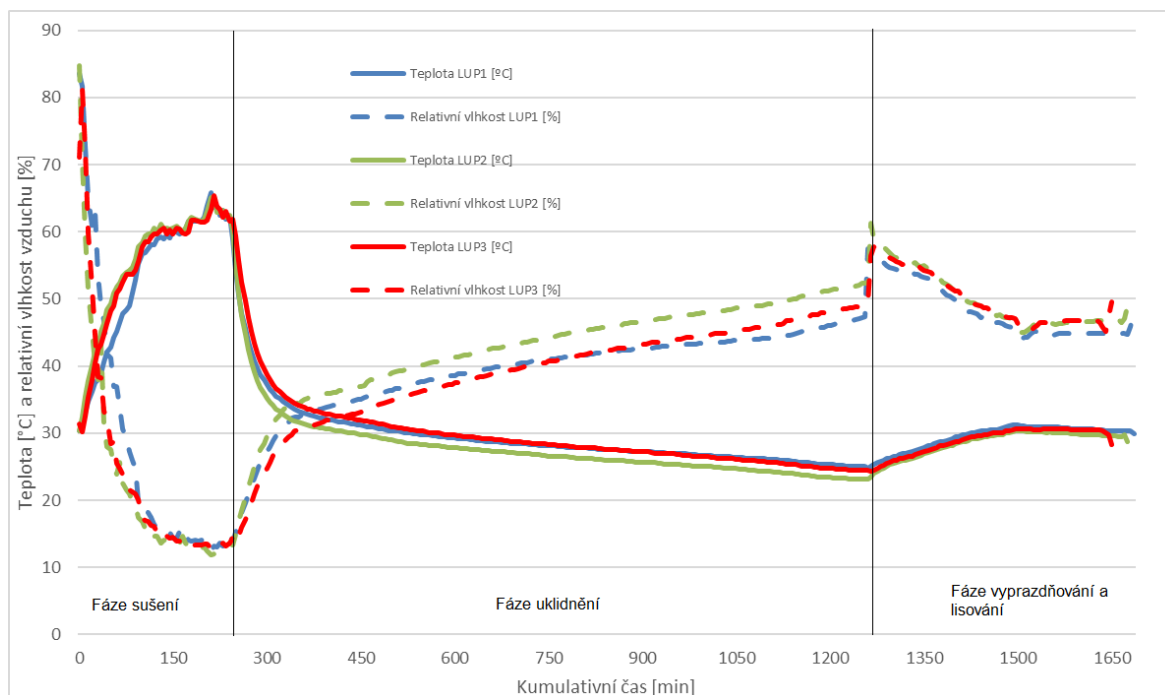
Obr. 16 Funkční schéma komorové sušárny WOLF

5.3 Výsledky měření

V této kapitole jsou popsány a zanalyzovány naměřené základní parametry, mezi které patří teplotní a vlhkostní parametry sušícího média a vlhkosti chmelových hlávek v průběhu celého procesu, tj. proces sušení a proces uklidňování. Z těchto zjištěných parametrů byla stanovena sušící a uklidňovací křivka.

5.3.1 První měření

Toto měření probíhalo ve dnech 25. 8. 2019 a 26. 8. 2019. V grafu (obr. 17) je zobrazen průběh naměřených hodnot ze tří dataloggerů úhlopříčně rozmístěných po celé šířce sušícího pásu v závislosti na čase měření. Čas měření představuje načítání času od nulové hodnoty v prvním odběrovém místě. Z grafu je patrné, že skokové změny na začátku představují teplotu, která byla naměřena uvnitř komorové sušárny. Poté následuje téměř vyrovnaný průběh, který představuje hodnoty naměřené v uklidňovací komoře.



Obr. 17 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření (LUP 1-3 - označení dataloggerů)

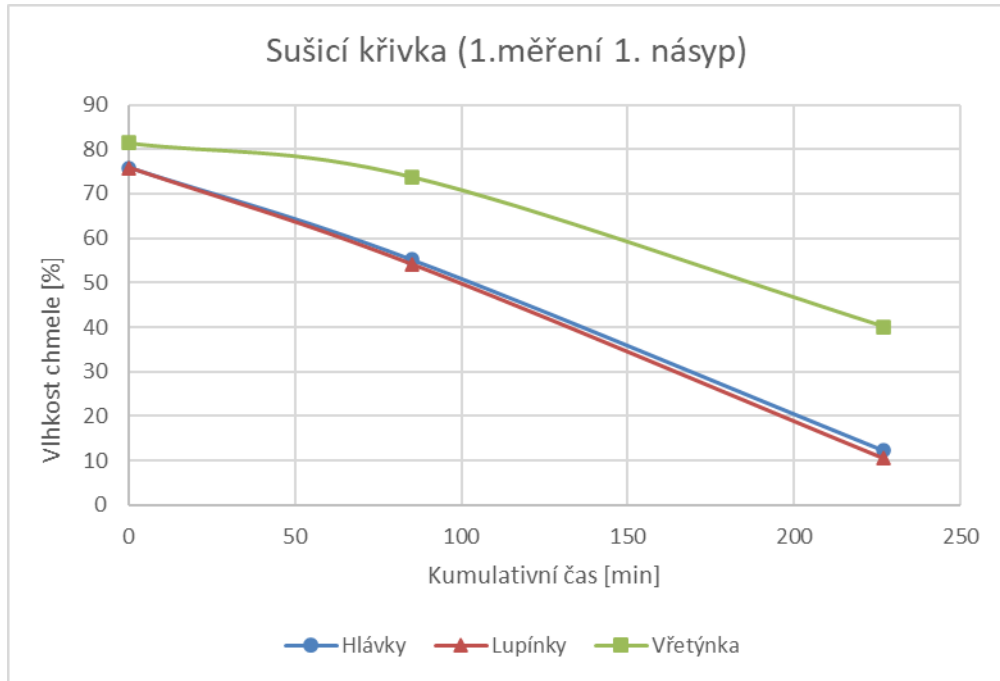
5.3.1.1 Vlhkost chmele v závislosti na čase měření

V této kapitole je popsán vztah vlhkosti chmele v závislosti na čase měření. Tomuto vztahu odpovídá tzv. sušicí křivka, která byla vytvořena zvlášť pro proces uvnitř sušicí komory a pro uklidňovací komoru.

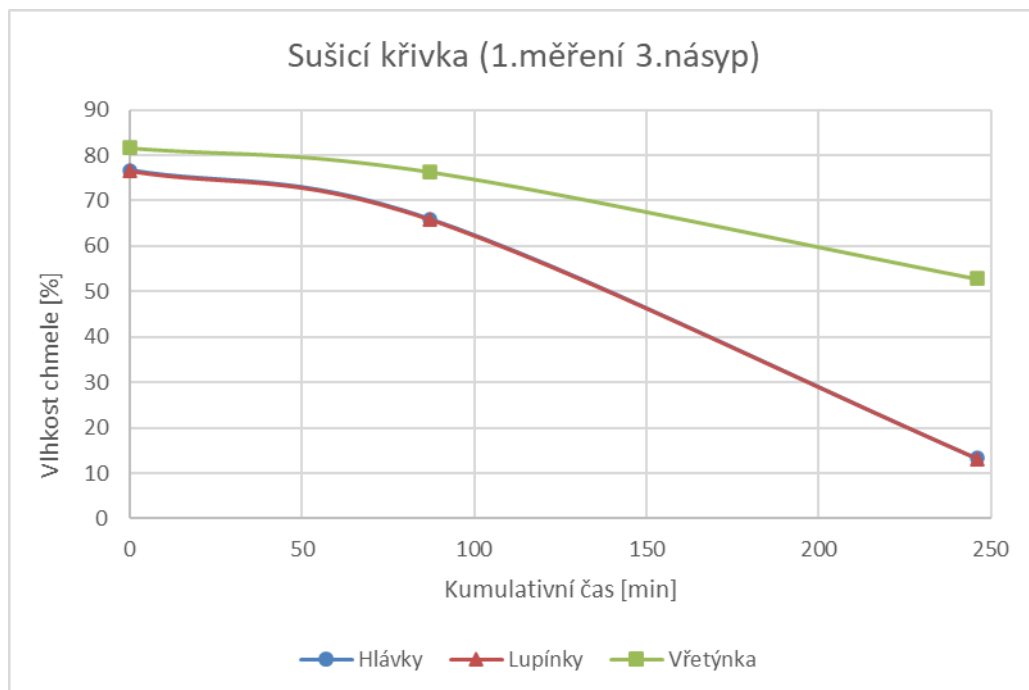
5.3.1.1.1 Sušicí křivky procesu sušení v komorové sušárně

Na obr. 18, 19 a 20 jsou zobrazeny sušicí křivky z provedených měření, ze kterých je možné posoudit vlhkostní vztah mezi celými hlávkami, lupínky a vřetýnky. Grafy a charakter sušících křivek vychází z tab. 1, ve které jsou uvedeny naměřené vlhkostní hodnoty pro celé hlávky, lupínky a vřetýnka. Grafy znázorňují pouze sušicí křivky pro sušicí proces v komorové sušárně. U 5. násypu (obr. 20) byla zkrácena doba sušení na první žaluzii o 30 min, a to kvůli zajištění plynulosti procesu česání chmele, neboť došlo k přeplnění dopravníku mokřím chmelem. Důsledkem přeplnění zásobníku mokřím

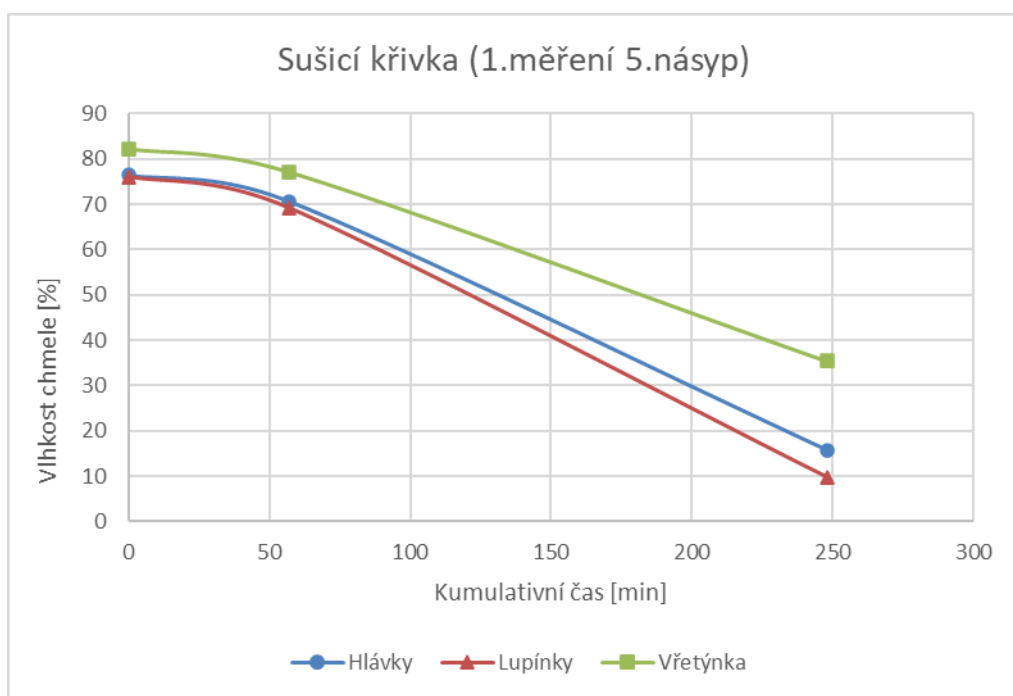
chmelem by bylo nucené zastavení česacího procesu a tím pádem i možné znehodnocení dovezeného mokrého chmele.



Obr. 18 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (1. násyp)



Obr. 19 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (3. násyp)



Obr. 20 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (5. násyp)

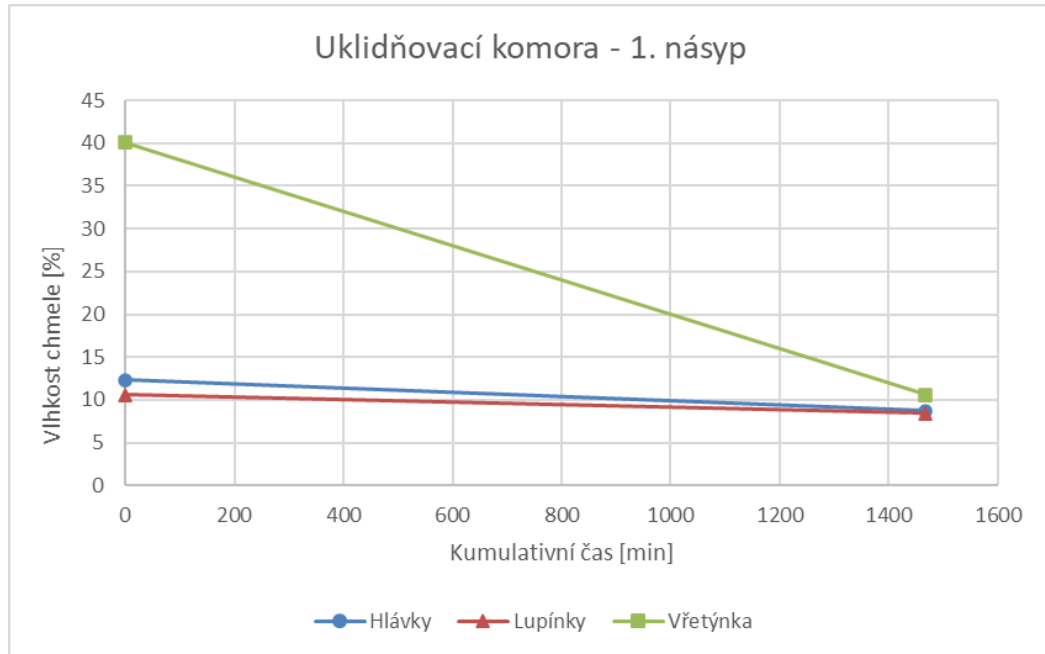
Tab. 3 Vlhkost chmelových hlávek, lupínků a vřetýnek v průběhu sušení

Místo odběru vzorku			Šikmý dopravník			První žaluzie			Vozík			Vyprazdňování uklidňovací komory (ZA = začátek ST = uprostřed KO = konec)		
												ZA	ST	KO
Typ vzorku (číslo násypu)			1	3	5	1	3	5	1	3	5	ZA	ST	KO
Čas měření		min	0	0	0	85	87	57	227	246	248	1375	1470	1560
Hlávky	Vlhkost	%	75,84	76,65	76,4	55,14	65,94	70,66	12,3	13,34	15,77	8,77	8,73	8,72
Lupínky	Vlhkost	%	75,81	76,49	76	54,16	65,84	69,14	10,58	13,15	9,87	8,63	8,19	8,54
Vřetýnka	Vlhkost	%	81,44	81,66	82,13	73,82	76,37	77,06	40,1	52,77	35,46	12,73	10,2	8,87

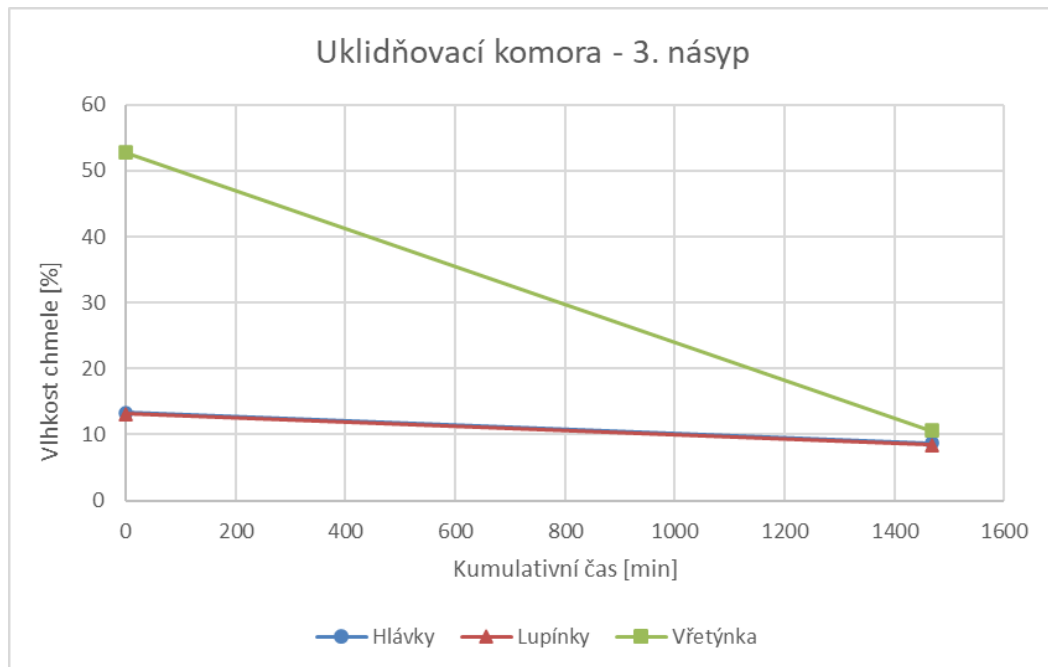
5.3.1.1.2 Křivky uklidňování chmele v uklidňovací komoře

Na obr. 21, 22 a 23 jsou zobrazeny křivky uklidňování chmele, ze kterých je možné posoudit vlhkosní vztah mezi celými hlávkami, lupínky a vřetýnky v uklidňovací komoře. Grafy a charakter křivek vychází z tab. 1, ve které jsou naměřené vlhkosní hodnoty pro celé hlávky, lupínky a vřetýnka. Grafy znázorňují pouze křivky pro uklidňovací komoru. Počáteční bod znázorňuje hodnotu odebraného vzorku ze sušícího vyprazdňovacího vozíku

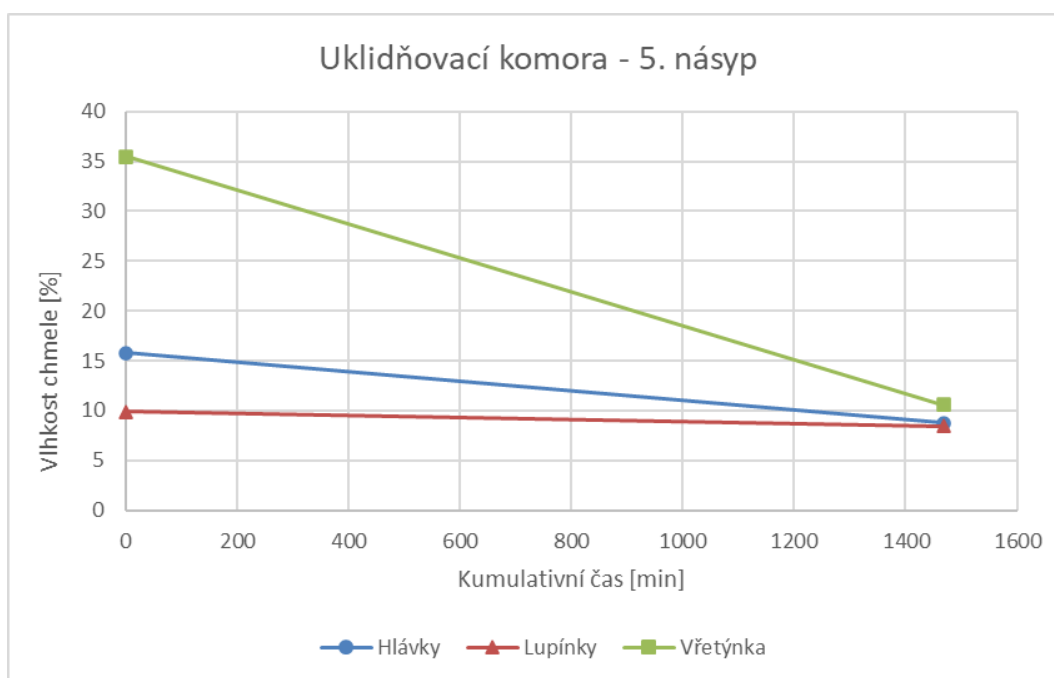
a výsledný bod představuje průměr ze tří odebraných vzorků, které byly odebrány na začátku, uprostřed a na konci vyprazdňování uklidňovací komory.



Obr. 21 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (1. násyp)



Obr. 22 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (3. násyp)

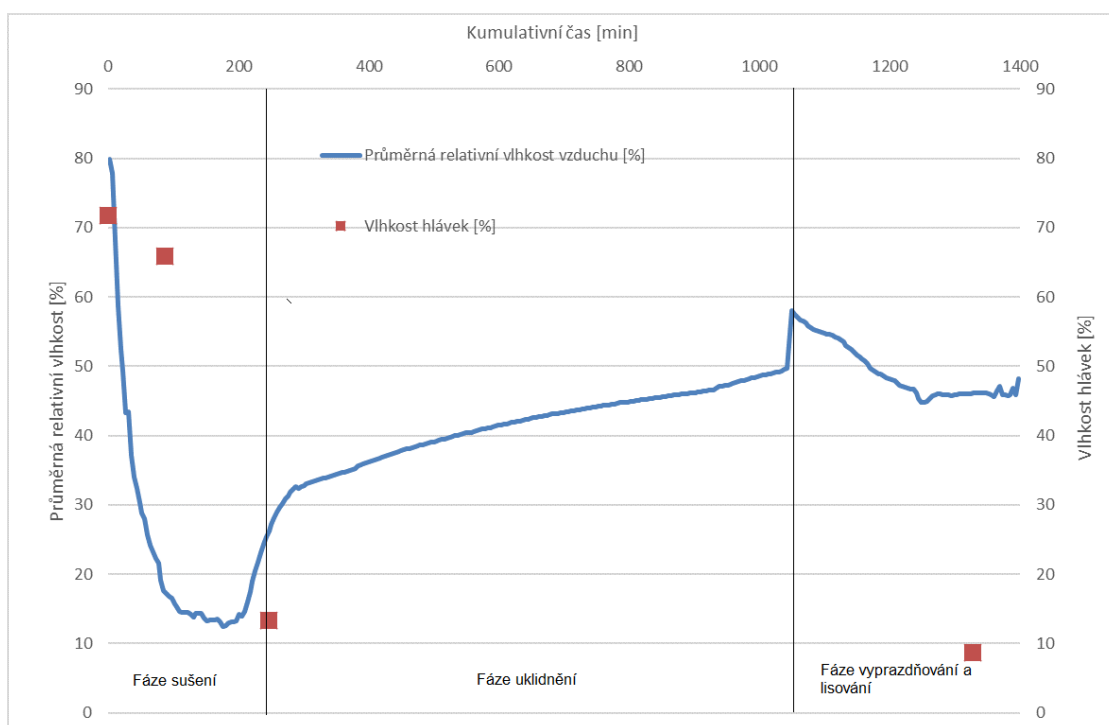


Obr. 23 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (5. násyp)

Do uklidňovací komory je nejčastěji nasypáno šest vrstev (násypů) chmelových hlávek, ovšem v některých výjimkách bylo do uklidňovací komory nasypáno i sedm vrstev (násypů) chmelových hlávek. U prvního měření byla uklidňovací komora naplněna přesně šesti vrstvami násypů. Během času, při kterém chmelové hlávky leží uvnitř uklidňovací komory dochází ke stabilizaci teploty a vlhkosti chmelových hlávek na požadovanou hodnotu. Výsledná vlhkost chmelových hlávek se tedy pohybuje v rozmezí 9 – 10,5 %. Kromě stabilizačního procesu uvnitř uklidňovací komory dochází i k tzv. odpočinutí.

5.3.1.2 Porovnání vlhkosti chmele a relativní vlhkosti vzduchu v průběhu celého procesu sušení

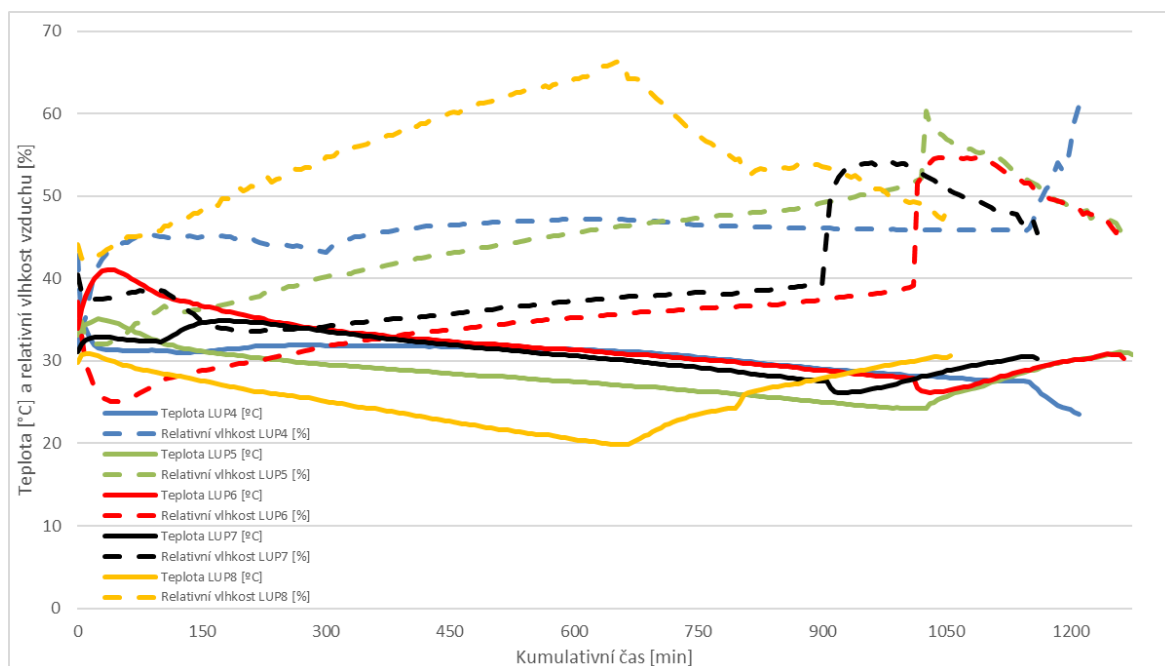
Pro grafické vyjádření (obr. 24) byla z hodnot relativních vlhkostí vzduchu dataloggerů č. 1, 2 a 3 stanovena průměrná hodnota a výsledek porovnán s výsledky laboratorních rozborů vlhkosti chmele. Z grafu vyplývá, že během procesu sušení klesne vlhkost hlávek o cca 60 % a že nasycenost vzduchu přibližně kopíruje vlhkosti chmele. Po vyprázdnění chmele z komorové sušárny do uklidňovací komory se následně vlhkost chmele dostává na požadovanou hodnotu.



Obr. 24 Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí vzduchu a vlhkostí chmelových hlávek v závislosti na čase měření (komorová sušárna + uklidňovací komora)

5.3.1.3 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře

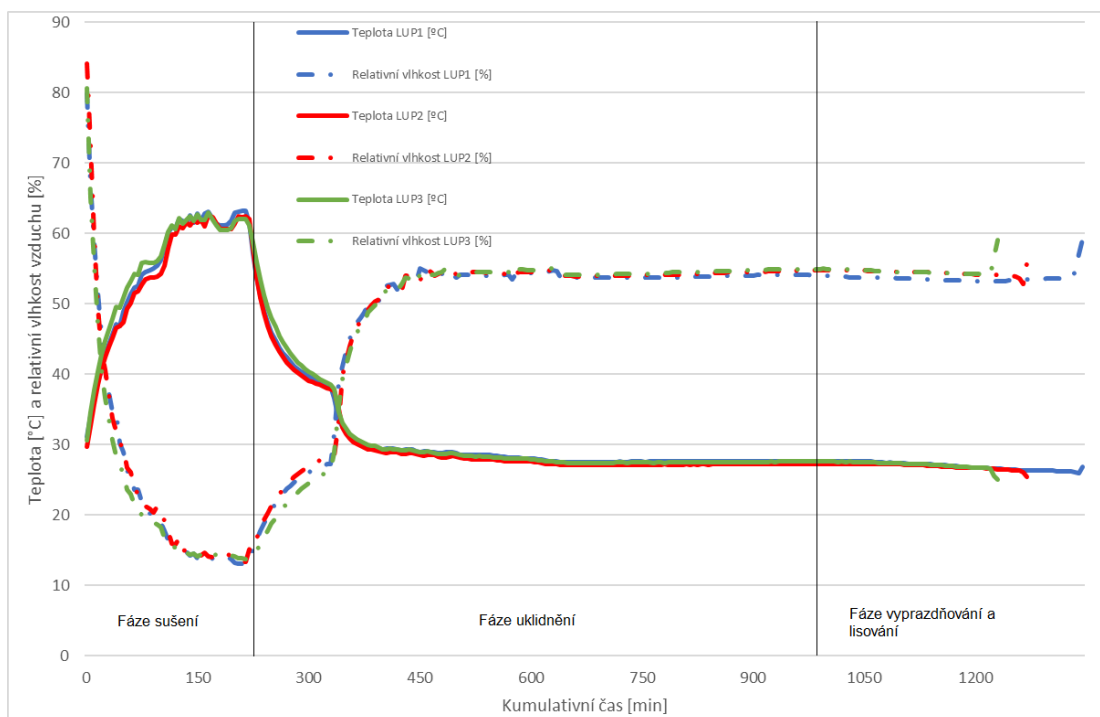
Na obr. 25 lze vidět grafické vyjádření závislosti teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření. Hodnota teploty a relativní vlhkosti vzduchu byla snímána za pomoci dataloggerů č. 4, 5, 6, 7 a 8, přičemž každý datalogger byl vložen do vlastního násypu při vyprazdňování chmele do uklidňovací komory. Datalogger č. 4 byl umístěn do prvního (nejspodnějšího) násypu, datalogger č. 5 bylo vložen do druhého násypu, datalogger č. 6 byl umístěn do třetího násypu, datalogger č. 7 byl vložen do čtvrtého násypu a datalogger č. 8 byl umístěn do pátého násypu. Na obr. 25 můžeme vidět, že průběh teplotních křivek, který se pohybuje v rozmezí 20 – 30°C, je téměř totožný u všech dataloggerů. Zatímco hodnota relativní vlhkosti vzduchu je nejvyšší ve vrchním násypu a nejnižší ve dvou prostředních násypech.



Obr. 25 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře

5.3.2 Druhé měření

Měření bylo provedeno na totožné komorové sušárně jako tomu bylo u prvního měření. Stejně jako u prvního měření probíhalo druhé měření během dvou dnů, a to ve dnech 27. 8. 2019 a 28. 8. 2019. Obdobně jako u prvního měření je na grafu (obr. 26) zobrazen průběh naměřených hodnot z dataloggerů č. 1, 2 a 3 úhlopříčně rozmístěných po celé šířce první sušící žaluzie v závislosti na čase měření. Čas měření představuje načítání času od nulové hodnoty v prvním odběrovém místě. Celý proces byl stejně jako u prvního měření rozdělen do tří fází. Z grafu je patrné, že skokové změny na začátku představují teplotu, která byla naměřena uvnitř komorové sušárny. Tato část grafu patří do fáze první, tedy do fáze sušení. Poté následuje téměř vyrovnaný průběh, který představuje hodnoty naměřené v uklidňovací komoře. Tato další část je rozdělena do dvou fází, tedy do fáze uklidnění a do fáze vyprazdňování a lisování. Nejdříve dochází k nárůstu relativní vlhkosti vzduchu na cca 55 % a k poklesu teploty sušícího vzduchu na cca 27 °C. Následuje postupné ustálení obou hodnot a dochází k výsledné stabilizaci a uklidnění chmelových hlávek.



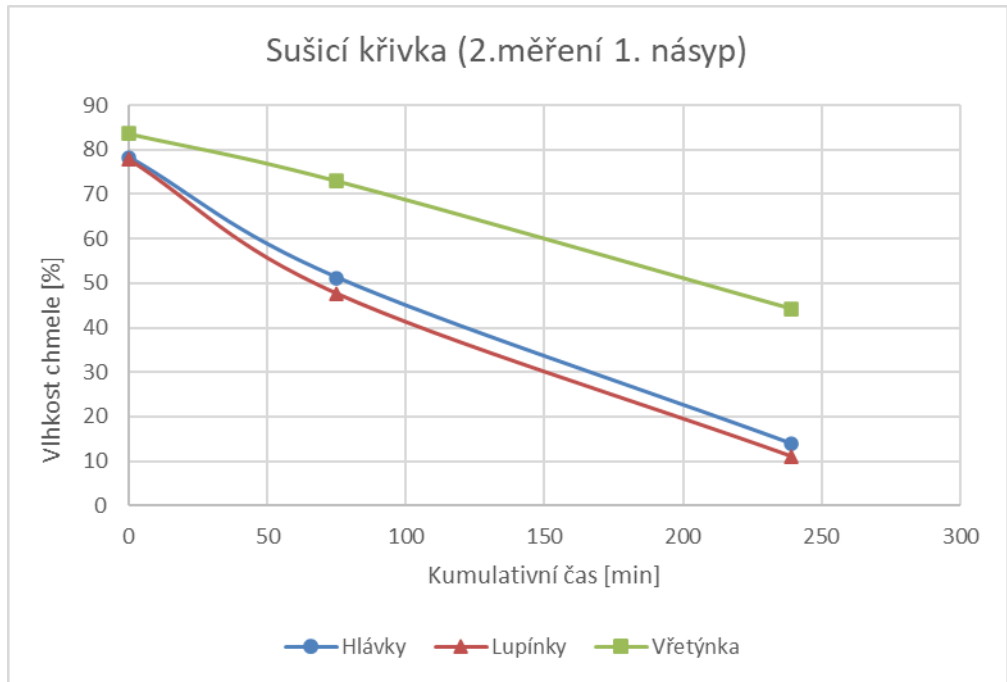
Obr. 26 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření (LUP 1-3 - označení dataloggerů)

5.3.2.1 Vlhkost chmele v závislosti na čase měření

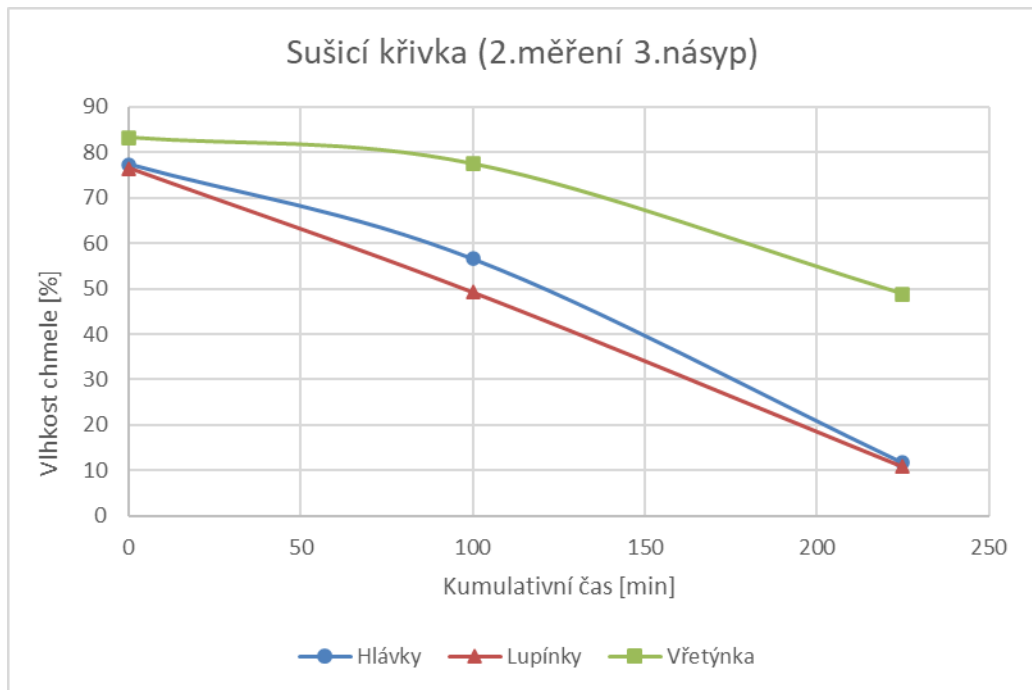
Jako tomu bylo u prvního měření je v této kapitole popsán vztah vlhkosti chmele v závislosti na čase měření. Tomuto vztahu odpovídá tzv. sušicí křivka, která byla vytvořena zvláště pro proces uvnitř sušicí komory a pro uklidňovací komoru.

5.3.2.1.1 Sušicí křivky procesu sušení v komorové sušárně

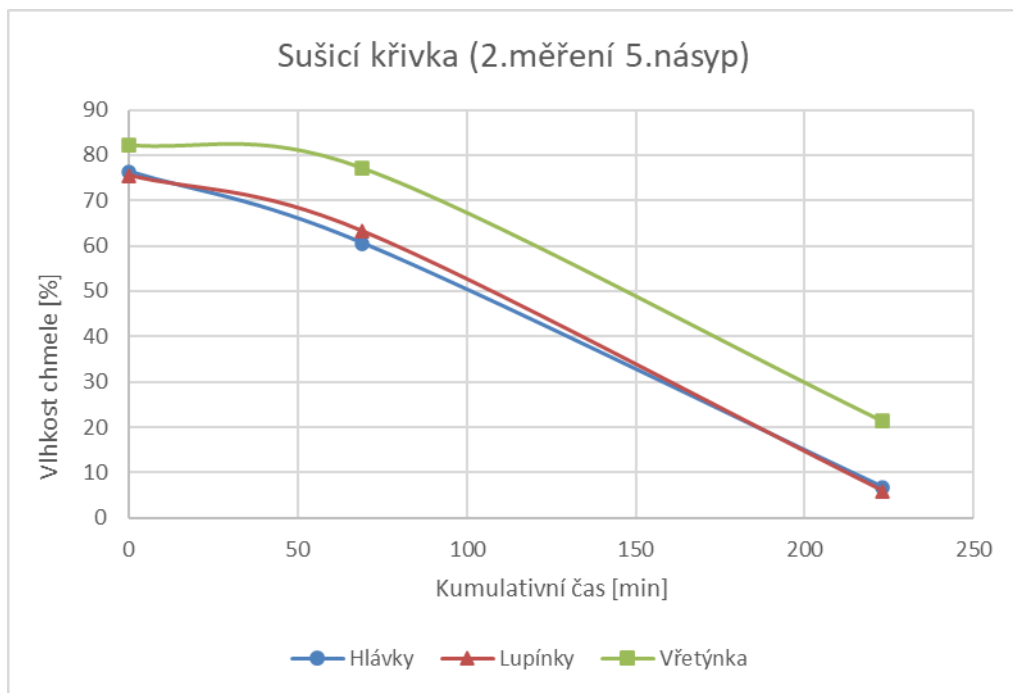
Obdobně jako u prvního měření jsou na obr. 27, 28 a 29 zobrazeny sušicí křivky z provedených měření, ze kterých je možné posoudit vlhkostní vztah mezi celými hlávkami, lupínky a větýnky. Grafy a charakter sušicích křivek vychází z tab. 4, ve které jsou uvedeny naměřené vlhkostní hodnoty pro celé hlávky, lupínky a větýnka. Grafy znázorňují pouze sušicí křivky pro sušicí proces v komorové sušárně. Grafy mají velmi podobný průběh jako tomu bylo u prvního měření. Výjimkou je pouze násyp č. 5, kde došlo k přesušení hlávek na hodnotu 6,74 %. Důvodem tohoto přesušení byla zaseknutá druhá žaluzie v sušicí komoře.



Obr. 27 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (1. násyp)



Obr. 28 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (3. násyp)



Obr. 29 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (5. násyp)

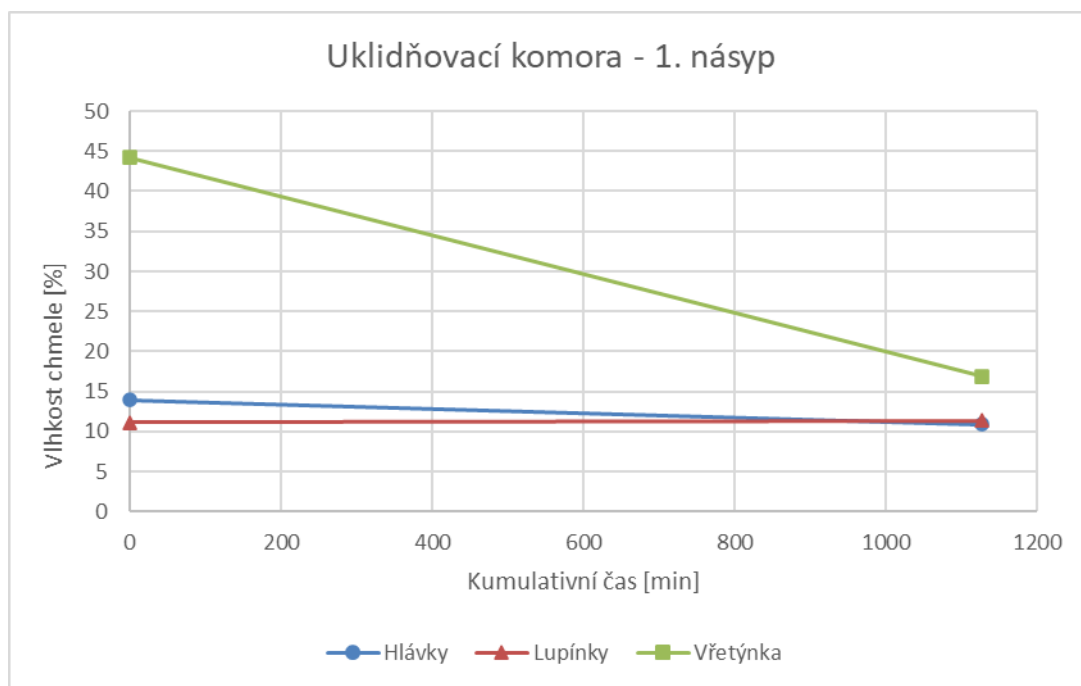
Tab. 4 Vlhkost chmelových hlávek, lupínků a vřetýnek v průběhu sušení

Místo odběru vzorku			Šikmý dopravník			První žaluzie			Vozík			Vyprazdňování uklidňovací komory (ZA = začátek, ST = uprostřed, KO = konec)		
			1	3	5	1	3	5	1	3	5	ZA	ST	KO
Typ vzorku (číslo násypu)			1	3	5	1	3	5	1	3	5	ZA	ST	KO
Čas měření		min	0	0	0	75	100	69	239	225	223	1360	1450	1540
Hlávky	Vlhkost	%	78,22	77,35	76,31	51,24	56,52	60,55	13,98	11,66	6,74	11,05	10,38	11,23
Lupínky	Vlhkost	%	77,87	76,45	75,50	47,71	49,17	63,21	11,11	10,89	5,96	10,26	10,24	11,69
Vřetýnka	Vlhkost	%	83,65	83,17	82,20	73,01	77,39	77,07	44,23	48,85	21,33	14,28	12,50	20,78

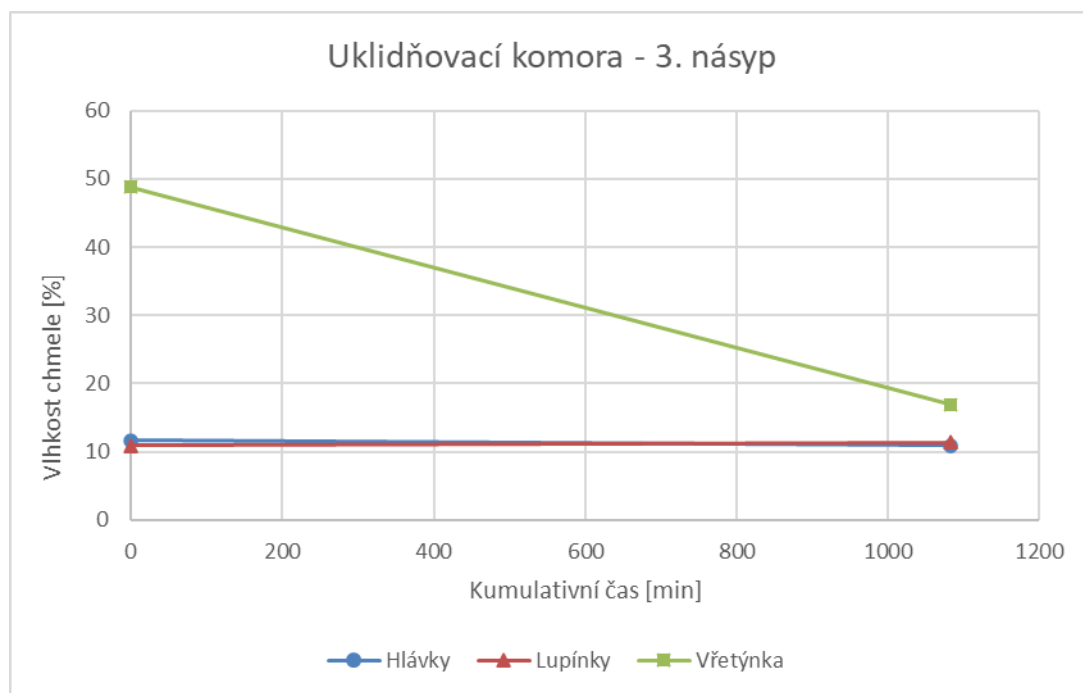
5.3.2.1.2 Křivky uklidňování chmele v uklidňovací komoře

Stejně jako tomu bylo u prvního měření jsou na obr. 30, 31 a 32 zobrazeny křivky uklidňování chmele, ze kterých je možné posoudit vlhkostní vztah mezi celými hlávkami, lupínky a vřetýnky v uklidňovací komoře. Grafy a charakter křivek vychází z tab. 4, ve které jsou naměřené vlhkostní hodnoty pro celé hlávky, lupínky a vřetýnka. Grafy znázorňují pouze křivky pro uklidňovací komoru a mají obdobný průběh jako křivky v prvním měření. Počáteční bod znázorňuje hodnotu odebraného vzorku ze sušícího

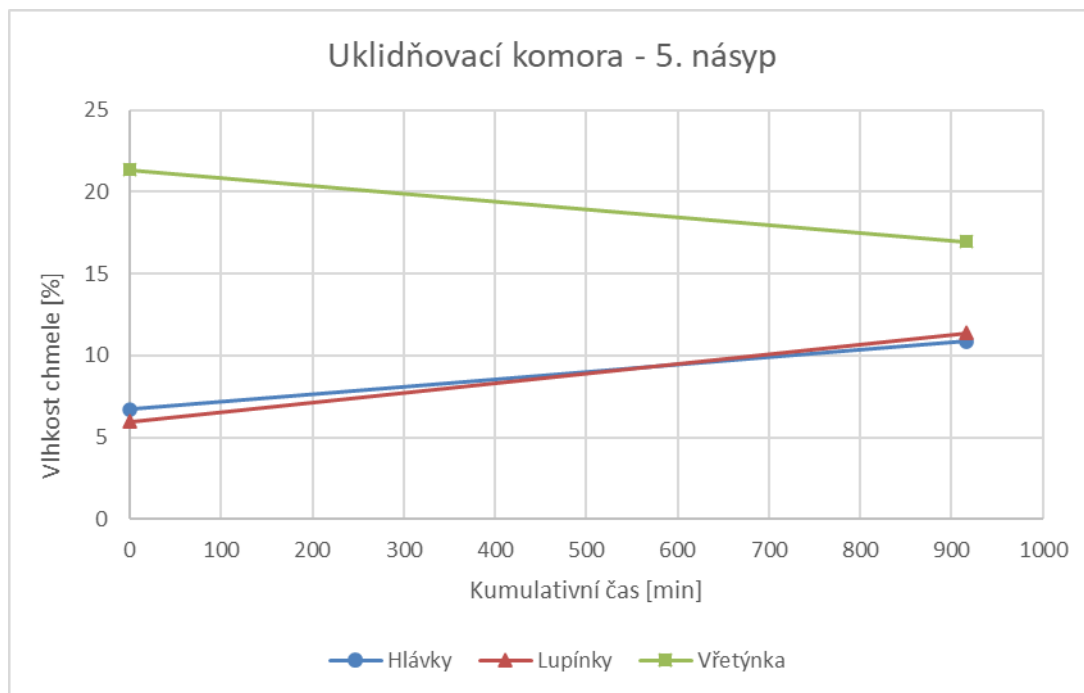
vyprazdňovacího vozíku a výsledný bod představuje průměr ze tří odebraných vzorků, které byly odebrány na začátku, uprostřed a na konci vyprazdňování uklidňovací komory.



Obr. 30 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (1. násyp)



Obr. 31 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (3. násyp)

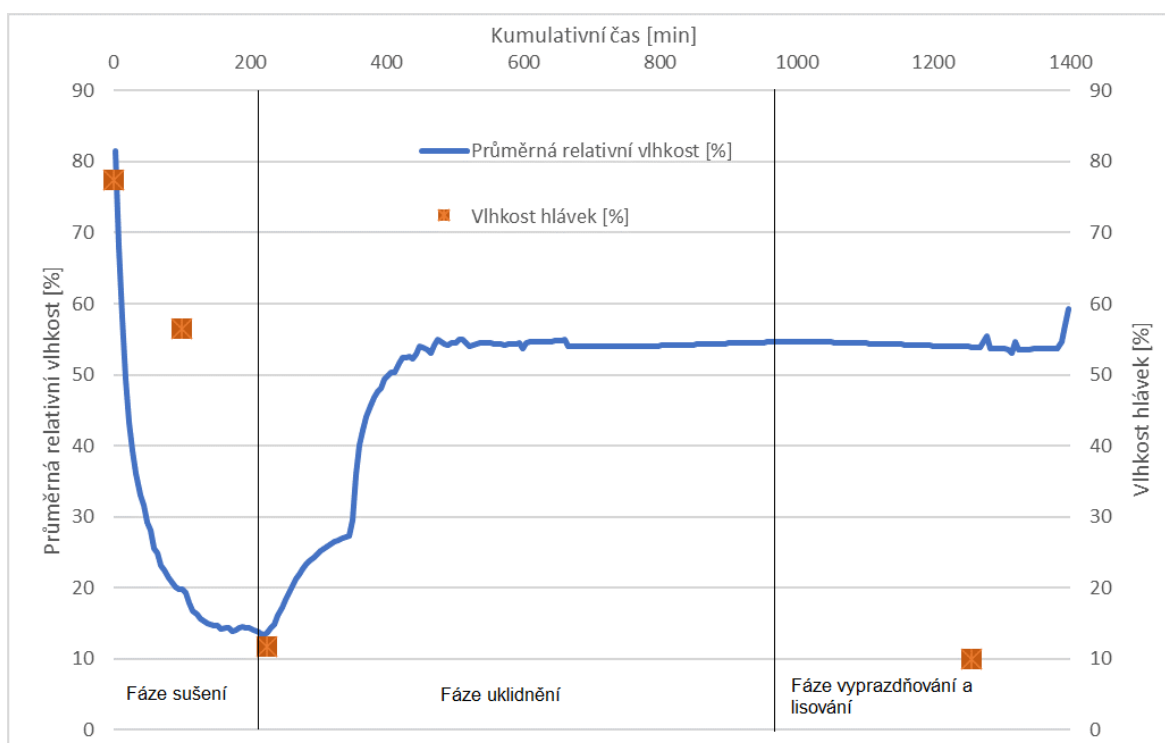


Obr. 32 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (5. násyp)

Stejně jako u prvního měření byla uklidňovací komora naplněna šesti vrstvami násypů chmelových hlávek. Během času, při kterém chmelové hlávky leží uvnitř uklidňovací komory dochází ke stabilizaci teploty a vlhkosti chmelových hlávek na požadovanou hodnotu. Výsledná vlhkost chmelových hlávek se tedy pohybuje v rozmezí 9 – 10,5 %. Kromě stabilizačního procesu uvnitř uklidňovací komory dochází i k tzv. odpočinutí. Na obr. 32 je vidět, že i po předešlém přesušení v sušící komoře se vlhkost hlávek, lupínků i vřetýnek dostane na požadovanou hodnotu.

5.3.2.2 Porovnání vlhkosti chmele a relativní vlhkosti vzduchu v průběhu celého procesu sušení

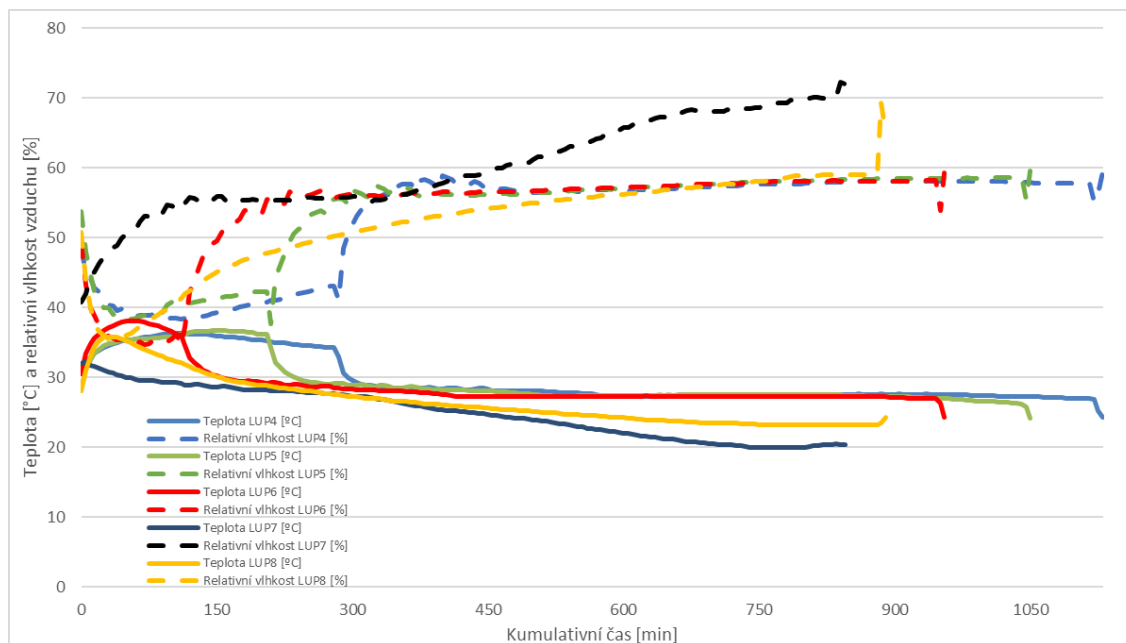
Pro grafické vyjádření (obr. 33) byla z hodnot relativních vlhkostí vzduchu tří dataloggerů stanovena průměrná hodnota a výsledek porovnán s výsledky laboratorních rozborů vlhkosti chmele. Grafický průběh se přibližně shoduje s prvním měřením (obr. 24). Graf potvrzuje, že během procesu sušení klesne vlhkost hlávek o cca 60 %. Relativní vlhkost prudce klesá v prvních 200 minutách, tato délka odpovídá sušení chmele v sušící komoře. Po vyprázdnění chmele do uklidňovací komory začne relativní vlhkost stoupat až do chvíle, kdy dojde k ustálení na hodnotě přibližně 55 %.



Obr. 33 Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí vzduchu a vlhkostí chmelových hlávek v závislosti na čase měření

5.3.2.3 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře

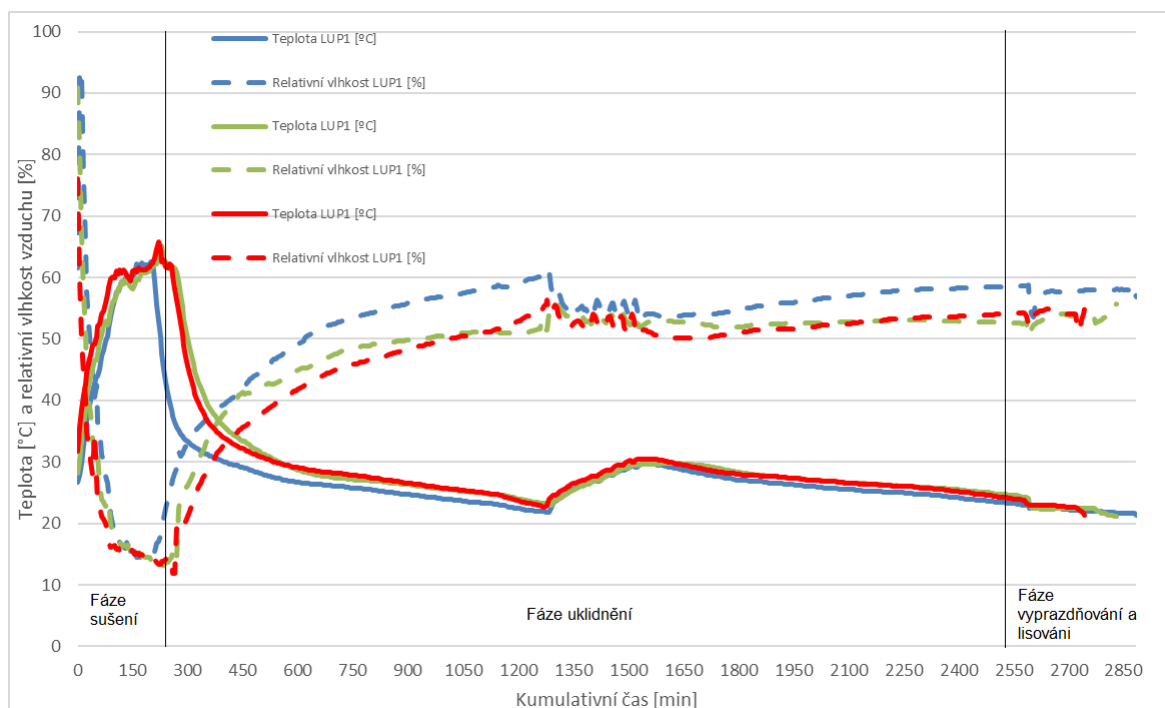
Obdobně jako u první měření můžeme na obr. 34 vidět grafické vyjádření závislosti teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření. Hodnota teploty a relativní vlhkosti vzduchu byla snímána za pomoci dataloggerů č. 4, 5, 6, 7 a 8, přičemž každý datalogger byl vložen do vlastního násypu při vyprazdňování chmele do uklidňovací komory. Datalogger č. 4 byl umístěn do prvního (nejspodnějšího) násypu, datalogger č. 5 bylo vložen do druhého násypu, datalogger č. 6 byl umístěn do třetího násypu, datalogger č. 7 byl vložen do čtvrtého násypu a datalogger č. 8 byl umístěn do pátého násypu. Na obr. 34 můžeme vidět, že průběh teplotních křivek, který se pohybuje v rozmezí 20 – 30 °C, je téměř totožný u všech dataloggerů. Zatímco hodnota relativní vlhkosti vzduchu se pohybuje v rozmezí 50 – 70 %. Nejvyšší hodnota relativní vlhkosti vzduchu patří vrchním dvou násypům.



Obr. 34 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře

5.3.3 Třetí měření

Měření bylo provedeno na totožné komorové sušárně jako tomu bylo u prvních dvou měření. Oproti prvním dvou měřením probíhalo třetí měření během tří dnů, a to ve dnech 30. 8. 2019, 31. 8. 2019 a 1. 9. 2019. Obdobně jako u prvních dvou měření je na grafu (obr. 35) zobrazen průběh naměřených hodnot z dataloggerů č. 1, 2 a 3 úhlopříčně rozmístěných po celé šířce první sušící žaluzie v závislosti na čase měření. Čas měření představuje načítání času od nulové hodnoty v prvním odběrovém místě. Celý proces byl stejně jako u prvních dvou měření rozdělen do tří fází. Z grafu je patrné, že skokové změny na začátku představují teplotu, která byla naměřena uvnitř komorové sušárny. Tato část grafu patří do fáze první, tedy do fáze sušení. Poté následuje téměř vyrovnaný průběh, který představuje hodnoty naměřené v uklidňovací komoře. Tato další část je rozdělena do dvou fází, tedy do fáze uklidnění a do fáze vyprazdňování a lisování. Nejdříve dochází k nárůstu relativní vlhkosti vzduchu na cca 55 % a k poklesu teploty sušícího vzduchu na cca 27 °C. Následuje postupné ustálení obou hodnot a dochází k výsledné stabilizaci a uklidnění chmelových hlávek.



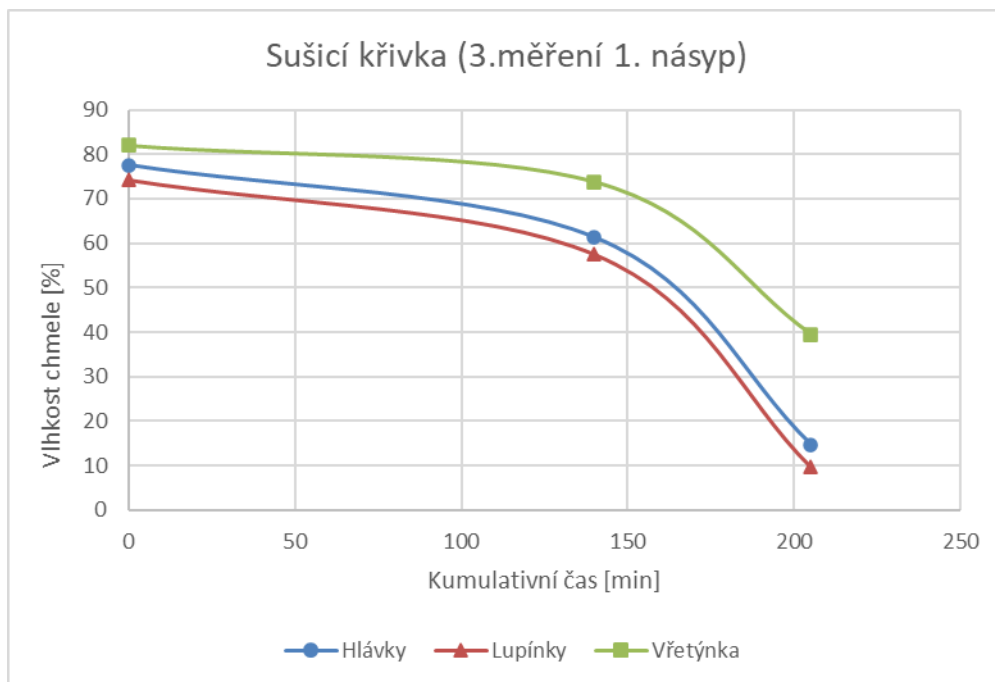
Obr. 35 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření (LUP 1-3 - označení dataloggerů)

5.3.3.1 Vlhkost chmele v závislosti na čase měření

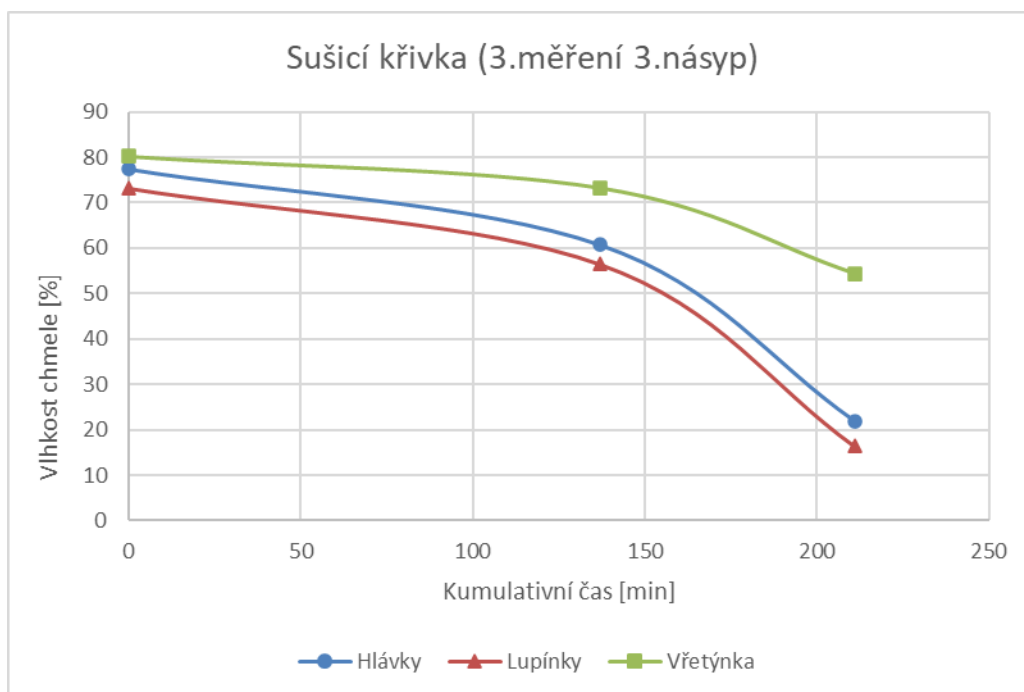
Obdobně jako u předešlých dvou měření je v této kapitole popsán vztah vlhkosti chmele v závislosti na čase měření. Tomuto vztahu odpovídá tzv. sušicí křivka, která byla vytvořena zvlášť pro proces uvnitř sušicí komory a pro uklidňovací komoru.

5.3.3.1.1 Sušicí křivky procesu sušení v komorové sušárně

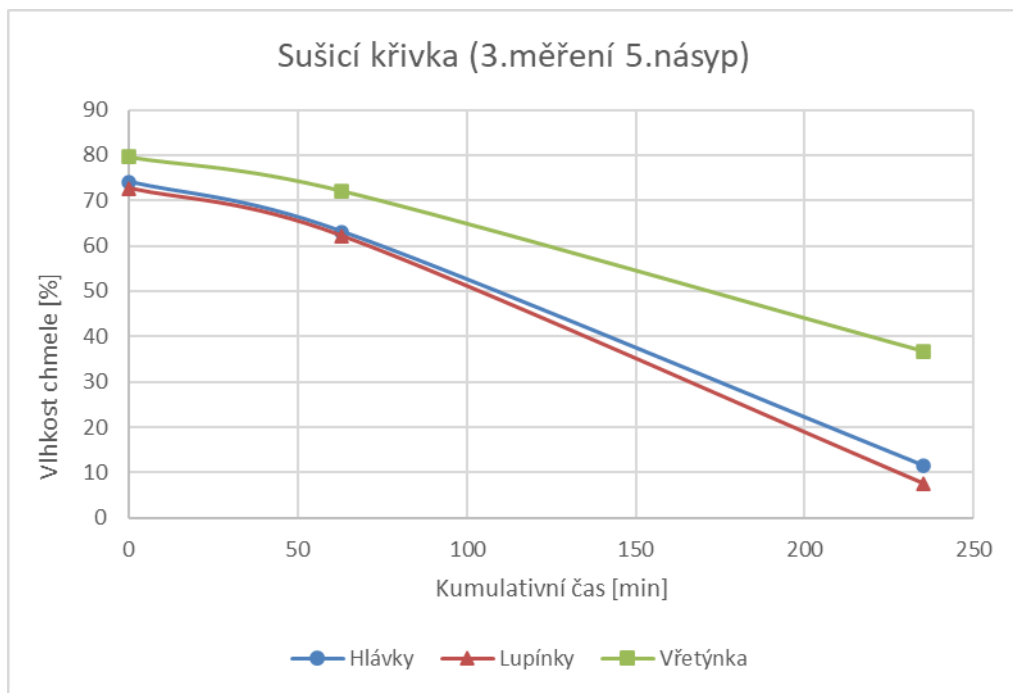
Stejně jako u předešlých dvou měření jsou na obr. 36, 37 a 38 zobrazeny sušicí křivky z provedených měření, ze kterých je možné posoudit vlhkovostní vztah mezi celými hlávkami, lupínky a vřetýnky. Grafy a charakter sušicích křivek vychází z tab. 5, ve které jsou uvedeny naměřené vlhkovostní hodnoty pro celé hlávky, lupínky a vřetýnka. Grafy znázorňují pouze sušicí křivky pro sušicí proces v komorové sušárně. Průběh grafů je prakticky totožný jako u prvních dvou měření s výjimkou třetího násypu, u kterého nedošlo k potřebnému prosušení. Důvodem bylo dřívější vyprázdnění vozíku obsluhou sušárny.



Obr. 36 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (1. násyp)



Obr. 37 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (3. násyp)



Obr. 38 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (5. násyp)

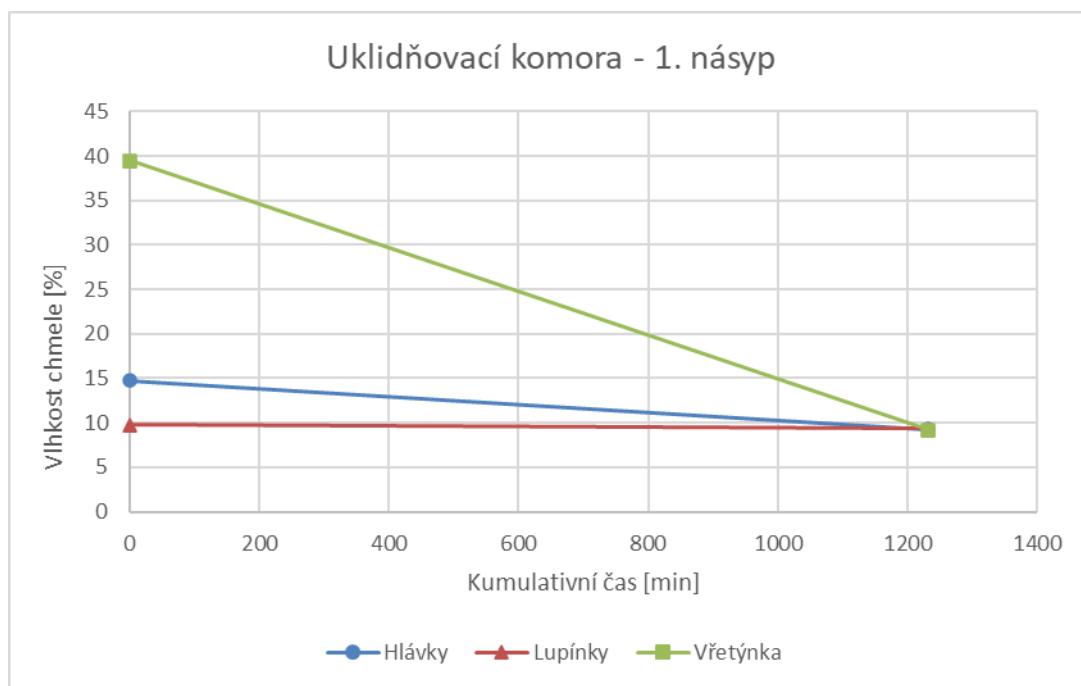
Tab. 5 Vlhkost chmelových hlávek, lupínků a vřetýnek v průběhu sušení

Místo odběru vzorku			Šikmý dopravník			První žaluzie			Vozík			Vyprazdňování uklidňovací komory (ZA = začátek, ST = uprostřed, KO = konec)		
			1	3	5	1	3	5	1	3	5	ZA	ST	KO
Typ vzorku (číslo násypu)			1	3	5	1	3	5	1	3	5	ZA	ST	KO
Čas měření		min	0	0	0	140	137	63	205	211	235	2450	2640	2730
Hlávky	Vlhkost	%	77,59	77,38	74,05	61,31	60,69	63,08	14,78	21,87	11,57	9,57	8,83	9,40
Lupínky	Vlhkost	%	74,29	73,1	72,63	57,54	56,44	62,14	9,74	16,47	7,68	9,66	8,88	9,41
Vřetýnka	Vlhkost	%	82,08	80,22	79,54	73,86	73,25	72,09	39,46	54,32	36,81	9,09	8,87	9,60

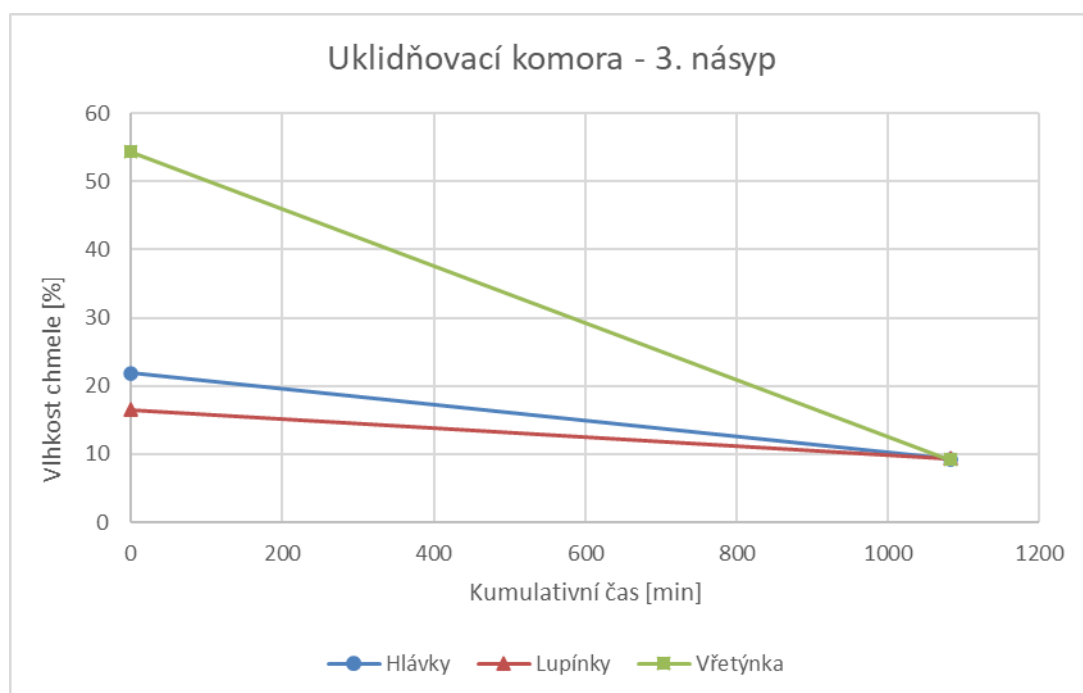
5.3.3.1.2 Křivky uklidňování chmele v uklidňovací komoře

Stejně jako u předešlých dvou měření jsou na obr. 39, 40 a 41 zobrazeny křivky uklidňování chmele, ze kterých je možné posoudit vlhkostní vztah mezi celými hlávkami, lupínky a vřetýnky v uklidňovací komoře. Grafy a charakter křivek vychází z tab. 5, ve které jsou naměřené vlhkostní hodnoty pro celé hlávky, lupínky a vřetýnka. Grafy znázorňují pouze křivky pro uklidňovací komoru. Počáteční bod znázorňuje hodnotu odebraného vzorku ze sušícího vyprazdňovacího vozíku a výsledný bod představuje

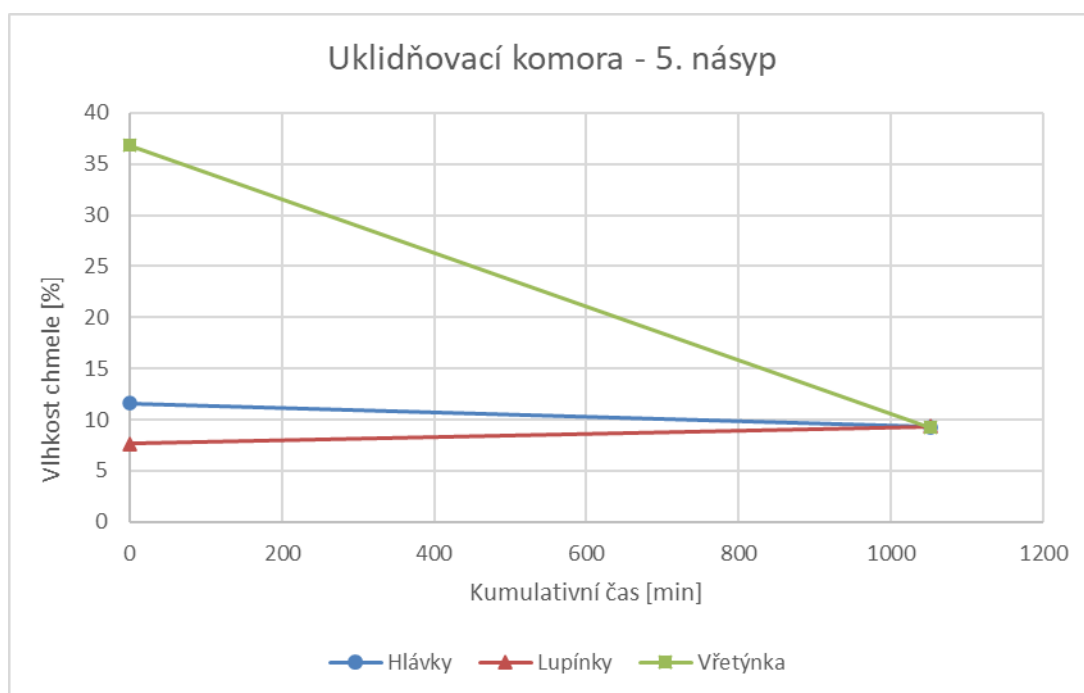
průměr ze tří odebraných vzorků, které byly odebrány na začátku, uprostřed a na konci vyprazdňování uklidňovací komory.



Obr. 39 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (1. násyp)



Obr. 40 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (3. násyp)



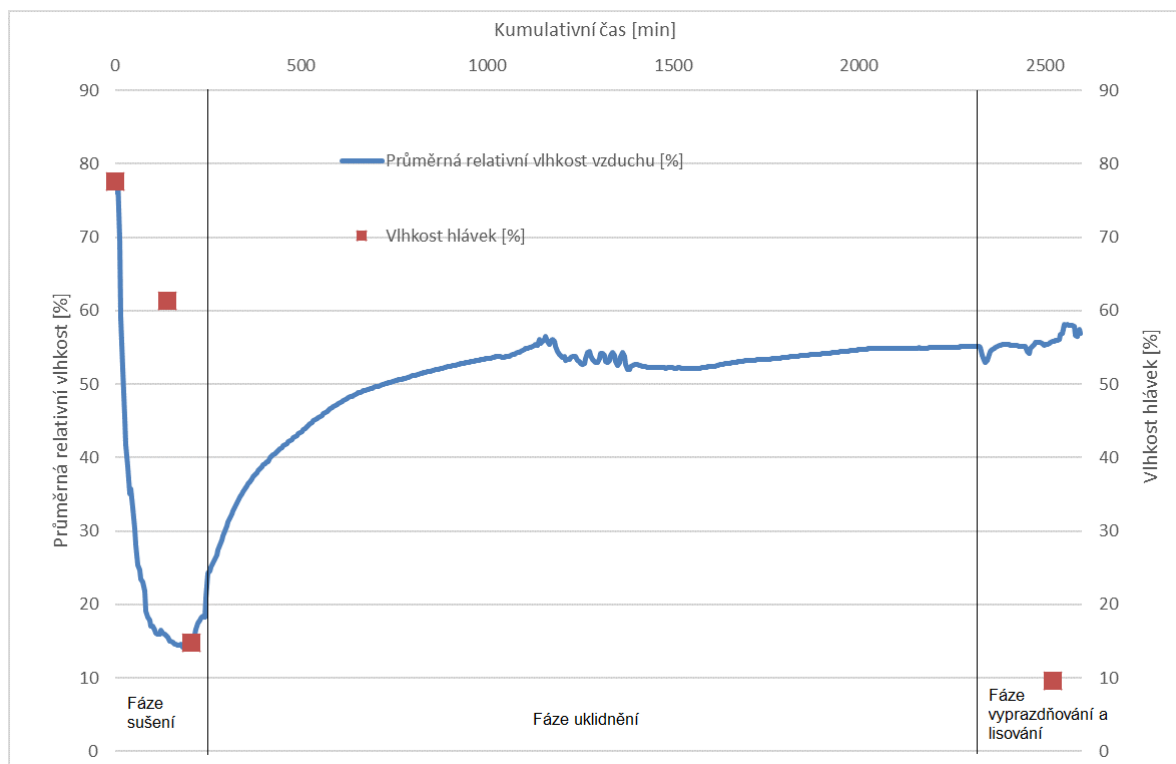
Obr. 41 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (5. násyp)

Oproti prvním dvou měřením byla měřená vrstva násypu nejspodnější vrstvou v uklidňovací komoře. Důsledkem bylo to, že první dva násypy byly vysypány do uklidňovací komory č. 1, zatímco další tři násypy byly vyprázdněny do uklidňovací komory č. 2. Během času, při kterém chmelové hlávky leží uvnitř uklidňovací komory dochází ke stabilizaci teploty a vlhkosti chmelových hlávek na požadovanou hodnotu. Výsledná vlhkost chmelových hlávek se tedy pohybuje v rozmezí 9 – 10,5 %. Kromě stabilizačního procesu uvnitř uklidňovací komory dochází i k tzv. odpočinití. Z obr. 40 je patrné, že i po předešlém špatném vysušení v sušící komoře se vlhkost hlávek, lupínků i vřetýnek dostane na požadovanou hodnotu.

5.3.3.2 Porovnání vlhkosti chmele a relativní vlhkosti vzduchu v průběhu celého procesu sušení

Obdobně jako u prvních dvou měření byla pro grafické vyjádření (obr. 42) z hodnot relativních vlhkostí vzduchu tří dataloggerů stanovena průměrná hodnota a výsledek porovnán s výsledky laboratorních rozborů vlhkosti chmele. Graficky průběh se přibližně shoduje s prvním a druhým měřením. Graf potvrzuje, že během procesu sušení klesne

vlhkost hlávek o cca 60 %. Relativní vlhkost prudce klesá v prvních 200 minutách, tato délka odpovídá sušení chmele v sušící komoře. Po vyprázdnění chmele do uklidňovací komory začne relativní vlhkost stoupat až do chvíle, kdy dojde k ustálení na hodnotě přibližně 55 %. Po vyprázdnění chmele z komorové sušárny do uklidňovací komory se následně vlhkost chmele dostává na požadovanou hodnotu.

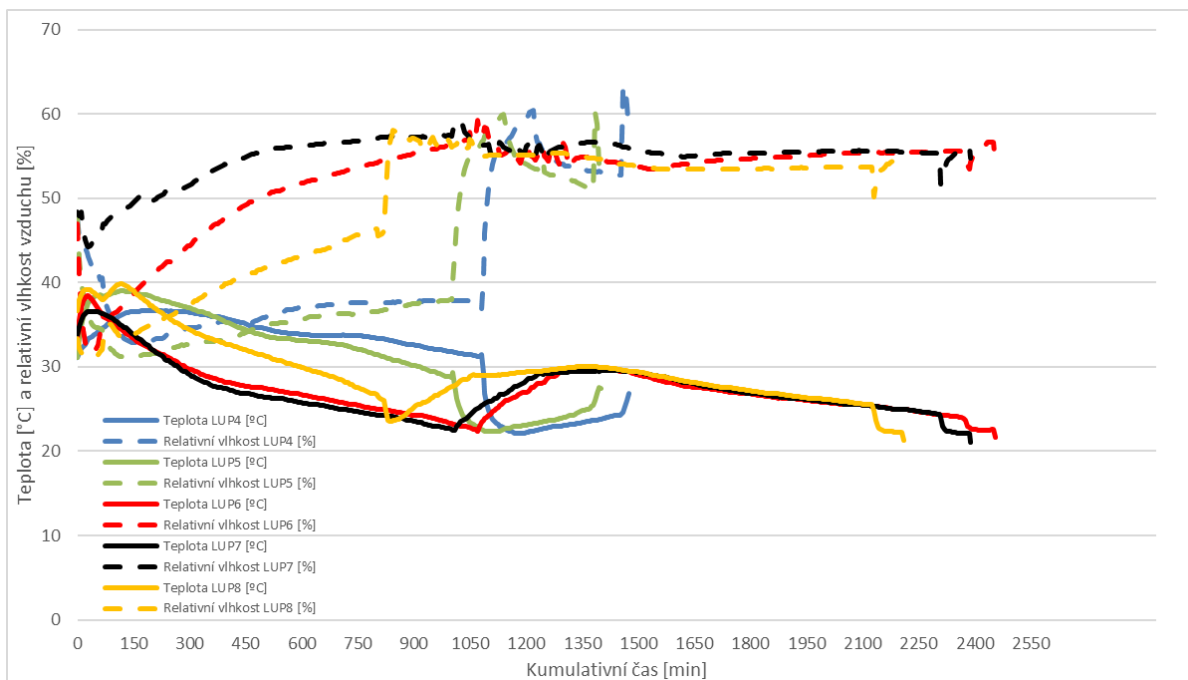


Obr. 42 Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí vzduchu a vlhkostí chmelových hlávek v závislosti na čase měření

5.3.3.3 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře

Na obr. 43 lze vidět grafické vyjádření závislosti teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření. Stejně jako u prvních dvou měření byla hodnota teploty a relativní vlhkosti vzduchu snímána za pomoci dataloggerů č. 4, 5, 6, 7 a 8, přičemž každý datalogger byl vložen do vlastního násypu při vyprazdňování chmele do uklidňovací komory. U tohoto měření byly dataloggery rozděleny do dvou uklidňovacích komor, což se projevilo v rozdílnosti kumulativního času. Příčinou této rozdílnosti bylo to, že lisování chmele do hranolů probíhalo každý den pouze ráno a vyprazdňovala se vždy jen jedna uklidňovací

komora. Proto kumulativní čas u dataloggerů č. 4 a 5 odpovídá přibližně 1450 minutám, kdežto u dataloggerů č. 6, 7 a 8 je kumulativní čas přibližně 2300 minut. Dataloggery č. 4 a 5 byly vloženy do vrchních dvou násypů v uklidňovací komoře č. 1, zatímco dataloggery č. 6, 7 a 8 byly rozmístěny do spodních tří násypů v uklidňovací komoře č. 2.



Obr. 43 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře

6 Závěr

V úvodní části diplomové práce je popsán a zanalyzován proces sušení v horkovzdušných sušárnách. V práci jsou popsány všechny typy horkovzdušných sušáren, ke kterým patří pásové sušárny, komorové sesypné žaluziové sušárny a komorové boxové sušárny. Popis a analýza byly provedeny na základě podkladů od pěstitelů a aktuálních odborných informací z elektronických a tiskových médií.

V úvodu k experimentální části je popsána technologie sušení chmele v komorové sesypné žaluziové sušárně od německé firmy WOLF propojené s uklidňovacími komorami. Mezi největší přednosti této komorové sušárny patří plně automatický provoz, tj. celý sušicí proces se ovládá za pomoci automatického systému, čidel a řídicího počítače. Obsluha komorové sušárny pouze kontroluje funkčnost celého procesu. Další předností je i vysoká výkonnost sušárny spočívající v průchodnosti cca 500 kg.h⁻¹ zeleného (čerstvého) chmele a cca 150 kg.h⁻¹ chmele suchého. Z uvedených údajů tedy plyne, že cca 75 % hmotnosti zeleného chmele tvoří voda, která je během procesu sušení odpařena.

V technologickém procesu sušení navazují na sušárnu uklidňovací komory. Z provedených měření vyplynulo, že tento proces slouží nejen k odpočínutí chmelových hlávek, ale také ke stabilizaci teploty a vlhkosti chmelových hlávek na požadovanou hodnotu. Během uklidňovacího procesu bylo také vysledováno, že výrazně klesne vlhkost větýnek. V uplatnění uklidňovacích komor je velká perspektiva směřující ke zlepšení kvality českého chmele, neboť se zlepšuje nejen kvalita usušených chmelových hlávek, ale také jejich vzhled, soudržnost, celistvost a uchování pivovarsky cenných látek. Při využití uklidňovacích komor také dochází k výrazné úspoře nákladů na sušení chmele, jelikož odpadá fáze přesoušení chmele a následného zvlhčování.

Z provedených měření byly vytvořeny sušicí křivky, ze kterých je jasně vidět, že vstupní hodnota vlhkosti čerstvého chmele se pohybovala v rozmezí 70 – 80 % a během sušení v komorové sušárně hodnota vlhkosti chmelových hlávek klesla na 10 – 15 %. Poté byl chmel vyprázdňen do uklidňovací komory, ve které se dostával na požadovanou hodnotu. Hodnota vlhkosti chmelových hlávek byla stabilizována na 9 – 10,5 % uvnitř uklidňovací komory. Délka celého procesu odpovídala u prvních dvou měření cca 1500 min, výjimkou

bylo akorát třetí měření, kde byly chmelové hlávky vyprázdněny do dvou uklidňovacích komor a tím pádem se délka procesu protáhla na 2800 min. Tento typ komorové sušárny s uklidňovací komorou má dvě důležité výhody oproti ostatním sušárnám. První z nich je výrazná úspora nákladů na sušení chmele a druhá z nich je zvýšení kvality usušených chmelových hlávek a s tím spojená minimalizace ztrát tepelně labilních látek. Uplatnění nových technických řešení a modernizací s využitím nových poznatků v oblasti automatického řízení, sledování a regulace procesu sušení, umožňuje v následujících letech pěstitelům postupnou modernizaci stávajících technologií s dopadem na snížení provozních nákladů a zvýšení kvality chmele.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] KOŘEN, Jiří, Václav CINIBURK, Jan PODSEDNÍK, Adolf RYBKA, František VESELÝ a Patricie BUCHTOVÁ. *Sušení chmele na komorových sušárnách*. 1. Žatec: Chmelařský institut, 2008. ISBN 978-80-86836-51-5.
- [2] JUNEK, Jan. *Konstrukční návrh průmyslové sušárny* [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30308497.pdf>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [3] KOŘEN, Jiří, Václav CINIBURK, Jan PODSEDNÍK, Adolf RYBKA, František VESELÝ a Patricie BUCHTOVÁ. *Sušení chmele na pásových sušárnách*. 1. Žatec: Chmelařský institut, 2008. ISBN 978-80-86836-54-6.
- [4] JECH, Ján, Jozef ARTIM, Adolf RYBKA, Ivo HONZÍK, Zdeněk KVÍZ, Mária ANGELOVIČOVÁ, et al. *Stroje pre rastlinnú výrobu 3*. 1. Praha: Profi Press, 2011. ISBN 978-8-86726-41-0.
- [5] PIVKO, Jakub. *Rozbor práce a porovnání různých typů komorových sušáren chmele*. Praha, 2018. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta.
- [6] CHLUPATÝ, Robert. *Sušárenské linky v zemědělství*. 1. Praha: SZN, 1970.
- [7] RYBÁČEK, Václav, Václav FRIC, Josef HAVEL, Vladimír LIBICH, Josef KRÍŽ, Zdeněk PETRLÍK, et. al. *Chmelařství*. 1. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1980.
- [8] Conrad. *Conrad* [online]. Německo, 1923 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/teplotni-vlhkostni-datalogger-voltcraft-dl-121th-40-az-70-c.k105057>

8 Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Graf zobrazující křivku vlhkosti materiálu [2].....	6
Obr. 2 Graf znázorňující průběh sušení [2]	7
Obr. 3 Vliv sušicího vzduchu na pohyb chmele [3].....	8
Obr. 4 Technologické schéma pásové sušárny PCHB 750 K [4]	9
Obr. 5 Schéma komorové sušárny [7]	12
Obr. 6 Schéma žaluziové sesypné sušárny [5].....	13
Obr. 7 Technologické schéma boxové komorové sušárny [4].....	15
Obr. 8 Sušicí komory ve Mšeci.....	16
Obr. 9 Datalogger VOLTCRAFT DL-121-TH [8]	17
Obr. 10 Uložení dataloggeru v ochranném síti	18
Obr. 11 Šikmý plnicí dopravník.....	19
Obr. 12 První žaluzie sušicí komory	20
Obr. 13 Vyprazdňování sušicího vozíku a plnění uklidňovací komory	21
Obr. 14 Uklidňovací komora	22
Obr. 15 Vlhkostní analyzátor Kern DBS 60-3.....	23
Obr. 16 Funkční schéma komorové sušárny WOLF.....	24
Obr. 17 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření.....	25
Obr. 18 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a větýnek na čase (1. násyp)	26
Obr. 19 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a větýnek na čase (3. násyp)	26
Obr. 20 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a větýnek na čase (5. násyp)	27
Obr. 21 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a větýnek na čase v uklidňovací komoře (1. násyp)	28
Obr. 22 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a větýnek na čase v uklidňovací komoře (3. násyp)	28
Obr. 23 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a větýnek na čase v uklidňovací komoře (5. násyp)	29
Obr. 24 Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí vzduchu a vlhkostí chmelových hlávek v závislosti na čase měření (komorová sušárna + uklidňovací komora).....	30

Obr. 25 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře	31
Obr. 26 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření.....	32
Obr. 27 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (1. násyp)	33
Obr. 28 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (3. násyp)	33
Obr. 29 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (5. násyp)	34
Obr. 30 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (1. násyp)	35
Obr. 31 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (3. násyp)	35
Obr. 32 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (5. násyp)	36
Obr. 33 Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí vzduchu a vlhkostí chmelových hlávek v závislosti na čase měření	37
Obr. 34 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře	38
Obr. 35 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření.....	39
Obr. 36 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (1. násyp)	40
Obr. 37 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (3. násyp)	40
Obr. 38 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase (5. násyp)	41
Obr. 39 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (1. násyp)	42
Obr. 40 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (3. násyp)	42
Obr. 41 Závislost vlhkosti hlávek, lupínků a vřetýnek na čase v uklidňovací komoře (5. násyp)	43
Obr. 42 Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí vzduchu a vlhkostí chmelových hlávek v závislosti na čase měření	44
Obr. 43 Závislost teploty a relativní vlhkosti vzduchu na čase měření v uklidňovací komoře	45

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled pásových sušáren v příslušných etapách [3]	10
Tab. 2 Přehled horkovzdušných sušáren v ČR	16
Tab. 3 Vlhkost chmelových hlávek, lupínků a větýnek v průběhu sušení	27
Tab. 4 Vlhkost chmelových hlávek, lupínků a větýnek v průběhu sušení	34
Tab. 5 Vlhkost chmelových hlávek, lupínků a větýnek v průběhu sušení	41