

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra zemědělských strojů**

**Optimalizace podmínek nízkoteplotního sušení chmele v experimentální  
komorové sušárně**

**Diplomová práce**

**Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.**

**Autor: Bc. Petr Kubeš**

**Praha 2018**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Kubeš

Zemědělská technika

Název práce

**Optimalizace podmínek nízkoteplotního sušení chmele v experimentální komorové sušárně.**

Název anglicky

**Optimization of hop drying conditions at lower temperatures in the experimental kiln dryer.**

---

**Cíle práce**

Na základě studia odborné literatury a vlastních experimentů provést rozbor šetrného sušení speciálních odrůd chmele v experimentální komorové sušárně.

**Metodika**

Zpracovat literární rešerši. Provést experimenty v experimentální komorové sušárně při proměnlivých parametrech sušení. Měření směřovat na nižší sušící teploty a ty kompenzovat intenzivnějším prouděním vzduchu tak, aby bylo dosaženo optimální vlhkosti chmele.

**Doporučený rozsah práce**

45-50 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

**Klíčová slova**

chmel, sušení chmele, kvalitativní ukazatele chmele, experimentální komorová sušárna

---

**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 Press 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**

2017/18 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

**Garantující pracoviště**

Katedra zemědělských strojů

**Konzultant**

Ing. Jan Podsedník Chmelařství, družstvo Žatec

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2017

**prof. Dr. Ing. František Kumhála**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 18. 02. 2018

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Adolfa Rybky, CSc., uvedl jsem všechny literární zdroje a všechny prameny, ze kterých jsem čerpal. Tištěná podoba diplomové práce se shoduje s elektronickou podobou.

**V Žatci dne 18. 2. 2018****Petr Kubeš**

**Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Adolfu Rybkovi, CSc. za odborné vedení, rady a konzultace. Dále bych rád poděkoval Ing. Janu Podsedníkovi za umožnění provedení experimentu v prostorách závodu Mechanizace podniku Chmelařství, družstvo Žatec a za technickou podporu, dále pak Ing. Karlovi Kroftovi Ph.D. z Chmelařského institutu s. r. o. za spolupráci a poskytnutí výsledků z laboratorních rozborů. V neposlední řadě děkuji kolektivu zaměstnanců podniku Chmelařství, družstvo Žatec, závod Mechanizace za odbornou pomoc při měření a technické zajištění provozu experimentální komorové sušárny.

## **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se v úvodní části zabývá problematikou současného stavu sušení a sušáren chmele v ČR. Následující kapitola se zaměřuje na požadované cíle, a jakými metodami jich bylo dosaženo. Kapitola „Literární rešerše“ uvádí kvalitativní parametry hodnocení kvality chmele a teoretický rozbor technologického procesu sušení chmele. Čtvrtá kapitola je věnována konstrukci experimentální komorové sušárny. Obsahem metodiky měření je seznam měřených odrůd chmele, měřených veličin a přístrojů. Kapitola šestá se zabývá postupem používaným při měření. Kapitola „Výsledky měření a jejich analýza“ obsahuje veškeré zpracované výsledky zkoumaných odrůd chmele, výsledné hodnoty jsou uvedeny v grafech a tabulkách, které jsou doplněny slovním komentářem. Na závěr jsou shrnuty veškeré dílčí výsledky a poznatky. V diplomové práci je dokázána skutečnost, že bylo dosaženo požadovaných podmínek pro šetrné sušení chmele, což je podloženo údaji v grafech měřených veličin. Dále jsou prezentovány výsledky laboratorních měření, které dokazují pozitivní vliv uvedeného způsobu sušení na kvalitativní parametry chmele. Práce dokládá vhodnost metody šetrného sušení pro odrůdy chmele, které jsou citlivé na vysoké teploty. Je tedy možné provést experiment na skutečné komorové sušárně.

**Klíčová slova:** chmel, sušení chmele, kvalitativní ukazatele chmele, experimentální komorová sušárna.

## **Abstract:**

This diploma thesis deals with the current state of drying and dryers of hops in the Czech Republic. The following chapter focuses on the desired goals and the methods they have achieved. Chapter "Literary Research" presents the qualitative parameters of hops quality evaluation and theoretical analysis of the hop drying process. The fourth chapter deals with the construction of an experimental chamber dryer. The content of the measurement methodology is the list of measured varieties of hops, measured quantities and instruments. Chapter Six deals with the procedure used in the measurement. The chapter "Measurement results and their analysis" contains all the processed results of the hop varieties examined, the resulting values are presented in the charts and tables, which are supplemented by a verbal commentary. In conclusion, all partial results and findings are summarized. The

diploma thesis demonstrates the fact that the required conditions for gentle drying of hops have been achieved, which is based on the data in the charts of measured quantities. In addition, the results of the laboratory measurements, which demonstrate the positive effect of the drying process on the qualitative parameters of hops, are presented. The thesis demonstrates the suitability of a gentle drying method for high temperature sensitive hop varieties. It is therefore possible to carry out an experiment on actual chamber dryer.

**Keywords:** hops, drying hops, qualitative hops indicators, experimental chamber dryer.

## Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl práce.....	2
3. Literární rešerše .....	2
3.1. Chmelová hlávka .....	2
3.2. Klíčové kvalitativními parametry hodnocení kvality chmele.....	3
3.2.1. Chmelové silice ve chmelu a chmelových extraktech.....	4
3.2.2. Desmethylxanthohumol.....	5
3.2.3. HSI (Hop Storage Index).....	6
3.3. Teoretický rozbor technologického procesu sušení chmele .....	6
3.3.1. Statika sušení .....	8
3.3.2. Kinetika sušení .....	11
3.4. Vlastnosti chmele po usušení .....	12
4. Experimentální komorová sušárna .....	14
5. Metodika měření na experimentální komorové sušárně chmele .....	17
5.1. Zainteresované podniky.....	17
5.2. Měřené odrůdy.....	17
5.3. Měřené veličiny a přístroje .....	18
6. Postup měření .....	18
7. Výsledky měření a jejich analýza.....	21
7.1. Odrůda Žatecký poloraný červeňák.....	21
7.1.1. Odrůda Žatecký poloraný červeňák při sušicí teplotě 55°C.....	21
7.1.2. Odrůda Žatecký poloraný červeňák při sušicí teplotě 40°C.....	23
7.1.3. Porovnání měřených hodnot dvou vzorků ŽPČ při odlišných sušicích teplotách .....	26
7.2. Odrůda Harmonie při sušicí teplotě 40°C .....	28



7.3. Odrůda Vital při sušící teplotě 40°C .....	34
7.4. Odrůda Kazbek při sušící teplotě 40°C .....	40
7.5. Komentář k provedeným měřením .....	46
7.5.1. Závislost vlhkosti chmele na čase měření při sušení šetrným způsobem.....	46
7.5.2. Porovnání obsahu a složení chmelových silic .....	48
8. Závěr .....	49
9. Seznam literatury .....	52
9.1. Seznam obrázků.....	53
9.2. Seznam tabulek.....	55

## 1. Úvod

Sušení chmele jako nejjednodušší způsob konzervace, který jednak umrtvuje chmelovou hlávku, jednak upravuje základní životní faktor pro mikroflóru hlávek, tj. vlhkost pod nezbytnou minimální hranici, je právě tak staré jako pěstování chmele. Při sušení se obsah vody ve chmelových hlávkách snižuje z původních cca 75% na 8 až 10%. Sušení se provádí bezprostředně po sklizni chmele (Rybáček et al. 1980).

Konstrukčně se v ČR i všude ve světě používají dva typy sušáren, komorové a pásové. Komorové sušárny pracují diskontinuálně vsádkovým způsobem, pásové sušárny (3 pásy) jsou provozovány kontinuálně. Sušicím médiem je teplý vzduch, který se ohřívá spalováním zemního plynu nebo lehkého topného oleje. Maximální sušicí teploty se na stávajících sušicích linkách pohybují v rozmezí 55°C až 60°C a jsou prakticky stabilní po celou dobu sušení. Teplotám je chmel vystaven po dobu 6 až 8 hodin (Kořen et al. 2008).

V současné době je v ČR k dispozici celkem 204 funkčních sušáren na chmel. Z toho pásových sušáren 124, klasických komorových sušáren v lískovém provedení 78 a dvě nové komorové sušárny bez přesypů amerického typu. Stávající sušárenské technologie jsou zastaralé (komorové sušárny byly stavěny v 60-tých letech minulého století, pásové sušárny v 70 až 80-tých letech) a postrádají vývoj. Je třeba hledat úsporné cesty modernizace a energetické úspornosti, a tím i lepší efektivitu sklizňového procesu. Vzhledem k situaci, že prakticky neexistuje tuzemský výrobce těchto zařízení, je na bedrech chmelařského výzkumu společně s uživateli těchto zařízení další řešení (Kořen et al. 2008).

Celková kapacita sušárenských technologií činí nyní 9500 tun suchého chmele, což při celkové produkci cca 6000 tun suchého chmele představuje o 38% vyšší kapacitu. Z toho vyplývá, že není potřeba budovat nové sušárny chmele, nýbrž se zaměřit na rekonstrukci, modernizaci a automatizaci sušicího procesu jako celku u stávajících sušárenských technologií s využitím nových technologií zejména v oblasti sledování, řízení a automatizace sušení (Jech et al. 2011).

V nedávné době byly vyšlechtěny nové odrůdy chmele – odrůda Kazbek a Vital, jejichž látky (např. silice) jsou citlivé na vysokou teplotu (55°C – 60°C) při klasickém způsobu sušení v sušárnách. Bylo tedy nutné začít navrhovat a zkoumat nový způsob sušení chmele při nízkých teplotách (max. do 45°C). Zkušenosti z měření na experimentální komorové sušárně (EKS) budou sloužit jako podklad pro šetrné sušení při nízkých teplotách v praxi na skutečné komorové sušárně chmele.

## 2. Cíl práce

Cílem diplomové práce je na základě prostudování odborné literatury a na základě vlastních experimentů provést rozbor šetrného sušení speciálních odrůd chmele v experimentální komorové sušárně. Zjistit o kolik je menší úbytek pivovarsky cenných látek při šetrném sušení - do 45°C oproti sušení klasickému v závislosti na měřených veličinách a ostatních ukazatelích. V práci jsou uvedeny výsledky měření na experimentální komorové sušárně chmele a výsledky laboratorních rozborů odebíraných vzorků.

## 3. Literární rešerše

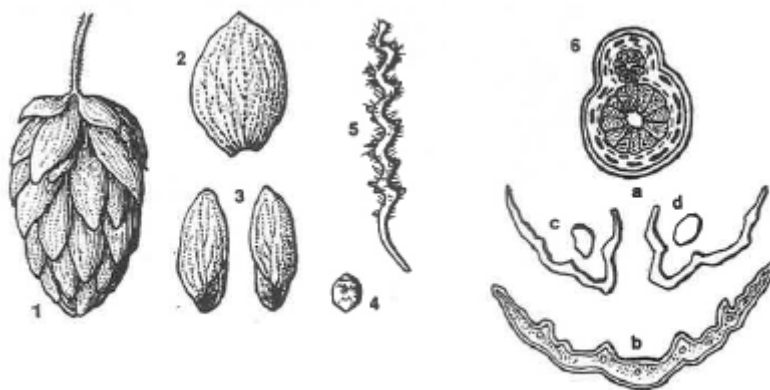
### 3.1. Chmelová hlávka

Chmelová hlávka (botanicky šišťice, obr. 1) je z morfologického hlediska plodenství, které vzniklo z jehnědovitého květenství. Z hlediska vývojové morfologie je zkrácenou a pozměněnou větévkou. Kromě stonku modifikovaného ve stopku a vřeténko hlávky, tvoří její podstatnou část palisty a listeny modifikované v krycí listence a pravé listeny (obr. 2). Novými, pro chmelové hlávky typickými orgány, jsou vnější lupulinové žlázy a vytvořené jednosemenné plody, nažky (pecky) nebo neúplné plody bez semen (pecičky). Při dorůstání hlávek se rozlišují čtyři



Obr. 1 Vyvinutá chmelová hlávka  
(Zdroj: [www.pivovar.sk](http://www.pivovar.sk) [online])

velikosti a to  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  a celá hlávka. Kvantitativní zastoupení jednotlivých částí v suchých vyspělých bezsemenných hlávkách kolísá podle odrůdy i podle ekologických podmínek při pěstování chmele. Průměrné hodnoty (v % sušiny) jsou: stopka - 4,40%, věténko - 6,68%, listeny - 69,31%, lupulin - 19,61% (Rybáček et al. 1980).



Obr. 2 Hlávka a její části:

1 – hlávka, 2 – krycí listen, 3 – pravé listeny, 4 – nažka, 5 – věténko, 6 – příčný řez hlávkou (a – věténko, b – krycí listen, c – pravé listeny, d – nažky).

(Zdroj: Rybáček et al. 1980)

### 3.2. Klíčové kvalitativními parametry hodnocení kvality chmele

Chemické složení chmele závisí kromě jiného na odrůdě a způsobu posklizňové úpravy. Chmel obsahuje průměrně 10% vody, 15% celkových pryskyřic, 4% polyfenolových látek (tříslovin), 1% silic, 3% lipidů a vosků, 15% dusíkatých látek, 44% uhlovodíkových sloučenin a 8% minerálních látek (Heřmánek et al. 2017).

Stabilita alfa hořkých kyselin, jako klíčové látky chmele z pohledu pivovarské technologie, je při sušících teplotách do 60°C dostatečná. Pro některé tepelně labilní látky jsou ale sušící teploty v závěrečné fázi sušení v rozmezí 50 až 60°C příliš vysoké. Dochází při nich k nevratným transformacím a ztrátám. K takovým látkám patří chmelové silice, které jsou ve chmelu v závislosti na odrůdě obsaženy v množství 0,5% až 3,5%. Pilotní

studie ukázaly, že při stávajících podmínkách sušení dochází k úbytku 15 až 25% celkového obsahu silic přítomných ve chmelu před sušením. (Hofmann et al. 2013) Další významnou tepelně labilní složkou chmele je desmethylxanthohumol (DMX).

Kromě ztráty množství se mění i sensorický profil v důsledku úbytku těkavějších složek. Pro speciální aromatické odrůdy chmele, tzv. "flavour hops", u kterých jsou obsah a složení silic klíčovými kvalitativními parametry, vedou takové ztráty ke snížení kvality produktu. Aromatické chmele, kategorie "flavour hops", jsou aplikovány tzv. technologií "studeného chmelení", kdy je chmel přidáván ve studené fázi výroby piva s cílem maximální transformace původního chmelového aroma až do konečného produktu. Technologie chmelení za studena je rozšířena především v segmentu malých a restauračních pivovarů. Rozvoj malých pivovarů, tzv. "craft breweries" vznikl v USA před zhruba 10 lety. V současné době zde existuje bezmála 3000 malých pivovarů. Jejich celkový výstav v roce 2013 činil 16 milionů hektolitřů (tj. 7,5% celkového výstavu). Spotřeba chmele činila 5500 tun, což je 46% celkové spotřeby chmele v USA. Obliba "craft breweries" se brzy přenesla do Evropy a rychle se šíří do dalších regionů. Jen v ČR je jejich počet nyní větší než 250. Objem produkce malých a restauračních pivovarů v ČR v současné době představuje zhruba 1,5% ročního výstavu a v průběhu dvou let se předpokládá nárůst na 3% ročního výstavu. Piva se u spotřebitelů těší velké oblibě díky širokému sortimentu a chuťové originalitě (Probasco et al. 2010).

Nová, šetrná metoda sušení je v praxi využitelná pro nově vyšlechtěné odrůdy chmele. Odrůda Kazbek patří do skupiny výše zmíněných "flavour hops". Je typická výrazným citrusovým aroma, díky kterému se již uplatňuje nejen v českých, ale i mnoha zahraničních pivovarech. Další odrůda Vital je významná vysokým obsahem DMX, který se v zelených hlávkách pohybuje na úrovni 0,50% až 0,70%, ale po usušení ve stávajících sušárnách chmele poklesne na polovinu.

### **3.2.1. Chmelové silice ve chmelu a chmelových extraktech**

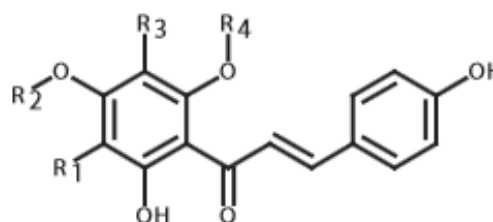
Chmelové silice jsou nejdůležitější skupinou látek obsažených ve chmelu a odpovědných za aroma chmele a piva. Chmel obsahuje 0,5 až 3,0% hmotnostních silic, které jsou obsaženy v lupulinových žlázách chmelové hlávky. Chmelové silice jsou složitou směsí několika set přírodních látek různého chemického složení, těkavosti

a polarity. Některé z nich jsou zastoupeny řádově v desítkách procent (myrcen,  $\alpha$ -humulen), řada dalších se vyskytuje v malém až stopovém množství. Všechny se však společně podílí na vzniku charakteristického chmelového aroma. Složky chmelových silic je možné rozdělit do tří skupin látek. Největší podíl připadá na uhlovodíkovou frakci, která tvoří 70 až 80% celkové hmotnosti silic. Zbývající podíl tvoří kyslíkaté a sírné látky. Sírná frakce chmelových silic představuje přibližně pouze 1,0% celkové hmotnosti, ale vzhledem k tomu, že se jedná o látky senzorycky velmi aktivní, jejich vliv na celkové aroma chmele není zanedbatelný. Z kyslíkatých látek obsahují chmelové silice terpenické alkoholy linalool, geraniol a nerol, dále methylketony a další řadu ketonů. Nejdůležitějšími zástupci látek ze skupiny epoxidů jsou epoxidy, které vznikají oxidací terpenických uhlovodíků v průběhu stárnutí chmele. Jejich obsah ve chmelu s časem podstatně stoupá. Estery přítomné ve chmelových silicích jsou jednou z nejdůležitějších složek z pohledu formování charakteru aroma (Krofta, 2008).

Kvantitativní obsah chmelových silic ve chmelu se stanoví jako podíl, který vytěká s vodní párou v průběhu varu chmele v časovém intervalu 1,5 hodiny. Složení chmelové silice se stanoví kapilární plynovou chromatografií (Krofta, 2008).

### 3.2.2. Desmethylxanthohumol

Další významnou tepelně labilní složkou chmele je desmethylxanthohumol (DMX, obr. 3). Jedná se o látku ze skupiny prenylovaných flavonoidů, která se nachází pouze ve chmelu. Katalytickou izomerací lze z DMX připravit 8-prenylnaringenin, což je nejúčinnější dosud známý fytoestrogen. Léčiva a doplňky stravy s obsahem této látky jsou účinné terapeutické prostředky např. při hormonální substituční léčbě žen v postmenopauzálním období. Bylo zjištěno, že na stávajících sušicích linkách dochází k úbytku 40 až 50% této cenné látky.



Obr. 3 Struktura desmethylxanthohumolu

$R_1 = \text{Pn}$  (prenyl),  $R_2 = \text{H}$ ,  $R_3 = \text{H}$ ,  $R_4 = \text{H}$ .

(Zdroj: Nešpor et al. 2017)

Analytické stanovení chmelových prenylflavonoidů se provádí kapalinovou chromatografií, zpravidla simultánně s analýzou alfa a beta hořkých kyselin ve spojení s UV nebo hmotnostním detektorem. Ke stanovení DMX ve chmelu postačuje UV detektor (Krofta, 2008).

### **3.2.3. HSI (Hop Storage Index)**

Chmel je principiálně velmi nestabilní surovina. Obsah složení chmelových pryskyřic, silic a dalších látek se s časem mění v závislosti na podmínkách skladování (teplota, přístup světla), době a odrůdě. Nejzávažnějším vnějším projevem je úbytek obsahu alfa hořkých kyselin. Změna obsahu a složení chmelových pryskyřic je provázána výrazným růstem absorbance metanolového extraktu chmele při 275 nm ( $A_{275}$ ) a poměru absorbancí měřených při 275 a 325 nm na UV-VIS spektrofotometru. Tento poměr se nazývá index skladování chmele a označuje se zkratkou HSI z anglického překladu „Hop Storage Index“. Je to bezrozměrné číslo. Jeho hodnoty se u chmelů bezprostředně po sklizni pohybují v intervalu 0,23 až 0,28 (bez ohledu na odrůdu). Pak jeho hodnota nevratně vzrůstá v závislosti na podmínkách skladování, způsobu zpracování a odrůdě. U špatně skladovaných chmelů může být jeho hodnota vyšší než 1,00 (Krofta, 2008).

### **3.3. Teoretický rozbor technologického procesu sušení chmele**

Sušení zemědělských materiálů se výrazně podílí na spotřebě energie pro sušení v celém národním hospodářství. Zemědělské sušení spotřebuje asi 2500 TJ/rok = 700 GWh/rok. Stávající staré a dosluhující sušárny mají velké ztráty. Jejich modernizace by přinesly zemědělskému provozu velké úspory energie. Velkou položkou úspor je precizní provozní režim založený na dokonalé znalosti tepelných charakteristik materiálů a sušících zařízení (Jech et al. 2011).

Při sušení chmele, obdobně jako u jiných plodin, se rozlišují tři fáze sušení:

1. fáze ohřevu materiálu, kdy se přiváděné teplo spotřebuje na ohřev a trvá až do doby, kdy dojde k rovnováze mezi teplem předávaným a výparným;
2. fáze stálé rychlosti sušení, kdy se teplota sušeného materiálu udržuje na té úrovni, jaké dosáhla na konci fáze ohřevu, a trvá až do tzv. kritické vlhkosti, tj. až se povrch sušeného materiálu chová stejně jako volný povrch vody a napětí vodních par nad povrchem sušeného materiálu je stejné jako nad volným povrchem vody;
3. fáze poklesu rychlosti sušení, kdy po dosažení kritické vlhkosti je přívod vody z vnitřních partií sušených hlávek již nedostatečný a neustále se zpomaluje, až se při rovnovážné vlhkosti zcela zastaví (Rybáček et al. 1980).

Na rozdíl od ostatních plodin má sušení chmele své zvláštnosti a je jednou z nejdůležitějších operací sklizňového procesu.

Současný způsob sušení chmele v dosud převažujících pásových sušárnách vychází z parametrů sušicího procesu odvozeného z kontinuálního průběhu sklizně a předpokládajícího zachování všech pivovarsky využitelných látek. Jejich obsah se mění, podle literárních údajů a zkušeností, nejen s délkou sklizňového období, ale velmi významně s technologií sušení chmele a způsobu jeho dalšího zpracování i skladování. Sem lze zahrnout výrobu granulí a jejich konzervaci v inertní atmosféře neprodyšných obalů, odpovídající požadavkům exportu i jednotlivých pivovarů (Jech et al. 2011).

Průběh sušení na současně používaných sušárnách je při teplotě 55 – 60°C, s ohledem na rozdílnost biologické struktury hlávek, programován na dosažení konečné vlhkosti 5 – 7% s následnou řízenou klimatizací. Jejím účelem je pozvolné zvlhčení hlávek na vlhkost 10 – 12%. Rychlost sušení závisí na výšce sušené vrstvy. Pro uchování vysokého obsahu pivovarsky významných látek je rizikovou oblastí právě sušení hlávek pod 10% vlhkosti a následná klimatizace.

K uvedenému způsobu sušení a následné klimatizaci se přistoupilo po zavedení velkovýroby ve chmelařství.

V historii v malovýrobních podmínkách bylo pravidlem sušení na vyšší vlhkost (10 – 12%). Bylo nutné chmel provětrávat, přehazovat a dbát na rovnoměrné rozložení vlhkosti v celé mase volně ložené hmoty. Vzhledem k nevyrovnanému rozložení vlhkosti



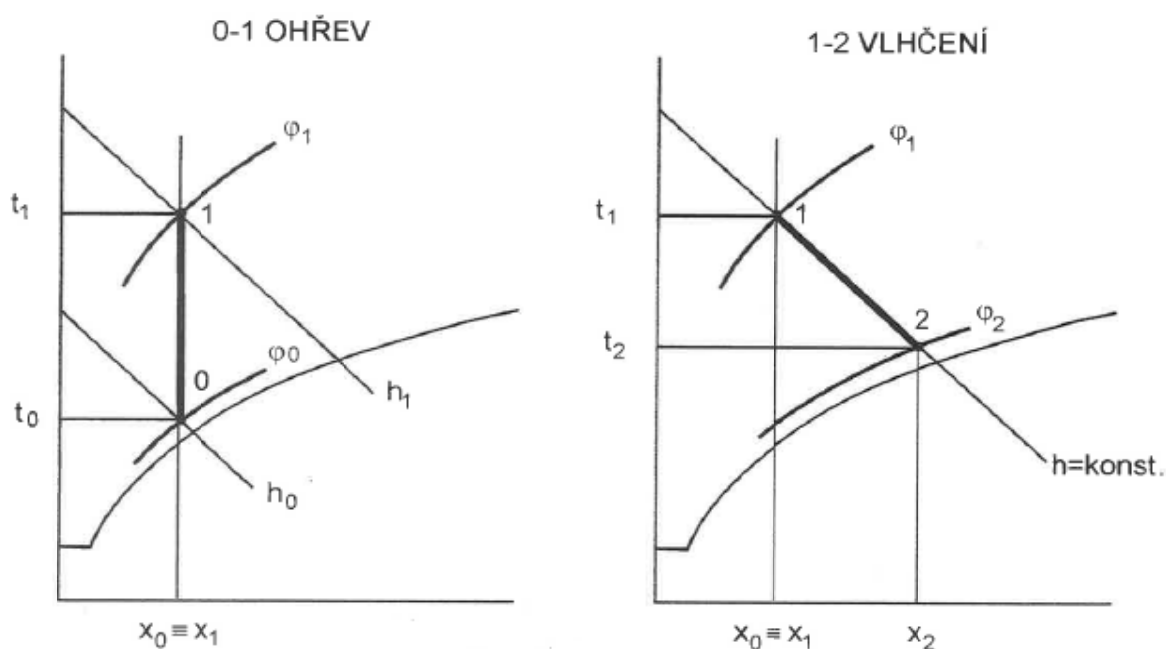
ve chmelových hlávkách i k jejich značné hygroskopicitě, hrozilo zde nebezpečí zvýšené činnosti mikroorganismů ve vřeténku chmelové hlávky, které nebyly sušením zlikvidovány, a tím znehodnocení jakosti chmele (Rybáček et al. 1980).

Sušení chmelových hlávek pod 10% vlhkosti a následná řízená klimatizace vyžaduje zhruba 1/3 celkových energetických nároků. Sušení na konečnou vlhkost 10-12% s následnou neřízenou a přirozenou klimatizací (uklidňovací komory) na přibližně rovnovážnou vlhkost hlávek může zkrátit dosud užívaný způsob sušení, odstranit riziko mechanických změn usušených hlávek i pozitivně ovlivnit kvalitu pivovarských i dalších parametrů (Heřmánek et al. 2017). Z dostupných pramenů vyplývá, že v dnešní době již není tak vysoké riziko biologických procesů ve vřeténku chmelové hlávky. Časový interval od usušení ke zpracování chmele se natolik zkrátí, že riziko znehodnocení chmele z výše uvedeného důvodu je minimální (Jech et al. 2011).

Na experimentální komorové sušárně chmele byly všechny odrůdy chmele sušeny právě staronovým způsobem bez následné řízené klimatizace. Přirozená klimatizace probíhala přes noc. Chmel byl ponechán v sušárně v sušicí lísce.

### **3.3.1. Statika sušení**

Statika sušení popisuje proces mezi počátečním a konečným stavem chmele a vzduchu. Základem pro rozbor je znázornění v Mollierově  $h - x$  diagramu izobarickým ohřevem vzduchu (0 – 1) a jeho izoentalpickým vlhčením (1 – 2) vlhkostí uvolněnou z chmele. Tomuto procesu se říká „teoretická sušárna“ (obr. 4).



kde:  
 $t_0, t_1, t_2$  – teplota vzduchu, °C,  
 $x_0, x_1, x_2$  – měrná vlhkost vzduchu,  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.v.,  
 $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$  – relativní vlhkost vzduchu, -

Obr. 4 Ohřev a vlhčení vzduchu

(Zdroj: Jech et al. 2011)

### Bilance chmele

Z hmotností vstupního a výstupního chmele  $M_1$  a  $M_2$ , a podílu vlhkosti chmele  $w_1$  a  $w_2$  a měrné vlhkosti  $u_1$  a  $u_2$  stanovíme hmotnost odsušené vlhkosti:

$$M_w = M_1 - M_2 = M_1 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} = M_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} = M_{sus}(u_1 - u_2)$$

kde:

$M_w$  – hmotnost odsušené vlhkosti, kg,

$M_1, M_2$  – hmotnost vstupního a výstupního chmele, kg,

$w_1, w_2$  – podíl vlhkosti chmele, %,

$M_{sus}$  – hmotnost sušiny stanovená dle normy (ČSN, ISO), kg,

$u_1, u_2$  – měrná vlhkost chmele,  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Jech et al. 2011).

### **Bilance vzduchu**

Teplo potřebné k ohřátí vzduchu určíme z rozdílu entalpií (Jech et al. 2011):

$$\Delta h = h_1 - h_0 = (t_1 - t_0)(1,01 + 1,84 x_0)$$

kde:

$\Delta h$  – teplo potřebné k ohřátí vzduchu,  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s.v.}$  (Jech et al. 2011).

### **Množství potřebného vzduchu**

Do sušárny vstupuje s chmelem vlhkost  $M_L - M_{\text{sus}}$  a se vzduchem vlhkost  $M_L \cdot x_0$ , ze sušárny vystupuje s chmelem vlhkost  $M_2 - M_{\text{sus}}$  a se vzduchem vlhkost  $M_L \cdot x_2$ ,

kde:

$M_L$  – hmotnost suchého vzduchu,  $\text{kg s.v.}$

Rozdíl je odpařená vlhkost, kterou odnáší výstupní vzduch:

$$M_w = M_1 - M_2 = M_L(x_2 - x_0)$$

(Jech et al. 2011)

### **Měrná potřeba vzduchu**

$$\lambda = \frac{M_L}{M_w} = \frac{1}{x_2 - x_0} \quad \frac{\text{kg s.v.}}{\text{kg o.v.}}$$

Měrná vlhkost  $x_2$  vystupujícího vzduchu je dána stavem 2, který je průsečíkem izoentalpy vlhčení (1 – 2) s křivkou relativní vlhkosti vzduchu  $\varphi_2$  a izotermou vzduchu  $t_2$  (obr. 4), která bývá určena z přípustné teploty náhřevu chmele, tj. teploty, jejíž překročení znamená poškození užitečných vlastností chmele, která v praxi je 60 – 65°C (Jech et al. 2011).

### 3.3.2. Kinetika sušení

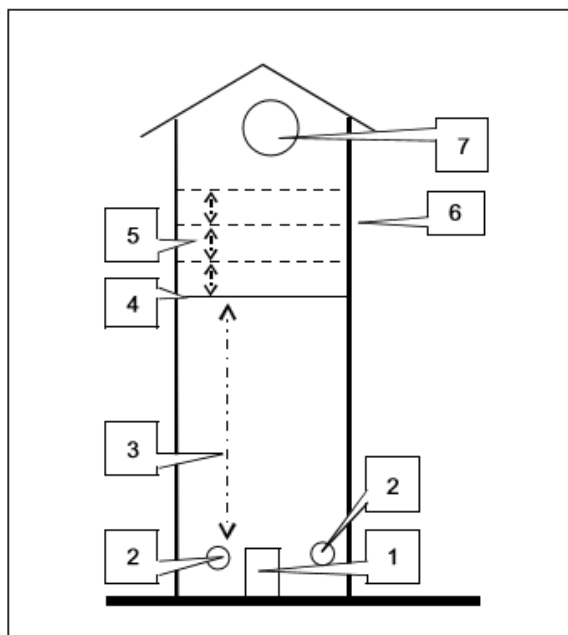
Závislost měrné vlhkosti chmele na čase je křivka sušení. Její derivace je křivka rychlosti sušení. Obě křivky výstižně popisují sušicí proces v čase.

Hlávky se v pásové sušárně suší při teplotě sušicího vzduchu 55 – 60°C po dobu 6 - 9 hodin. Experimenty v laboratorní komorové sušárně ukázaly, že doba sušení při teplotě sušicího vzduchu 60°C jsou přibližně čtyři hodiny k dosažení vlhkosti hlávek 10% potřebné pro další zpracování lisováním do žoků nebo hranolů. Tato doba je přibližně poloviční proti době sušení v pásové sušárně. Z toho plyne, že v pásové sušárně je chmel vystaven přípustné teplotě velmi dlouho. Zkrácení procesu sušení na polovinu doby by znamenalo značnou energetickou úsporu.

Nastíněná zjednodušená problematika „teoretické sušárny“ podle h-x diagramu pouze uvádí do problému a nevystihuje celý problém sušení chmele. Pro reálnou sušárnu je nutno vzít v úvahu další tepelně-vlhkostní problémy při sušení chmele a také úspory tepelné energie, dále recirkulaci a rekuperaci.

V České republice jsou stále využívány k sušení chmele hlavně pásové sušárny, které navazují na strojní česací linky. Ze strany zahraničních odběratelů se však objevují námitky proti stávajícímu způsobu sušení s následnou řízenou klimatizací právě s ohledem na kvalitativní vlastnosti chmele.

Pásové sušárny se v zahraničí nerozšířily, naopak se stále využívají starší typy komorových sušáren (obr. 5). Proto je snahou našich chmelařů se opět, ale na vyšší technické úrovni, vrátit ke komorovým (vsázkovým) sušárnám (Jech et al. 2011).



Obr. 5 Schéma komorové sušárny

(Pozice: 1 – topeniště, 2 – kanály pro přívod vzduchu do sušárny, 3 – vzdálenost nejspodnější vrstvy sušicího prostoru od topeniště 6 m, 4 – vyprazdňovací část ze sušárny – vozíky, nekonečný pás, 5 – rozestupy mezi sklopnými žaluziemi min. 800 mm, 6 – sklopné žaluzie, 7 – odsávací prostor ze sušárny.)

(Zdroj: Kořen et al. 2008)

### 3.4. Vlastnosti chmele po usušení

Chmelová hlávka je z hlediska sušárenského a posklizňové úpravy složitý útvar. Proces jejího vysychání není rovnoměrný a v podstatě při něm lze rozlišit 3 fáze:

1. vysušení listenů,
2. vysušení stopek,
3. vysušení vřeténka.

Vysušení listenů neprobíhá rovnoměrně a je především závislé na množství kontaktu s proudícím vzduchem. Vzhledem ke svému velkému povrchu a malé tloušťce

vysychají v první fázi, i když bazální část, která přisedá k vřeténku, je stále v kontaktu s materiálem vyšší vlhkosti, který se vysuší až poslední fázi.

Stopka, pokud je součástí chmelové hlávky, se usuší jako druhá. Podle stupně jejího vysušení se rozlišují stupně vysušení hlávek, které se posuzují podle lámavosti stopky.

Vřeténko je nejméně dostupnou součástí chmelové hlávky, a proto se usuší jako poslední. Vysychání vřeténka neprobíhá stejnoměrně po celé délce, ale postupuje od bazální části k vrcholové. Stupeň vysušení na vřeténko znamená, že je po celé délce lámavé (Rybáček et al. 1980).

Nejspolehlivějším ukazatelem pro určení stupně vysušení hlávek je stanovení jejich vlhkosti. V provozních podmínkách se však neobejdeme bez jednoduché charakteristiky makroskopického posouzení stavu hlávek (viz tab. 1).

Tab. 1 Stupně vysušení hlávek

Charakteristika hlávek	Vlhkost hlávek v %	Název stupně vysušení
Celá stopka se láme, u hlávek střední velikosti nejspodnější články vřeténka ztrácejí pružnost a lámou se. Vlhkost vzorku chmele značně kolísá podle vyrovnanosti hlávek. Při vyšším zastoupení větších hlávek může vlhkost překročit i hranici 11%. Nejčastěji se hodnota vlhkosti u vyrovnané velikosti hlávek pohybuje v rozmezí 8 – 10%.	8 - 11	na stopku
Celé vřeténko je suché a lámavé. Pouze ojediněle u přerostlých hlávek jsou vrcholové články vřeténka elastické. Listeny se dobře oddělují od vřeténka.	5 - 7	na vřeténko

V současné době, kdy se chmel po usušení dále upravuje (řízená klimatizace), vysouší se na vřetenko, tj. na vlhkost 5 – 7%. V experimentální komorové sušárně byla snaha chmel sušit na stopku.

Pod hranicí 5% vlhkosti je chmel přesušený, což může nežádoucím způsobem ovlivnit chemické parametry hlávek. Usušený chmel je křehký a málo odolný proti rozpadu při manipulaci. Rozpadlé hlávky jsou v pivovarech těžko zpracovatelné a nejsou rovněž příliš vhodné při zpracování na mleté chmele, kde zhoršují homogenitu partií. Usušené hlávky jsou hygroskopické a snadno přijímají vlhkost z okolního prostředí. Jsou citlivé na světlo, a proto jsou-li delší dobu osvětleny, nastávají v nich biochemické změny, které mají za následek vznik červenohnědé barvy hlávek, která je z obchodního hlediska nežádoucí. Chmelové hlávky snadno absorbují okolní pachy. Negativně se projevuje i přítomnost čpavku, který mění jejich barevný odstín do žluta (Rybáček et al. 1980).

#### **4. Experimentální komorová sušárna**

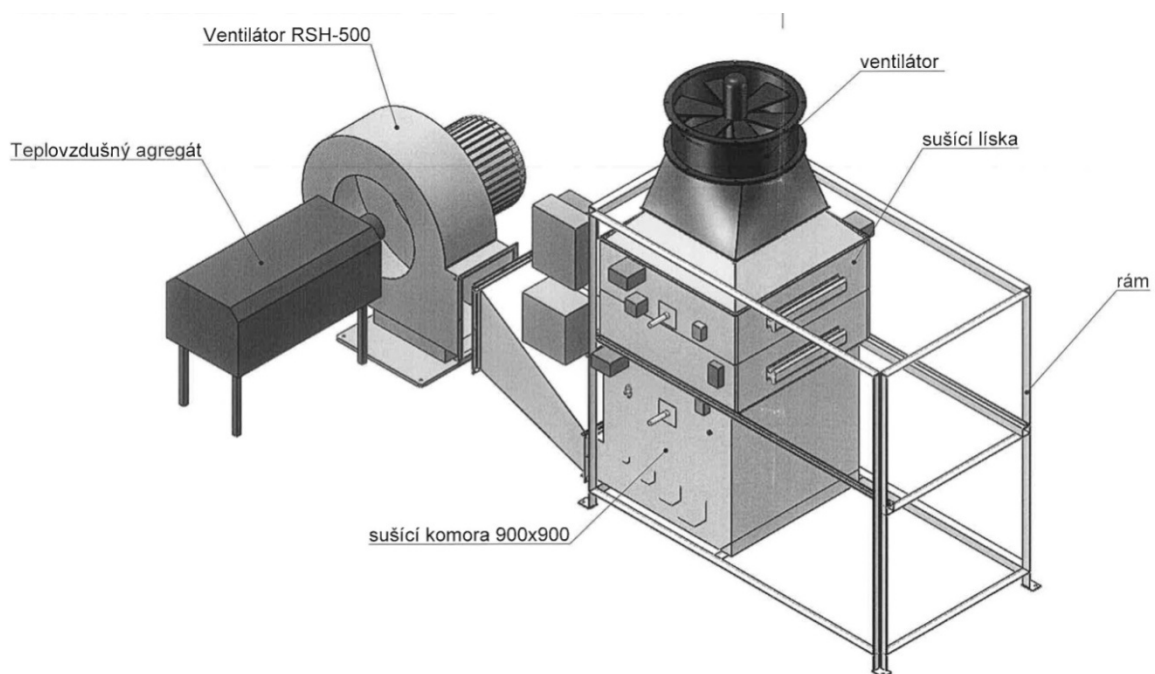
Experimentální komorová sušárna (obr. 6) byla navržena v podobě samonosné ocelové konstrukce s vloženými dřevěnými lískami o rozměru 900x900x300 mm pro uložení sušeného chmele. Hmotnost zeleného chmele v jedné lísce byla cca 20 kg.

Sušárnu vyhřívá elektrický teplovzdušný agregát Thermobile VTB - 18000 o výkonu 18 kW (obr. 7). Teplota ohřivaného vzduchu je snímána pomocí platinového odporového teplotní čidla Pt 100 (při 0°C - odpor 100 Ω) umístěného za přívodem vzduchu do sušárny, přičemž je teplota vzduchu regulována pomocí indikační a řídicí jednotky („termostatu“) BASPELIN KTR (obr. 8, poz. 3), která ovládá teplovzdušný agregát.

Ohřátý vzduch je do sušárny vháněn radiálním středotlakým ventilátorem RSH 500 – 1,5 kW (obr. 7). Množství vháněného vzduchu je možné nastavit změnou frekvence otáčení ventilátoru frekvenčním měničem (0 – 50 Hz).



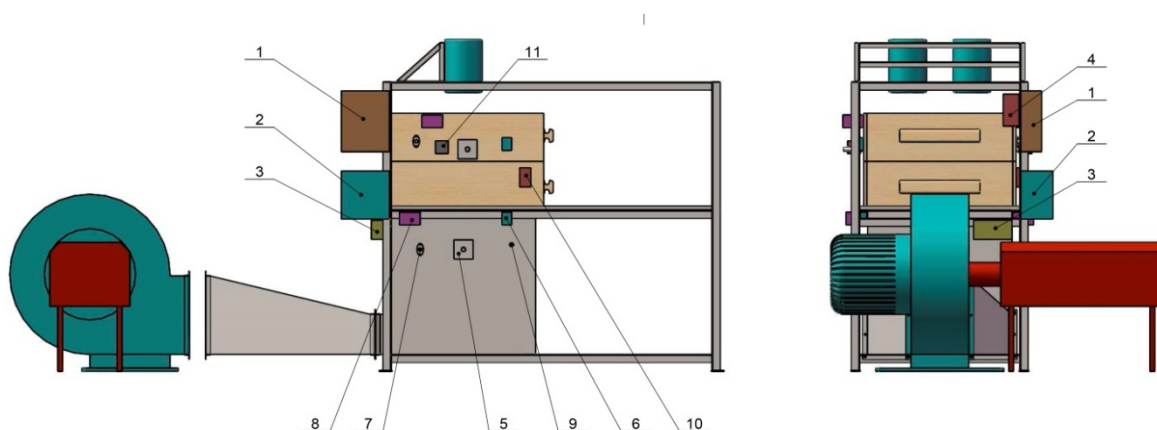
Obr. 6 Pohled na experimentální komorovou sušárnu  
(Foto: autor)



Obr. 7 Schéma experimentální komorové sušárny  
(Zdroj: Chmelařství, družstvo Žatec)



Z obrázku 7 je patrné, že ohřátý vzduch je přímo nasměrován do sání ventilátoru. Mezi výtlakem ventilátoru a sušárnou je vloženo krátké přívodní potrubí, které usměrňuje a rozvádí dopravovaný vzduch na celou šířku sušárny. Na přívodní potrubí navazuje sušící komora v dolní části sušárny, která je osazena klapkami pro usměrnění proudu vzduchu. Tím je dosaženo rovnoměrné proudění v celé půdorysné ploše sušárny. Rovnoměrnost proudění vzduchu se ještě zlepší po vložení sušeného chmele, neboť vrstva sušeného chmele tvoří odpor v proudění vzduchu, a tím se pod vrstvou vytvoří mírný přetlak (Rybka et al. 2015).



Obr. 8 Rozmístění řídicích prvků a snímačů na experimentální komorové sušárně (původní provedení s axiálními ventilátory TD – 800)

(Zdroj: Rybka et al. 2015)

(Pozice: 1 - pojistková skříň, 2 - frekvenční měnič, 3 - indikační a řídicí jednotka BASPELIN KTR, 4 - elektroměr NOARK EDN 3412, 5 - sonda dataloggeru COMET S3121, 6 - datalogger COMET S3121, 7 - sonda rychlosti proudění vzduchu GSMU 575, 8 - zobrazovací jednotka sondy rychlosti proudění vzduchu GIA 2000, 9 - sonda manometru, 10 - manometr GHM 3161 - 002, 11 - vlhkoměr.)

Pod a nad vrstvou chmele jsou umístěny sondy pro měření teploty, relativní vlhkosti, přetlaku a rychlosti proudění vzduchu. Podrobnější popsání jednotlivých sond je uvedeno v kapitole 5.3. Měřené veličiny a přístroje. Celkovou spotřebu elektrické energie měří elektroměr NOARK EDN 3412 (obr. 8, poz. 4). Spotřebu elektrické energie teplovzdušného agregátu měří elektroměr stejného typu.

Nad vrstvou chmele byly původně umístěny dva axiální ventilátory TD – 800 (obr. 8) pro ověření možnosti odtahu (vytvoření podtlaku) nad měřenou vrstvou, ty se

ovšem neosvědčily a v roce 2016 byl místo nich nainstalován jeden axiální ventilátor (obr. 7) APZC – 630 (1,5 kW), který dokáže vytvořit podtlak i pod vrstvou chmele. Pro regulaci frekvence otáčení axiálního ventilátoru je na EKS umístěn další frekvenční měnič (0 – 50 Hz).

## 5. Metodika měření na experimentální komorové sušárně chmele

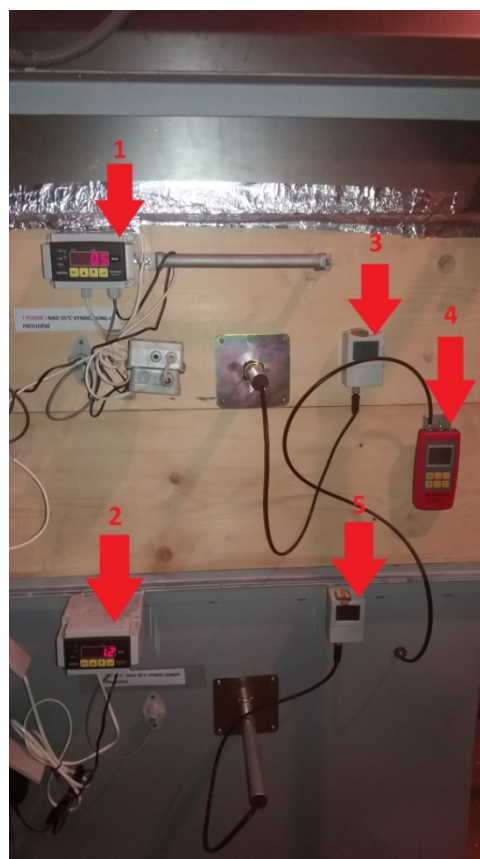
### 5.1. Zainteresoované podniky

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta; Chmelařství, družstvo Žatec; Chmelařský institut s.r.o. Žatec.

### 5.2. Měřené odrůdy:

- Žatecký poloraný červeňák - 23. 8. 2017 – při teplotě 55°C,
- Harmonie – 29. 8. 2017 – při teplotě 40°C,
- Žatecký poloraný červeňák – 30. 8. 2017 – při teplotě 40°C,
- Agnus – 7. 9. 2017 - při teplotě 40°C,
- Sládek – 12. 9. 2017 - při teplotě 40°C,
- Vital – 18. 9. 2017 - při teplotě 40°C,
- Kazbek – 19. 9. 2017 - při teplotě 40°C.

Vzhledem k rozsahu diplomové práce budou v kapitole 7. uvedeny výsledky měření sušení odrůdy ŽPČ při rozdílných teplotách, sušení odrůdy Harmonie a sušení nových odrůd Vital a Kazbek, které jsou náchylné na vyšší teploty.



Obr. 9 Měřicí přístroje na EKS

(Pozice: 1 – sonda GREISINGER GIA 2000/GIR 2002 nad vrstvou chmele, 2 – sonda GREISINGER GIA 2000/GIR 2002 pod vrstvou chmele, 3 – dataloger COMET R0110 nad vrstvou chmele, 4 – tlakoměr GREISINGER 3100 pod vrstvou chmele, 5 – dataloger COMET R0110 pod vrstvou chmele.)

(Foto: autor)

### 5.3. Měřené veličiny a přístroje

- teplota a relativní vlhkost vzduchu pod vrstvou chmele – 2x datalogger COMET S3121 (obr. 9, poz. 5),
- rychlost proudění vzduchu pod vrstvou chmele – 2x převodník proudění vzduchu GSMU 575 + zobrazovač GIA 2000 (obr. 9, poz. 2),
- tlak vzduchu pod vrstvou chmele – Manometr GHM 3161 - 002 (obr. 9, poz. 4),
- teplota a relativní vlhkost vzduchu nad vrstvou chmele – 2x datalogger COMET S3121 (obr. 9, poz. 3),
- rychlost proudění vzduchu nad vrstvou chmele – 2x převodník proudění vzduchu GSMU 575 + zobrazovač GIA 2000 (obr. 9, poz. 1),
- teplota vhaněného vzduchu – indikační a řídicí jednotka BASPELIN KTR + kabelové teplotní čidlo Pt 100,
- spotřeba energie – 2 x elektroměr NOARK EDN 3412.

Relativní vlhkost a teplota vzduchu (nad i pod vrstvou chmele) byly zaznamenávány automaticky každých 15 minut (v elektronické podobě), ostatní hodnoty se opisovaly ručně každých 30 minut do připravených tabulek. Vzorky sušeného chmele se odebíraly po dvou hodinách a následně byly zkoumány v laboratoři Chmelařského institutu s.r.o. v Žatci, kde se zjišťovala vlhkost a obsah tepelně labilních látek.

## 6. Postup měření

Sušení probíhalo v prostorách podniku Chmelařství, družstvo Žatec – závod Mechanizace v tzv. obloukové hale.

Hlavním cílem bylo sušení chmele při nízkých teplotách, které jsou důležité pro uchování cenných látek ve chmelu.

Na experimentální komorové sušárně byla udržovaná teplota mezi 40-45°C. U odrůdy Žatecký poloraný červeňák byla u jednoho vzorku vyzkoušena teplota

sušení 55°C. Sušení jedné odrůdy probíhalo vždy jeden den a délka sušení se odvíjela od vlhkosti chmelových hlávek.

Uvedených teplot bylo docíleno pomocí teplovzdušného agregátu a ventilátoru, který byl ovládán pomocí frekvenčního měniče. Pomocí frekvence ventilátoru a termostatu se upravovala sušicí teplota. Veškeré otvory kolem vstupu hořáku do ventilátoru byly utěsněny hliníkovou fólií. Stejně tak bylo po každém vyjmutí lísky utěšňována štěrbina mezi lískou a tubusem odsávacího ventilátoru pro zamezení nasávání vzduchu z okolního prostředí EKS. Oblouková hala, kde sušení probíhalo, byla oproti předchozím létům uzavřena, aby nedocházelo k nasávání vzduchu o vyšší relativní vlhkosti, než je v obloukové hale. Uvedená skutečnost měla také vliv na teplotu vzduchu v okolí EKS. Vstupní i odsávací ventilátor byly téměř po celou dobu sušení spuštěny na maximální frekvenci otáčení. Pouze při spuštění sušárny se pomocí frekvenčního měniče omezila frekvence otáčení ventilátorů po dobu nezbytně nutnou k dosažení požadované teploty a dále v případě, že docházelo k rychlému klesání teploty sušicího vzduchu. To mělo za následek zrychlení sušicího procesu, nižší teplota byla kompenzována vyšším průtokem vzduchu.



Obr. 10 Líska částečně naplněná chmelem; při měření byla líska zcela zaplněna  
(Zdroj: Rybka et al. 2015)



Obr. 11 Líska se zabudovanými sondami a sítovým dnem  
(Zdroj: Rybka et al. 2017)

Vzorek zeleného chmele (cca 20 kg) byl uložen v lísce 900 x 900 x 300 mm (obr. 10), která byla zcela zaplněná. Na tuto lísku byla umístěna druhá líska, která měla zabudované měřicí snímače a současně svým sítovým dnem bránila pohybu chmelových hlávek v proudu vzduchu (obr. 11). Další sada snímačů byla umístěna pod lískou s chmelem. Mimo pevných snímačů byly do vrstvy vloženy tři datalogery VOLTcraft DL-121-TH, které měřily teplotu a relativní vlhkost vzduchu ve vrstvě chmele. Datalogery byly rovnoměrně plošně rozmístěny do vrstvy chmele tak, aby nebyly vidět.

Z měřících přístrojů byly zaznamenávány hodnoty každých 15 resp. 30 minut. Každé dvě hodiny byly odebrány vzorky pro zjištění vlhkosti chmele pomocí laboratorní zkoušky, která se prováděla následující den. Také byla pro kontrolu měřena vlhkost chmele ručním měřícím zařízením (vlhkoměr GMK 310).

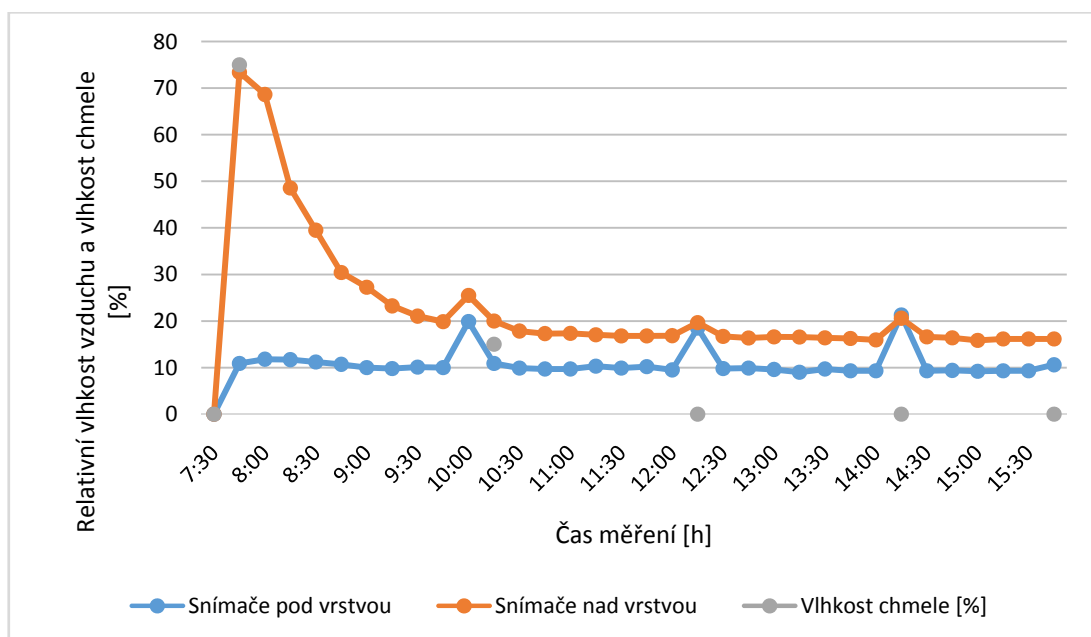
Pokud kontrolní měření vlhkosti chmele pomocí ručního vlhkoměru vykazovala požadovanou hodnotu kolem 10%, pokračovalo se v sušení ještě 1 až 2 hodiny, aby došlo k přesušení. Po ukončení sušení byl chmel zanechán v lísce přes noc kvůli ustálení chmele. Po zkušenostech z pokusných měření, bylo totiž zjištěno, že vlhkost chmele se po ustálení zvýší. Hmotnost vzorku chmele se po usušení zmenšila cca na čtvrtinu.

## 7. Výsledky měření a jejich analýza

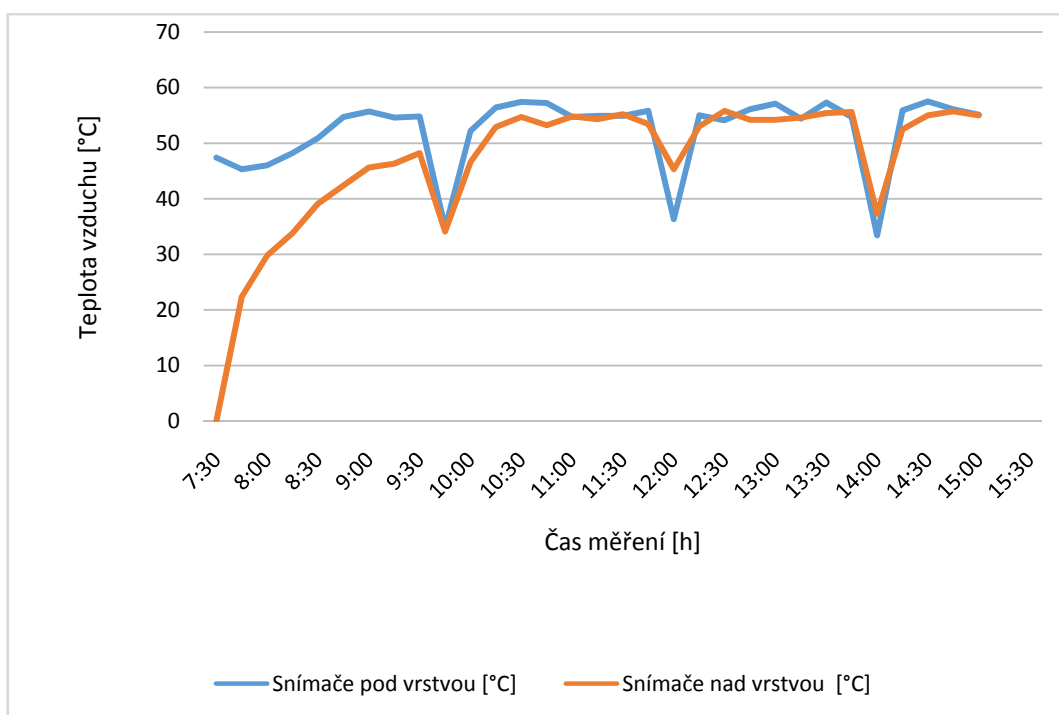
### 7.1. Odrůda Žatecký poloraný červeňák

#### 7.1.1. Odrůda Žatecký poloraný červeňák při sušící teplotě 55°C

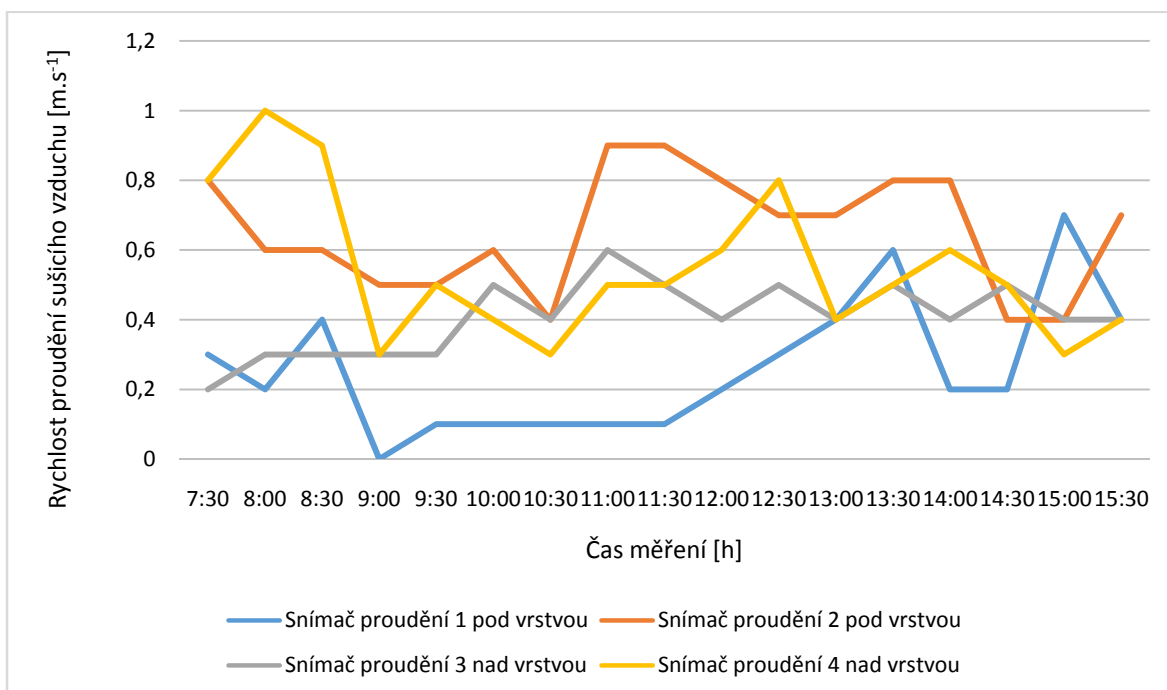
První vzorek odrůdy Žatecký poloraný červeňák (ŽPČ) byl sušen při klasické sušící teplotě do 60°C. Hmotnost zeleného chmele, byla na začátku sušení 15,30 kg a jeho vlhkost 75%. Hmotnost chmele po ukončení měření klesla na 3,86 kg. Sušení trvalo 8 hodin. Vlhkost posledního odebíraného vzorku chmele měřená pomocí ručního vlhkoměru nebyla zjištěna, to znamená, že vzorek měl vlhkost pod 7% (hodnota mimo rozsah přístroje). Po ustálení (za 15,5 hodiny) byla naměřena vlhkost chmele 10,2%. Laboratorní měření vlhkosti nebylo provedeno. Na obr. 12 je zobrazena relativní vlhkost vzduchu nad vrstvou i pod vrstvou chmele a vlhkost chmele v závislosti na čase měření. Teplota a proudění vzduchu v závislosti na čase měření, jsou zobrazeny na obr. 13 a 14. Ostatní měřené parametry zobrazuje graf na obr. 15.



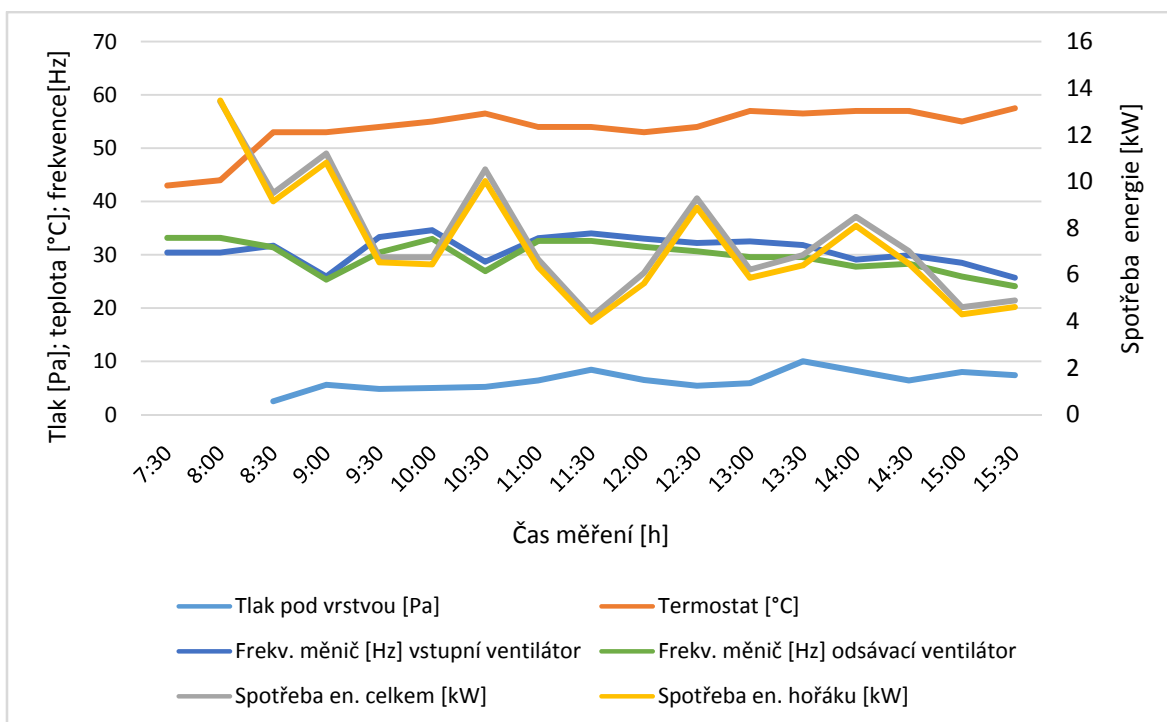
Obr. 12 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření



Obr. 13 Závislost teploty vzduchu na čase měření



Obr. 14 Závislost rychlosti proudění sušícího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele

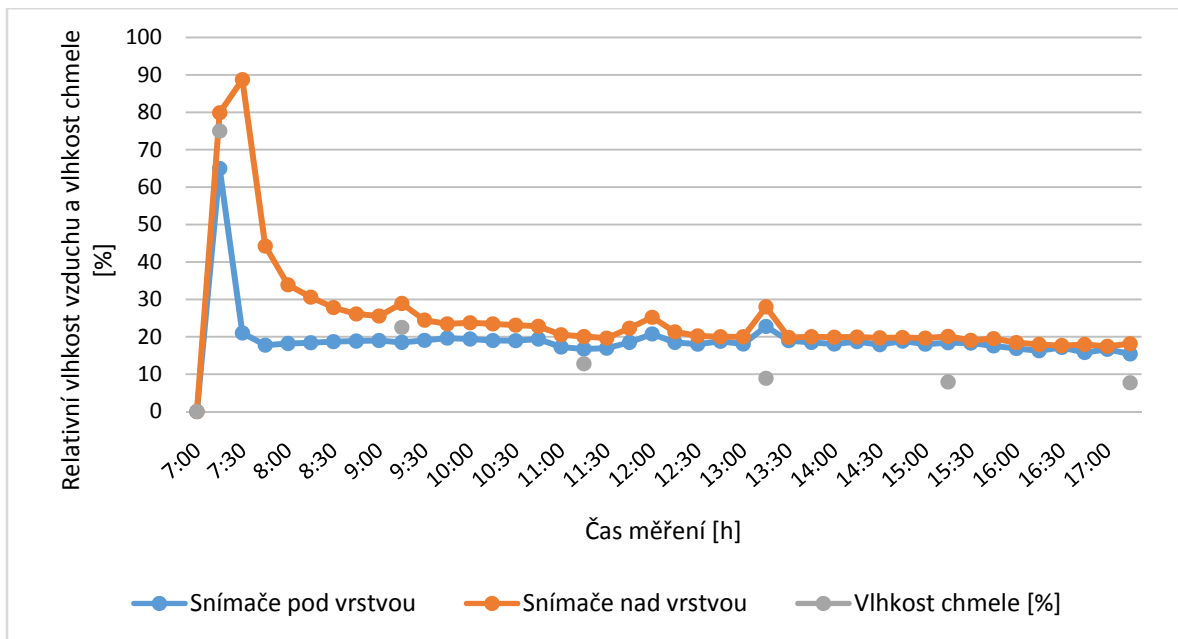


Obr. 15 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření

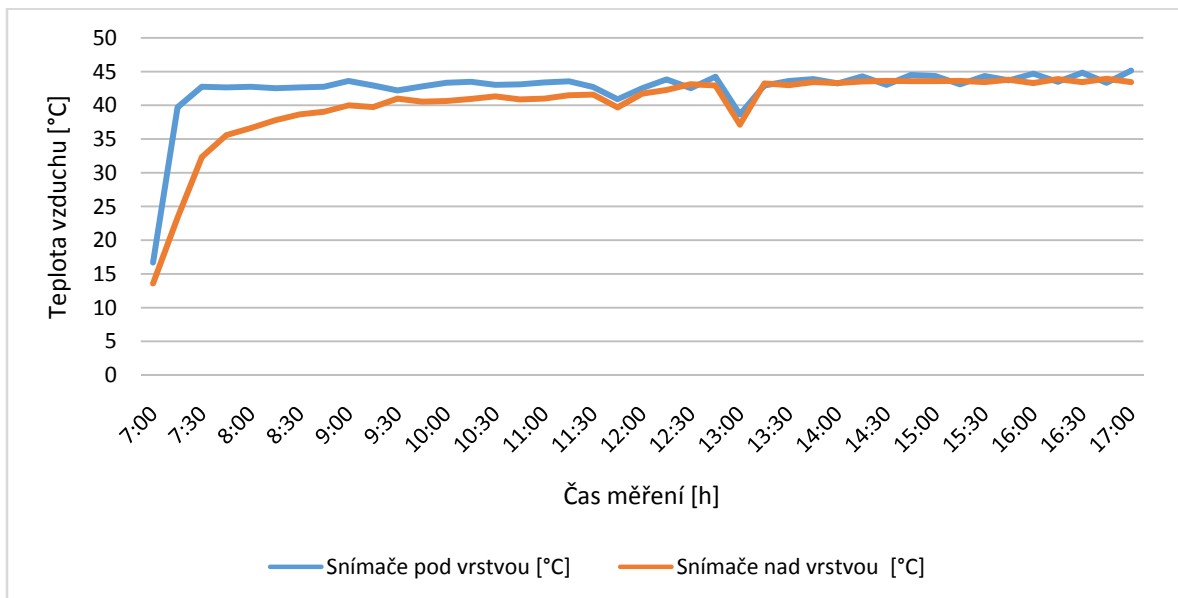
### 7.1.2. Odrůda Žatecký poloraný červeňák při sušící teplotě 40°C

Další vzorek odrůdy Žatecký poloraný červeňák (ŽPČ) byl sušen již při sušící teplotě 40°C. Hmotnost zeleného chmele, byla na začátku sušení 17,50 kg a jeho vlhkost 75%. Hmotnost chmele po ukončení měření klesla na 4,50 kg. Sušení trvalo 10 hodin. Vlhkost posledního odebíraného vzorku chmele měřená pomocí ručního vlhkoměru byla 7,7%. Vlhkost zjištěná laboratorní vázkovou metodou po ustálení (za cca 15 hodin) byla 6,8%. Na obr. 16 je zobrazena relativní vlhkost vzduchu nad vrstvou i pod vrstvou chmele a vlhkost chmele v závislosti na čase měření. Teplota a proudění vzduchu v závislosti na čase měření, jsou zobrazeny na obr. 17 a 18. Ostatní měřené parametry zobrazuje graf na obr. 19.

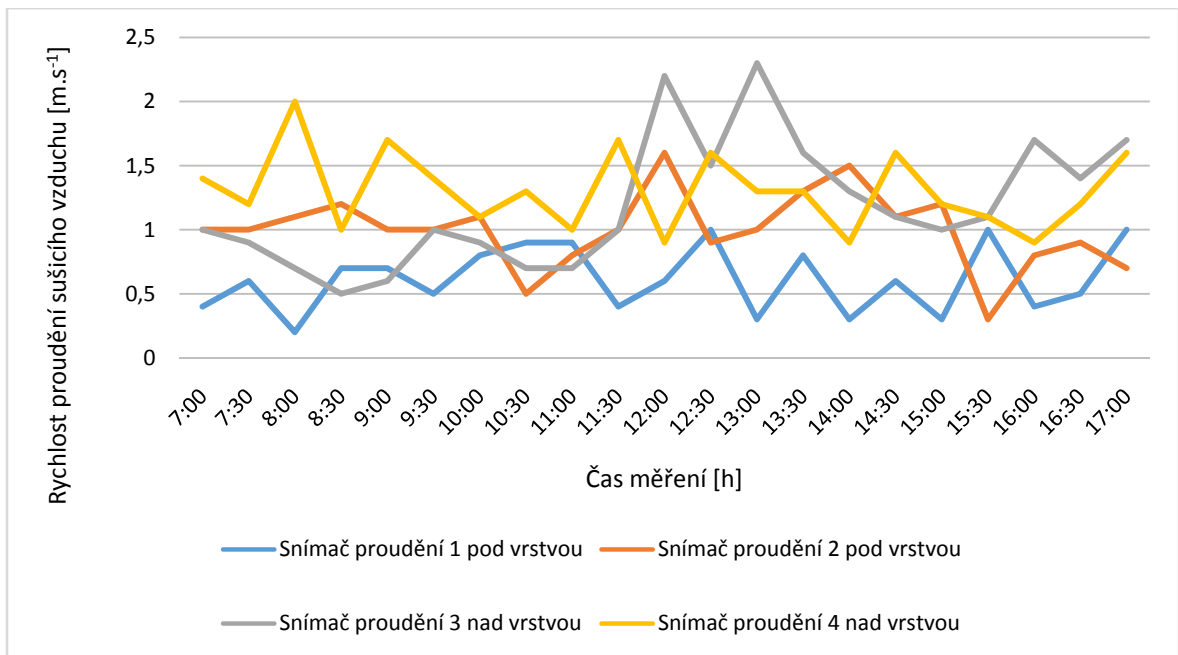




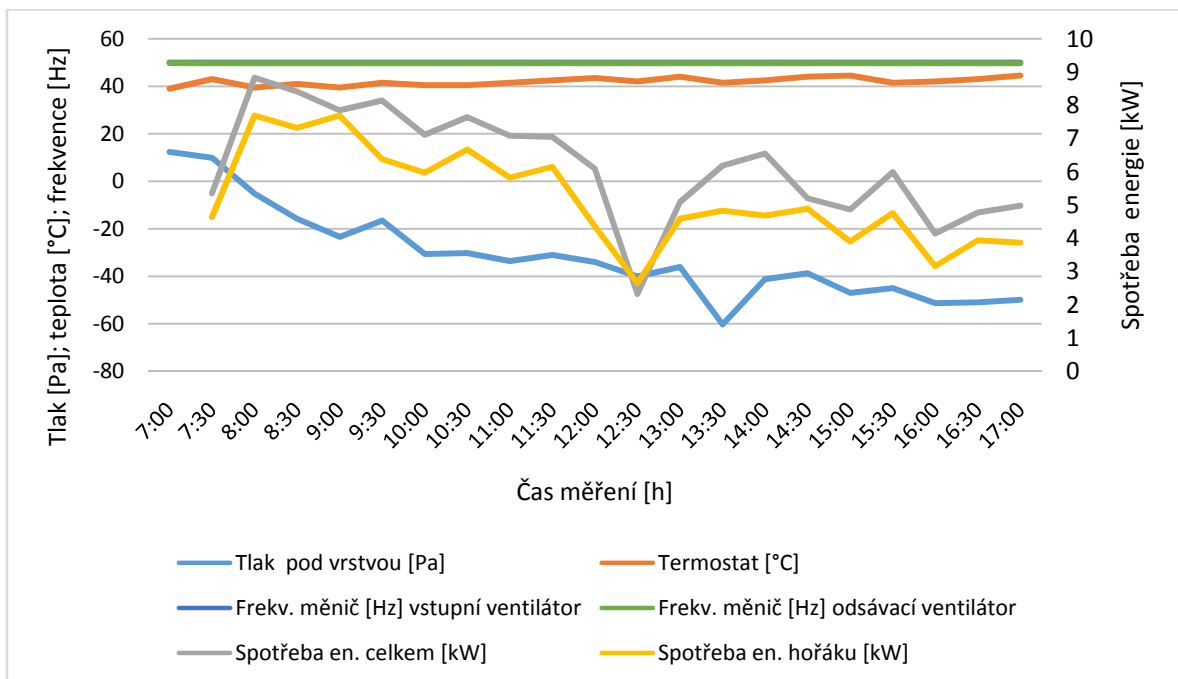
Obr. 16 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření



Obr. 17 Závislost teploty vzduchu na čase měření



Obr. 18 Závislost rychlosti proudění sušícího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele



Obr. 19 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření

### 7.1.3. Porovnání měřených hodnot dvou vzorků ŽPČ při odlišných sušících teplotách

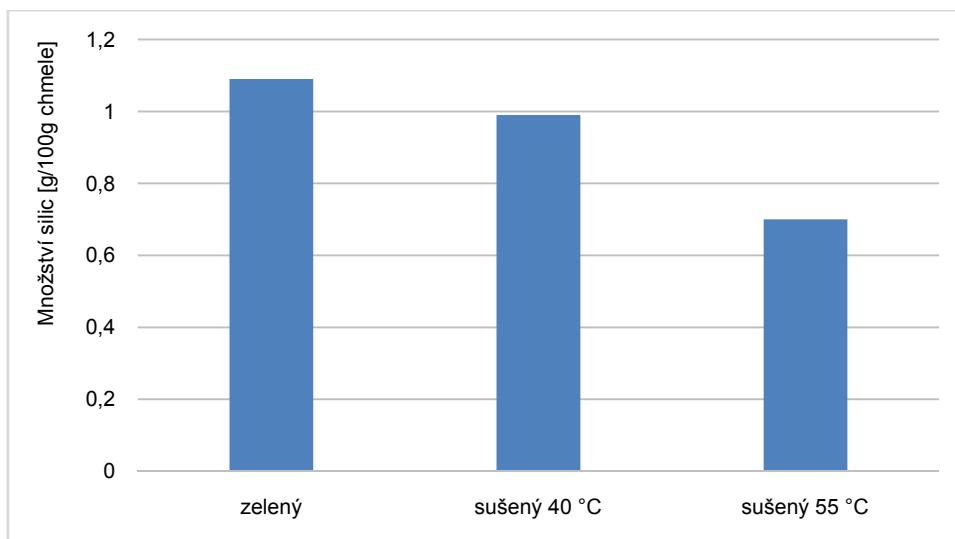
Oba vzorky chmele ŽPČ se podařilo usušit na požadované hodnoty vlhkosti.

Porovnáme – li grafy na obr. 15 a 19, je patrné, že v případě sušení při vyšších teplotách kolem 55°C se kvůli udržení potřebné teploty vzduchu často regulovala frekvence otáčení obou ventilátorů, a tím se snížily i rychlosti proudění na měřených místech oproti měření při teplotách kolem 40°C (obr. 14 a 18). Bylo nutné teplotu vzduchu udržovat kolem 55°C, neboť při teplotách blízkých 60°C by mohlo dojít k poškození snímačů proudění.

Tlak pod vrstvou chmele vykazoval odlišné hodnoty v obou případech měření. Při 55°C byl po celou dobu sušení pod vrstvou mírný přetlak – max. 8 Pa. Frekvence otáčení se po celou dobu měnily u obou ventilátorů (obr. 15). Naproti tomu při šetrném sušení (40°C) byl naměřen přetlak první dvě hodiny sušení (max. 12,4 Pa) a poté až do konce sušení podtlak (max. 50 Pa). Oba ventilátory byly nastaveny po celou dobu na maximální frekvenci otáčení (obr. 19). Klesání tlaku je dáno změnou podmínek v materiálu - ustálením vrstvy chmele v lísce a počátečnímu rychlému snížení vlhkosti chmele. Z hodnot tlaku lze také vyvodit, že odsávací ventilátor je výkonnější než vstupní.

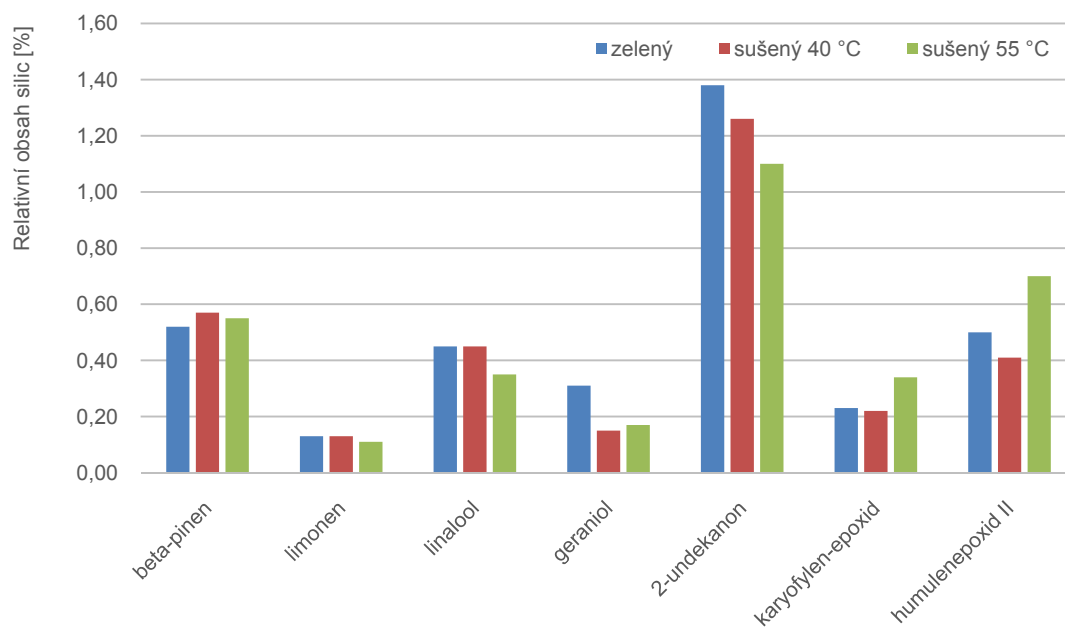
Teplota v prvním případě měření více kolísala (obr. 13) a dále, docházelo k výkyvům okamžité spotřeby energie (obr. 15). Celková spotřeba energie činí u sušení při 55°C 122,43 kW během osmi hodin a u sušení při 40°C 123,63 kW během deseti hodin. Z toho vyplývá, že spotřeba energie při šetrném sušení je téměř stejná. Doba sušení je ale delší.

Při laboratorním měření silic u ŽPČ bylo prokázáno, že jejich odpařování je závislé na teplotě a době sušení (obr. 20). Z grafu je jednoznačně vidět rozdíl zachování silic mezi sušením při 40°C a 55°C. Odpařování probíhá u všech silic přibližně rovnoměrně, proto relativní obsah silic v grafech na obr. 21 a 22 je také přibližně stejný bez ohledu na způsob sušení. Za 100% je vždy brán obsah zachovaných silic (Rybka et al. 2017).



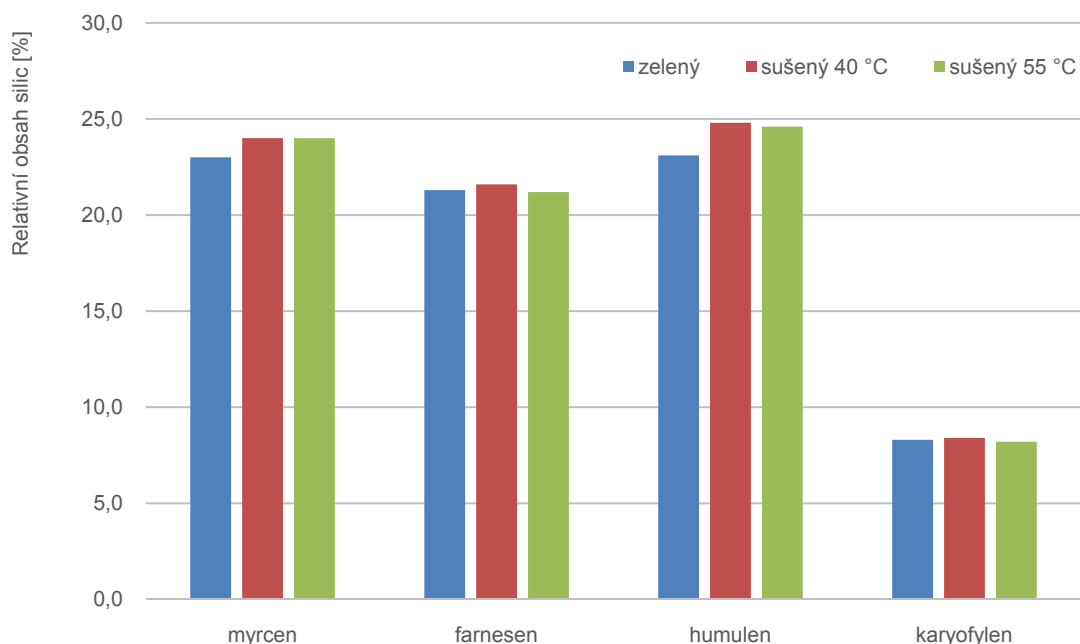
Obr. 20 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách sušicího vzduchu

(Zdroj: Rybka et al. 2017)



Obr. 21 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 1. část

(Zdroj: Rybka et al. 2017)



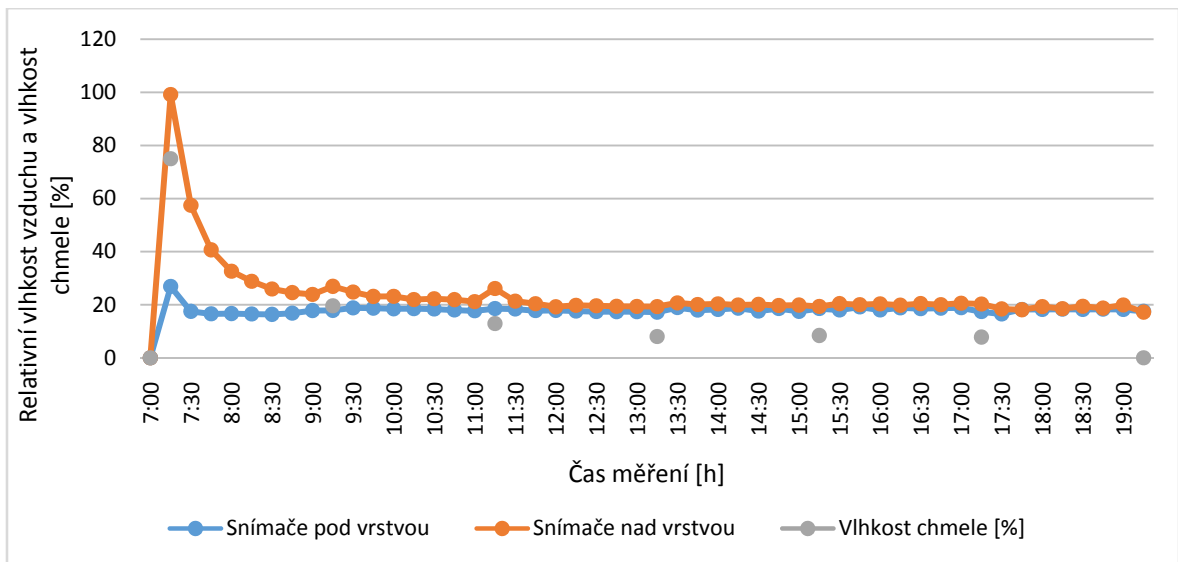
Obr. 22 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 2. část

(Zdroj: Rybka et al. 2017)

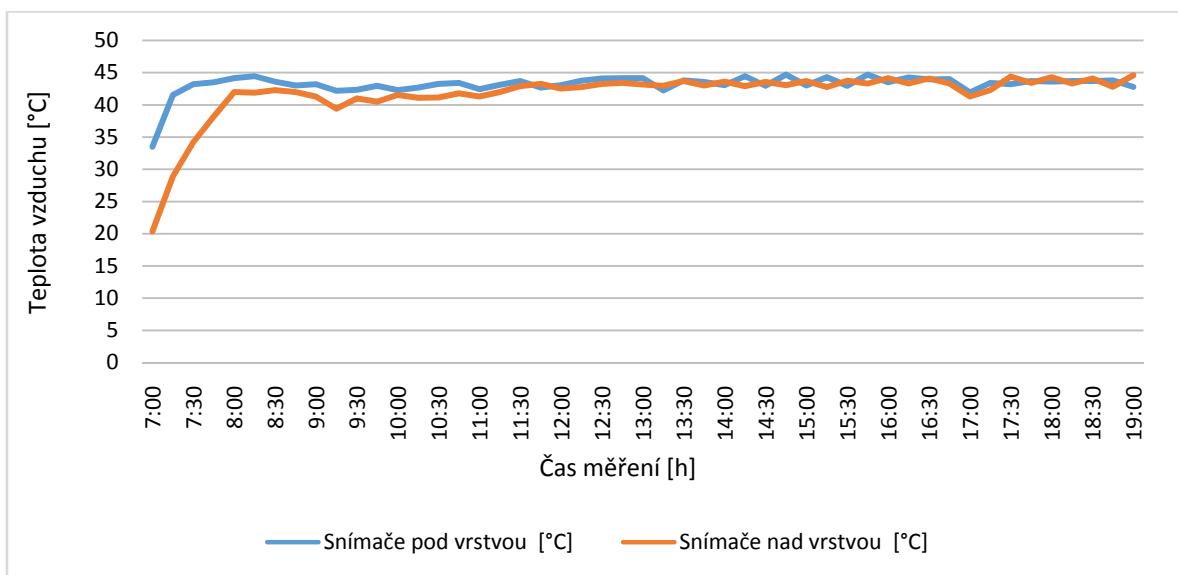
## 7.2. Odrůda Harmonie při sušící teplotě 40°C

Dalším vybraným vzorkem pro šetrné sušení byla odrůda Harmonie. Hmotnost zeleného chmele, byla na začátku sušení 21,10 kg a jeho vlhkost 75%. Hmotnost chmele po ukončení měření klesla na 4,70 kg. Sušení trvalo 12 hodin. Vlhkost posledního odebíraného vzorku chmele, měřená pomocí ručního vlhkoměru nebyla zjištěna, to znamená hodnotu pod 7% vlhkosti. Vlhkost zjištěná laboratorní vázkovou metodou po ustálení (za cca 13 hodin) byla 8,4%. Na obr. 23 - 26 jsou zobrazeny měřené veličiny v závislosti na čase.

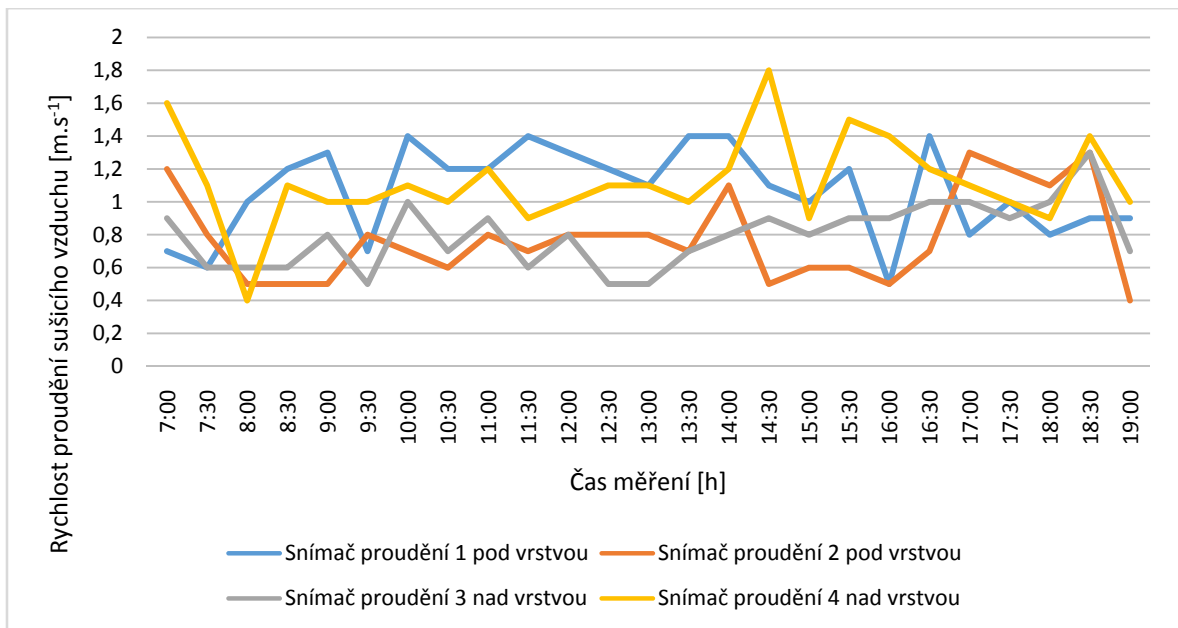
U odrůdy Harmonie se také provedlo porovnání zastoupení silic v sušeném vzorku v EKS na teplotu 40°C a vzorku z provozní sušárny PSCH 325 Účelového hospodářství Stekník Chmelařského institutu s.r.o. Žatec sušeném na 55°C (obr. 27 - 29).



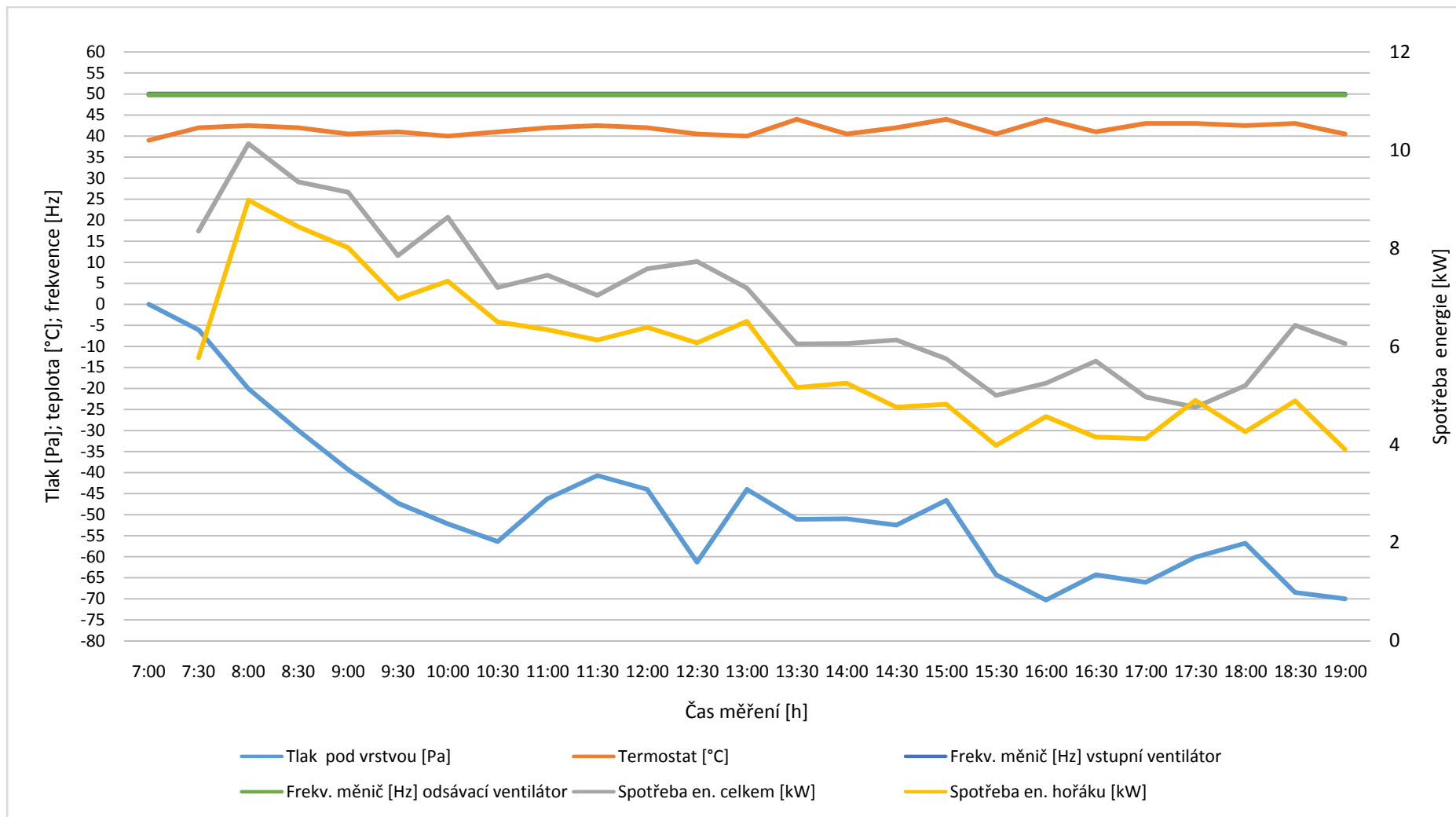
Obr. 23 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření



Obr. 24 Závislost teploty vzduchu na čase měření



Obr. 25 Závislost rychlosti proudění sušícího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele

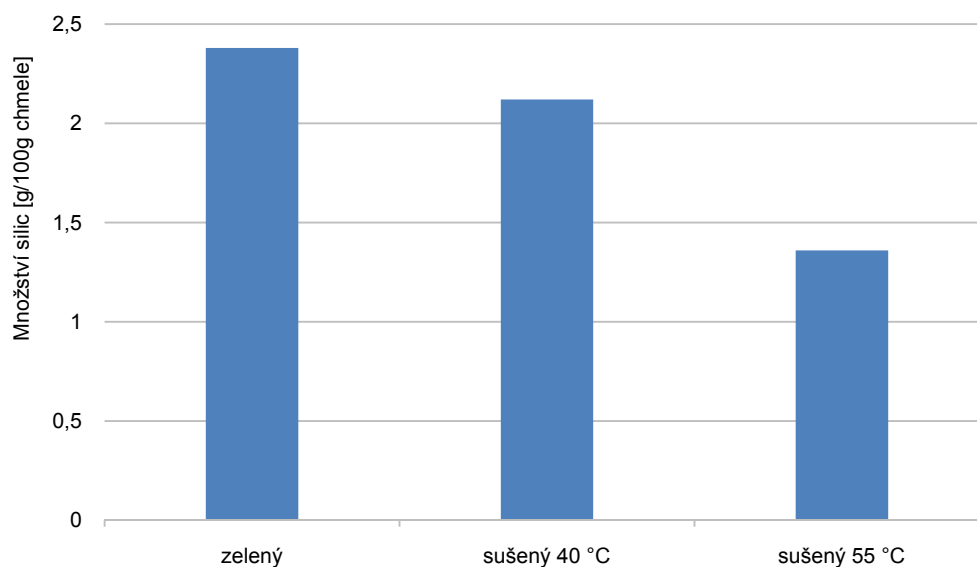


Obr. 26 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření



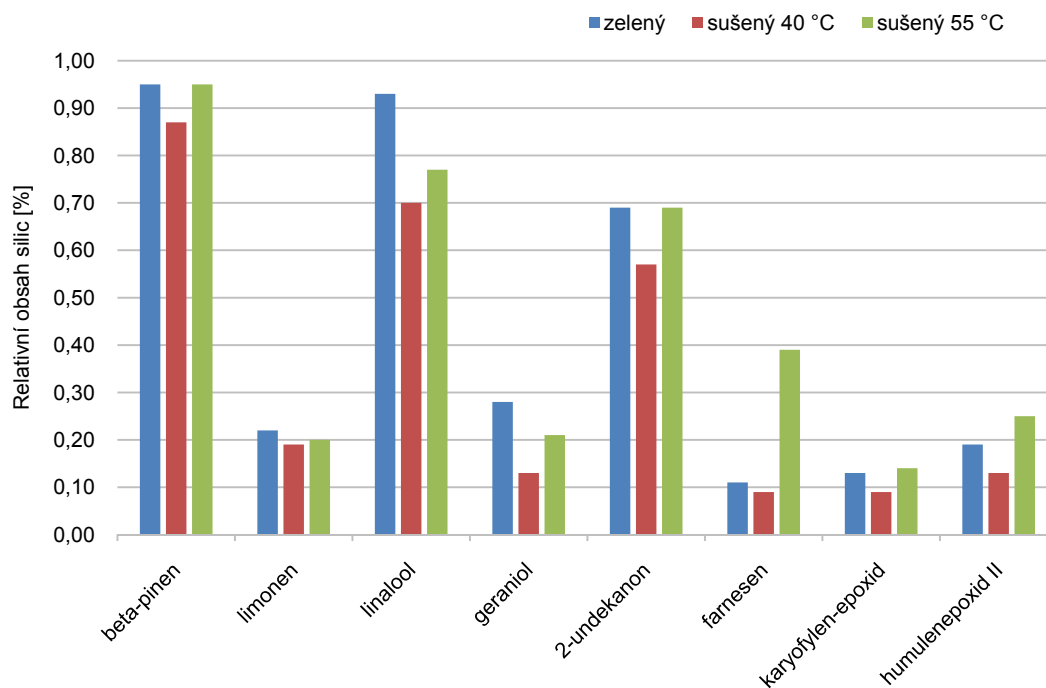
Křivky relativní vlhkosti vzduchu, vlhkosti chmele a teploty vzduchu mají tvar velmi podobný jako v případě odrůdy ŽPČ (obr. 23 a 24). Křivky proudění vzduchu mají opět velmi proměnlivý charakter (obr. 25). Je patrné, že oba ventilátory byly již od počátku sušení nastaveny na maximální frekvenci otáčení. Nastavené frekvence ventilátorů jsou proto na obr. 26 zobrazeny jako přímky a překrývají se. Požadované teploty bylo na začátku sušení dosaženo velmi rychle (obr. 26). Od začátku sušení byl pod vrstvou chmele podtlak, to znamená, že odrůda Harmonie je ve vrstvě chmele, díky své charakteristice hlávek, velmi rychle stabilní a snadno se provzdušňuje. Většinový podíl energie spotřeboval teplovzdušný agregát, dokonce v jeden okamžik převýšila spotřeba agregátu celkovou spotřebu, v tento okamžik nebyly v provozu ostatní spotřebiče.

Laboratorním měření silic odrůdy Harmonie prokázalo rozdíl zachování silic mezi sušením na EKS při 40°C a při sušení na provozní sušárně při 55°C (obr. 27). Odpařování probíhá u všech silic přibližně rovnoměrně, proto relativní obsah silic v grafech na obr. 28 a 29 je také přibližně stejný bez ohledu na způsob sušení, stejně jako v případě odrůdy ŽPČ.



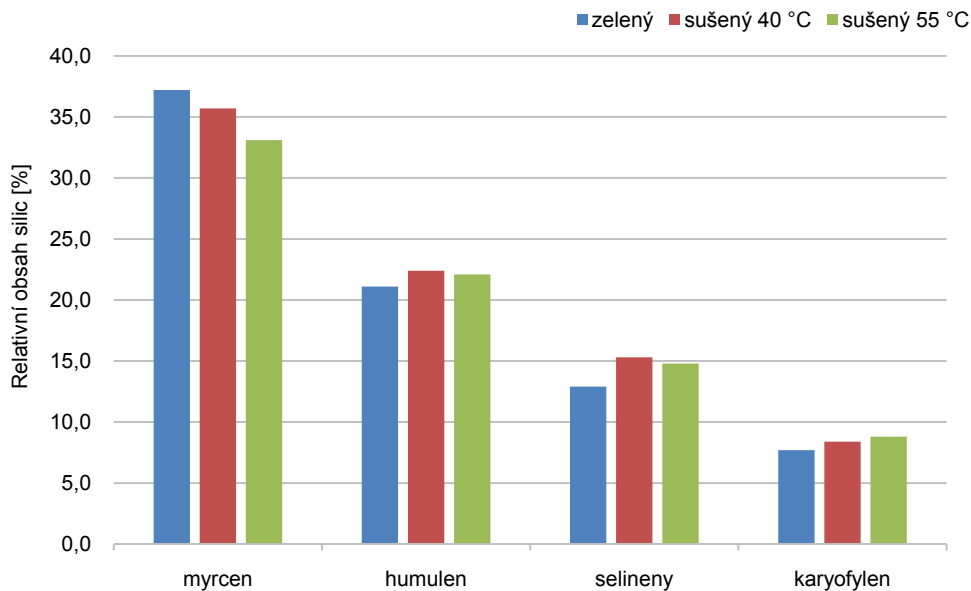
Obr. 27 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách sušícího vzduchu

(Zdroj: Rybka et al. 2017)



Obr. 28 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 1. část

(Zdroj: Rybka et al. 2017)

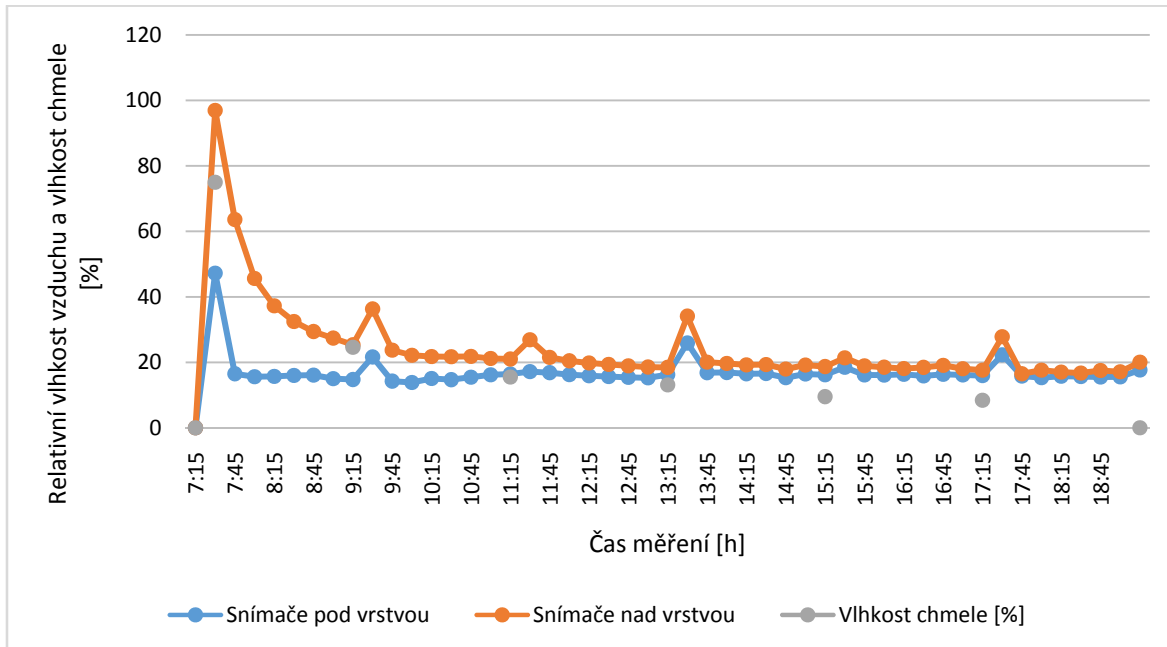


Obr. 29 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 2. část

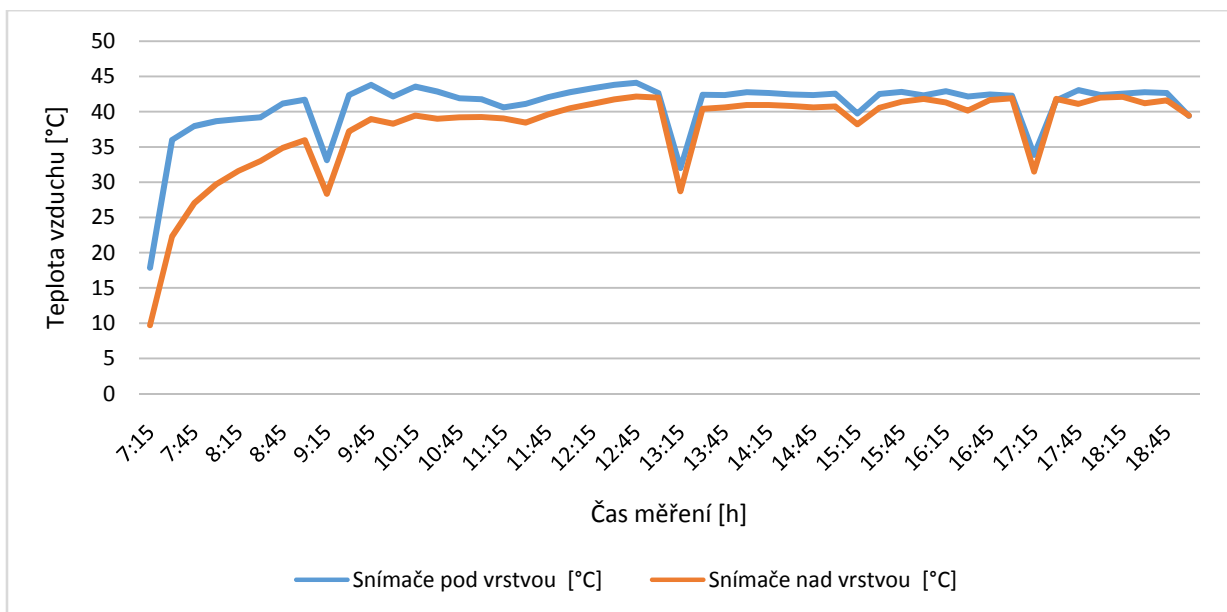
(Zdroj: Rybka et al. 2017)

### 7.3. Odrůda Vital při sušící teplotě 40°C

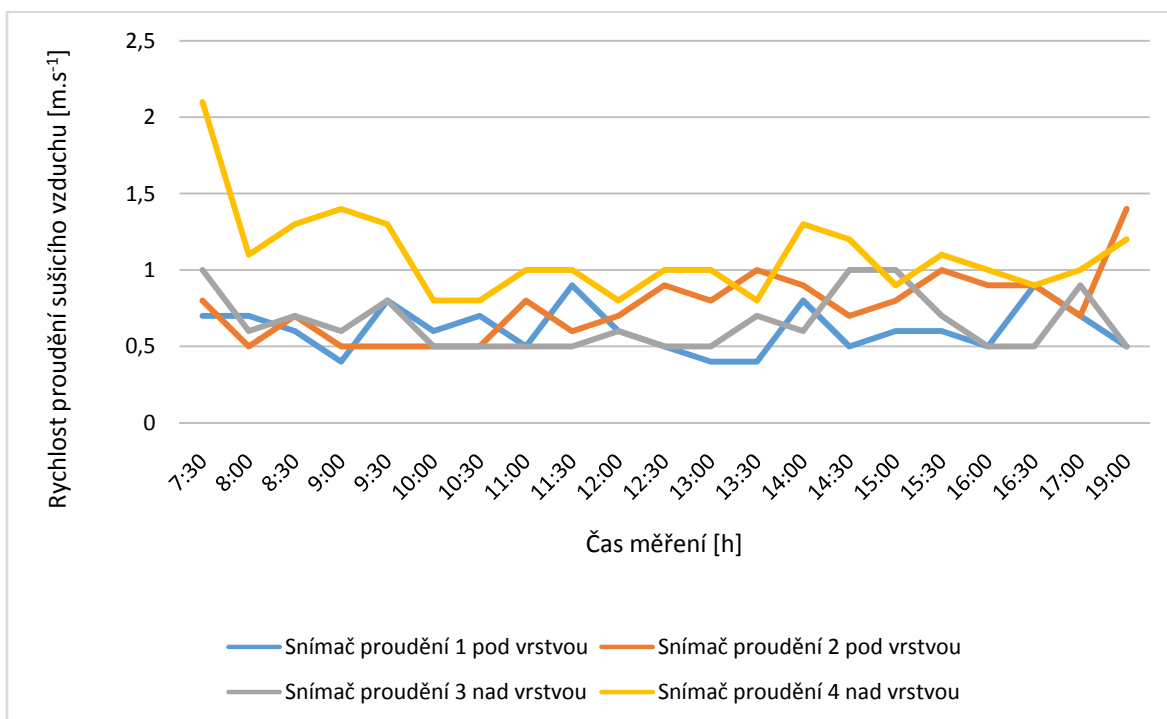
Odrůda chmele Vital je jednou z nových odrůd, jejíž látky (např. silice) jsou citlivé na vysokou teplotu (55°C – 60°C) při klasickém způsobu sušení v sušárnách. Kvůli těmto odrůdám se v současné době navrhuje šetrný způsob sušení. Hmotnost vzorku zeleného chmele na začátku sušení byla 24,40 kg a jeho vlhkost 75%. Hmotnost chmele po ukončení měření klesla na 7,50 kg. Sušení trvalo 11 hodin, 45 minut. Vlhkost posledního odebíraného vzorku chmele, měřená pomocí ručního vlhkoměru nebyla zjištěna, to znamená hodnotu pod 7% vlhkosti. Vlhkost zjištěná laboratorní vázkovou metodou po ustálení (za cca 15 hodin) byla 10,3%. Na obr. 30 - 33 jsou zobrazeny měřené veličiny v závislosti na čase. Na obr. 32 a 33 jsou znázorněny průběhy rychlosti proudění sušícího vzduchu, tlaku pod vrstvou chmele, frekvence ventilátorů, vstupní teploty a spotřeby elektrické energie.



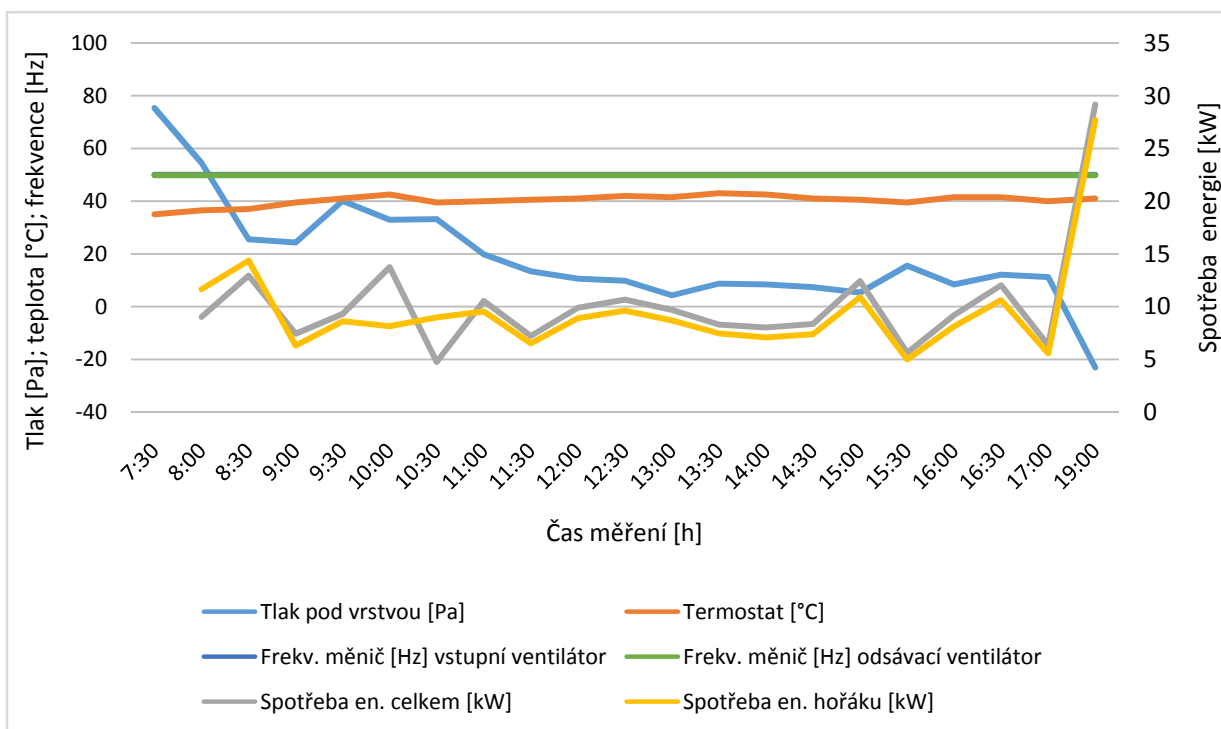
Obr. 30 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření



Obr. 31 Závislost teploty vzduchu na čase měření



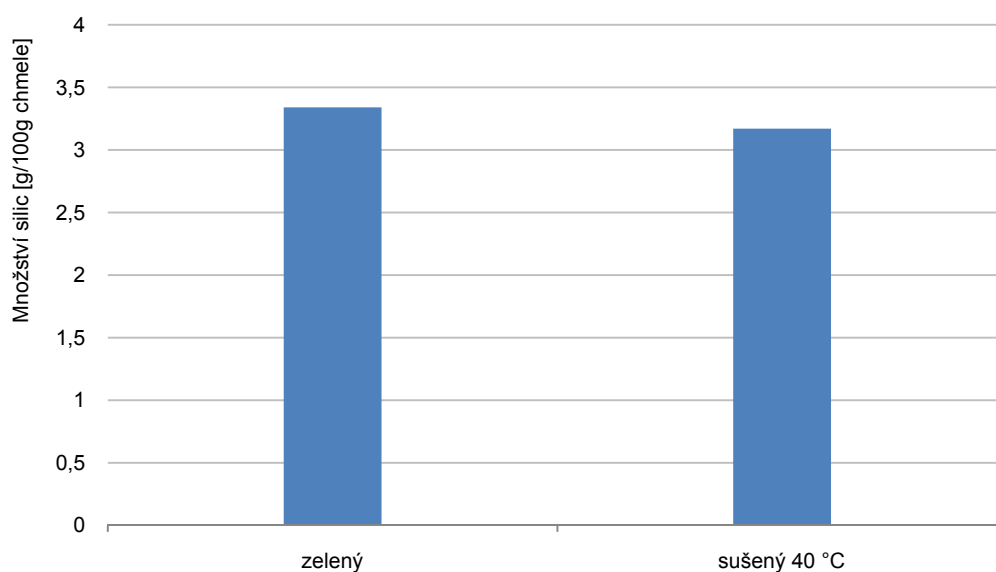
Obr. 32 Závislost rychlosti proudění sušícího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele



Obr. 33 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření

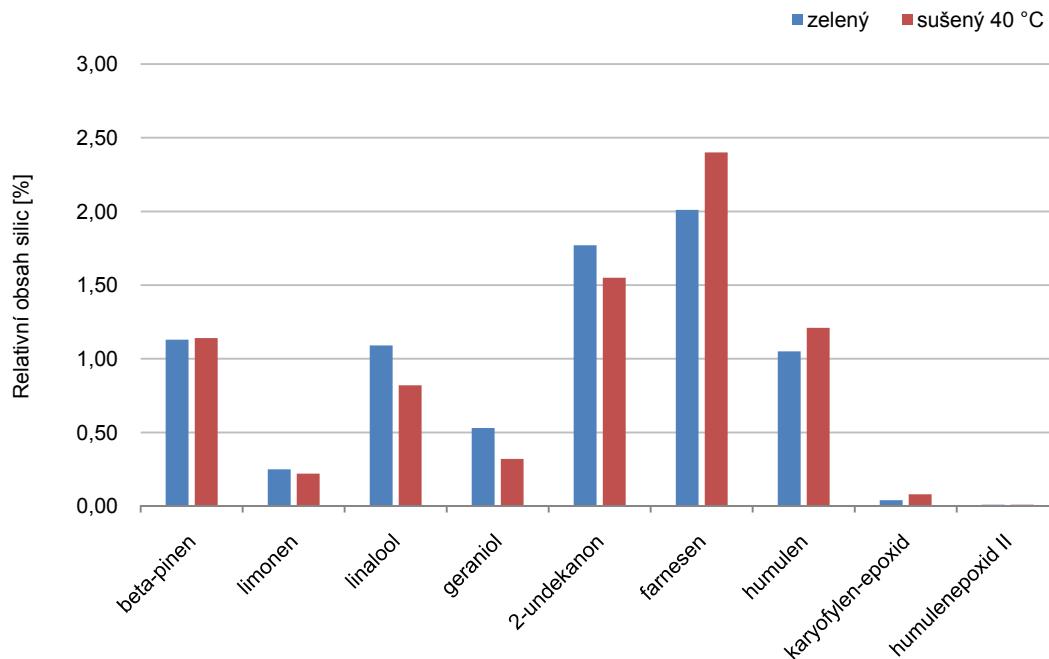
Závislost relativní vlhkosti vzduchu, vlhkosti chmele a teploty na čase měření má obdobný průběh jako v předchozích odrůdách. Přesto se dá říci, že v případě odrůdy Vital vypadají křivky závislosti pravidelněji a je zřetelný čas kdy byl odebrán vzorek chmele ze sušárny (obr. 30 a 31). Křivky závislosti rychlosti proudění vzduchu na čase měření mají také velmi proměnlivý průběh, hodnoty proudění byly v okamžiku odečítání nestálé (obr. 32). Frekvence otáčení obou ventilátorů byla nastavena od počátku na maximum, stejně tak bylo dosaženo téměř stálé teploty vstupního vzduchu, vynesené závislosti na obr. 33 se tak tvarem blíží přímkám. Podtlak po vrstvou chmele nastal až v poslední hodině sušení (obr. 33), to je dáno charakteristikou chmelových hlávek, které mají podlouhlý tvar. Líska byla naplněna o něco více než v předchozích případech - 24,40 kg, což znamenalo vyšší objemovou hmotnost. Spotřeba energie v poslední hodině prudce vzrostla (obr. 33), může to být způsobeno přerušением sušení na delší dobu, než bylo nutné k odebrání vzorku a zpětným zprovozněním, popřípadě ponecháním teplovzdušného agregátu v zapnutém stavu mimo EKS.

Obsah silic v sušeném chmelu při teplotě sušícího vzduchu 40°C se pouze minimálně snížil oproti zelenému chmelu (obr. 34). Relativní obsah silic je znázorněn na obr. 35. a 37. Z grafů je patrné že v případě některých druhů silic (farnesen, humulon, myrcen, karyofylen, selineny) je relativní obsah vyšší po usušení chmele při 40°C než v zeleném chmelu.



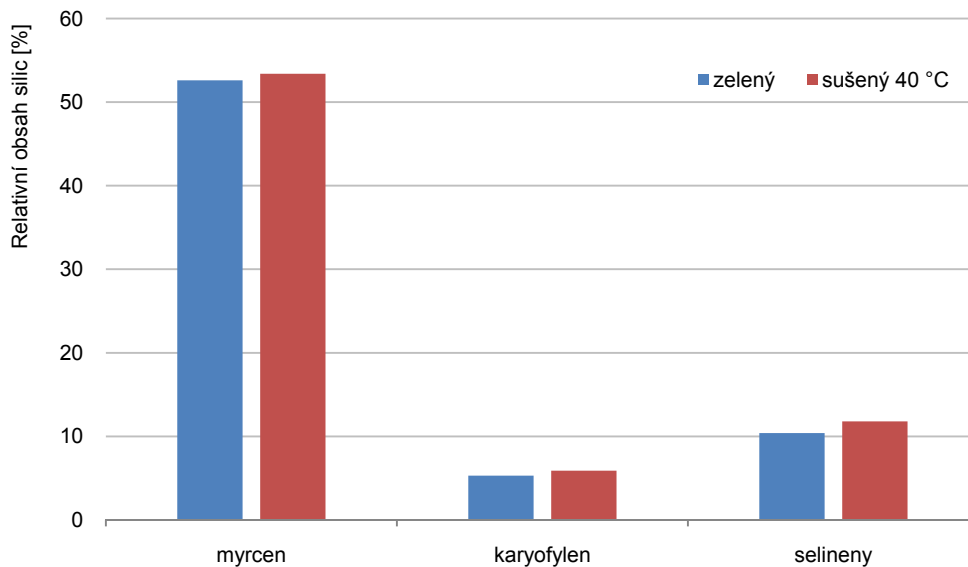
Obr. 34 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušícího vzduchu 40°C

(Zdroj: Rybka et al. 2017)



Obr. 35 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušícího vzduchu 40°C - 1. část

(Zdroj: Rybka et al. 2017)



Obr. 36 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušícího vzduchu 40°C - 2. část

(Zdroj: Rybka et al. 2017)

## **Obsah prenylflavonoidů v zeleném a sušeném chmelu odrůdy Vital**

V průběhu hlávkování a zrání odrůdy Vital na chmelnicích Účelového hospodářství Stekník Chmelařského institutu s.r.o. Žatec byl analyticky sledován vývoj obsahu hořkých látek (alfa a beta hořké kyseliny) a prenylflavonoidů (xanthohumol-X; desmethylxanthohumol-DMX) v časovém období od 18. srpna 2017 do sklizně (17. září 2017). Při sklizni byl odebrán zelený sklizňový vzorek hlávek pro testy šetrného sušení v experimentální komorové sušárně při teplotě 40°C. Dále byl ze stejné chmelnice zajištěn vzorek sušený na provozní pásové sušárně na ÚH Stekník CHI s.r.o. Žatec, kde sušení probíhalo při teplotě 55°C. V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky stanovení obsahu alfa hořkých kyselin, beta hořkých kyselin, xanthohumolu a DMX. Kromě těchto údajů jsou v tabulce uvedeny vlhkosti chmele a hodnoty indexu skladování chmele (HSI). Všechny obsahové parametry jsou přepočteny na absolutně suchý vzorek. Z pohledu posouzení šetrnosti sušení je klíčovým parametrem pokles obsahu DMX vztažený na čerstvý zelený chmel. Zelený chmel v okamžiku sklizně obsahoval 0,55-0,58% DMX. Po usušení v EKS poklesl obsah DMX na 0,40-0,41%, tj. o 29%. Ve chmelu usušeném v provozních podmínkách byl obsah DMX 0,29%, což je bezmála polovina množství obsaženého v zeleném chmelu (Rybka et al. 2017).



Tab. 2 Rozbor odrůdy Vital

(Zdroj: Rybka et al. 2017)

Datum odběru vzorku (1-2 vzorky)	Alfa hořké kyseliny (% hm. v suš.)	Beta hořké kyseliny (% hm. v suš.)	Kohumulon (%)	Kolupulon (%)	Xanthohumul (% hm. v suš.)	DMX (% hm. v suš.)	Vlhkost chmele (%)	HSI
18. 8. 2017 odběr z chmelnice	12,00 13,07	11,26 12,16	22,1 21,6	42,1 41,6	0,82 0,87	0,50 0,56	78,5	-
25. 8. 2017 odběr z chmelnice	13,80	8,93	19,9	43,1	0,88	0,59	65,9*	0,205
5. 9. 2017 odběr z chmelnice	15,43 14,79	11,29 11,20	23,4 23,2	46,3 45,9	0,89 0,87	0,57 0,54	75,6	0,222
13. 9. 2017 odběr z chmelnice	15,78 14,28	10,24 9,17	20,9 20,8	45,0 45,0	0,77 0,69	0,61 0,57	69,8	0,220
<b>Zelený sklizňový vzorek 17. 9. 2017</b>	15,89 15,21	10,28 9,66	20,3 20,0	44,4 44,3	0,75 0,69	<b>0,58</b> <b>0,55</b>	72,4	0,209
<b>Sušený vzorek 40°C 18. 9. 2017</b>	<b>14,06</b> <b>13,70</b>	<b>9,28</b> <b>9,09</b>	<b>21,0</b> <b>20,9</b>	<b>44,7</b> <b>44,7</b>	<b>0,67</b> <b>0,64</b>	<b>0,41</b> <b>0,40</b>	<b>10,3</b>	<b>0,258</b>
Sušený vzorek 60°C 18. 9. 2017-provozní pásová sušárna ÚH Stekník CHI s.r.o.	14,03 14,32	9,15 9,66	21,2 21,3	44,5 44,6	0,68 0,71	<b>0,28</b> <b>0,30</b>	8,7	0,331

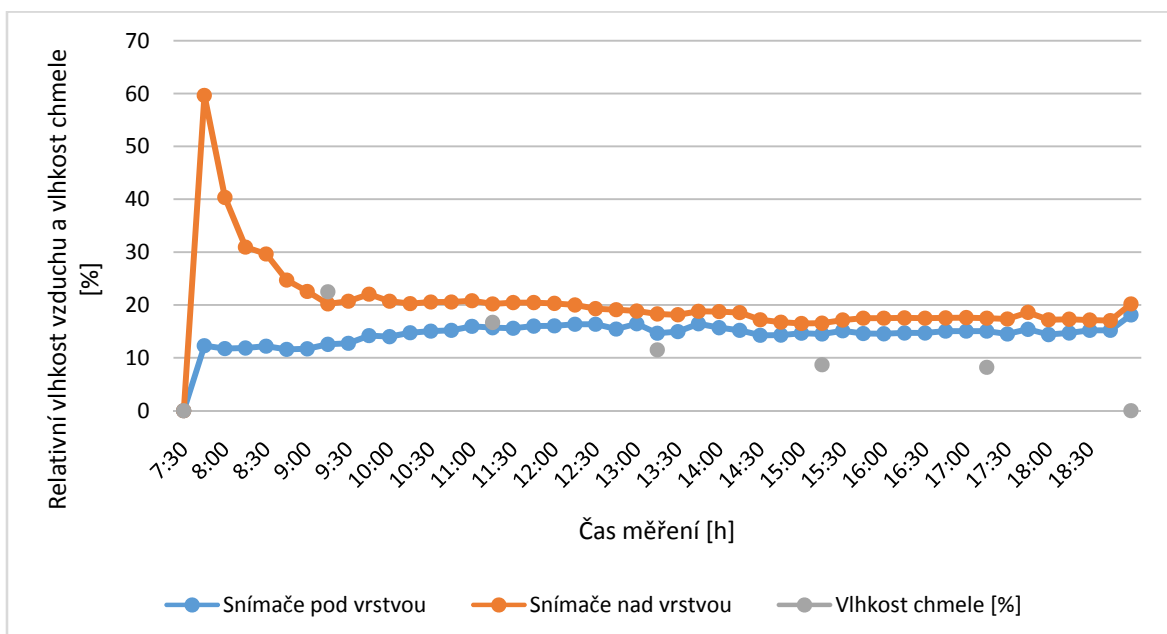
\*vzorek byl uskladněn před rozbořem v klimatizovaném skladu

#### 7.4. Odrůda Kazbek při sušící teplotě 40°C

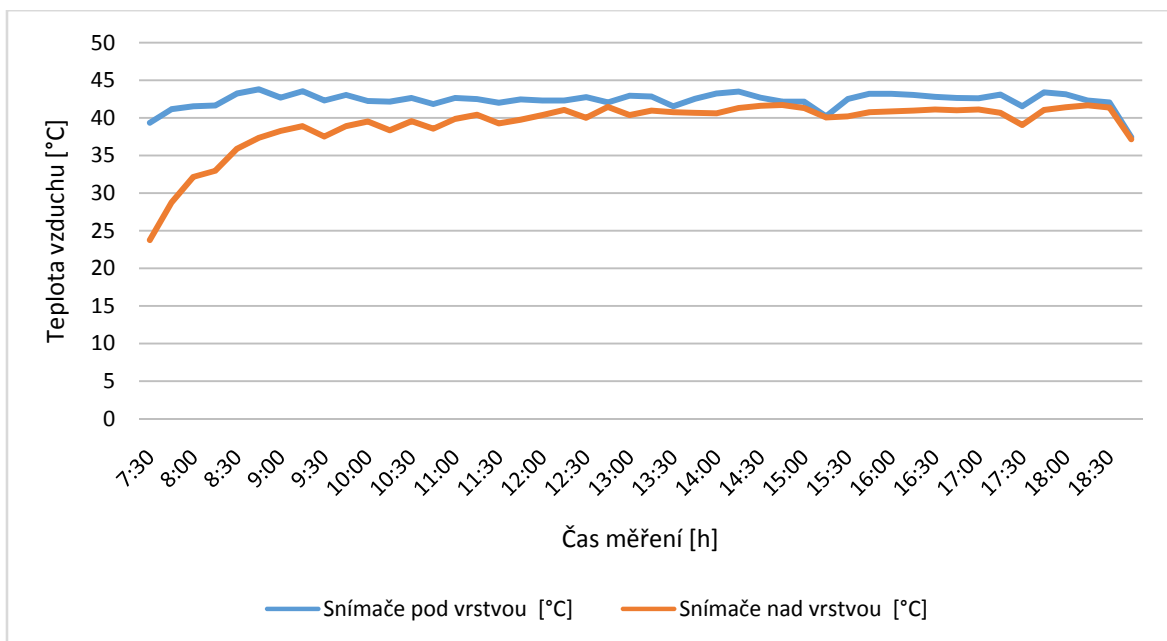
Odrůda chmele Kazbek je druhou z nových odrůd, jejíž látky jsou citlivé na vysokou teplotu (55°C – 60°C) při klasickém způsobu sušení v sušárnách. Hmotnost vzorku zeleného chmele na začátku sušení byla 20,80 kg a jeho vlhkost 75%. Hmotnost

chmele po ukončení měření klesla na 6,20 kg. Sušení trvalo 11 hodin. Vlhkost posledního odebraného vzorku chmele, měřená pomocí ručního vlhkoměru byla 8,2%. Vlhkost zjištěná laboratorní vážkovou metodou po ustálení (za cca 15 hodin) byla 14,3%.

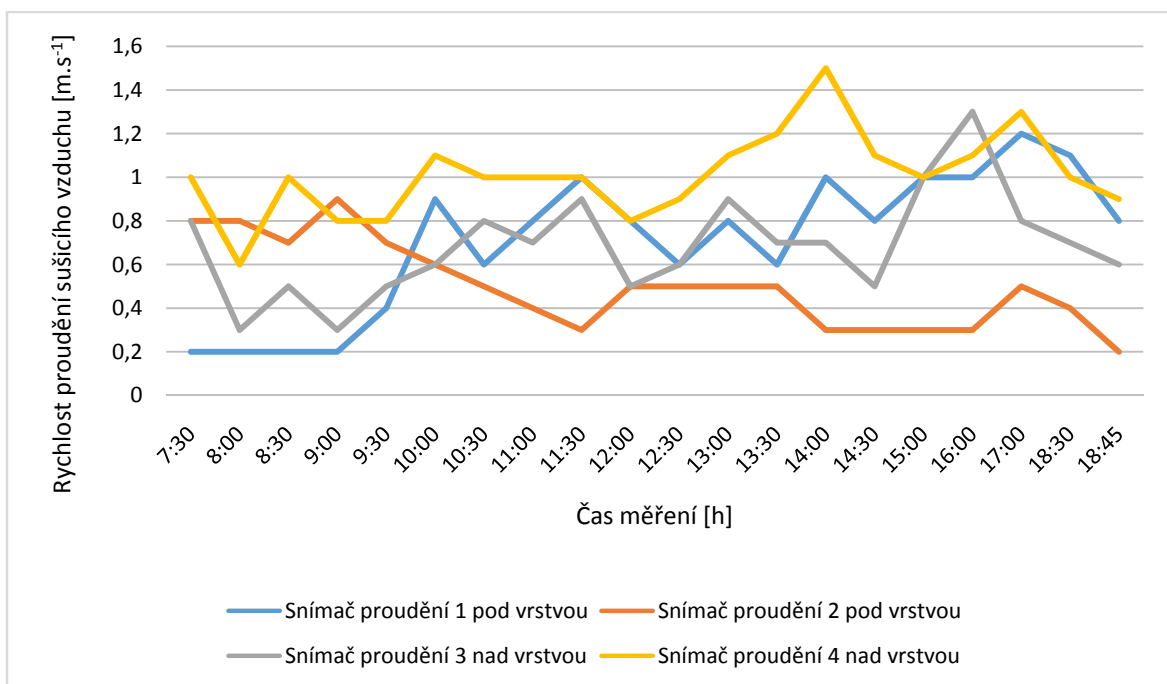
Na obr. 37 - 40 jsou zobrazeny naměřené veličiny u odrůdy Kazbek v závislosti na čase měření. Na obr. 39 a 40 jsou znázorněny průběhy rychlosti proudění sušícího vzduchu, tlaku pod vrstvou chmele, spotřeby elektrické energie, teploty vstupního vzduchu a frekvence obou ventilátorů.



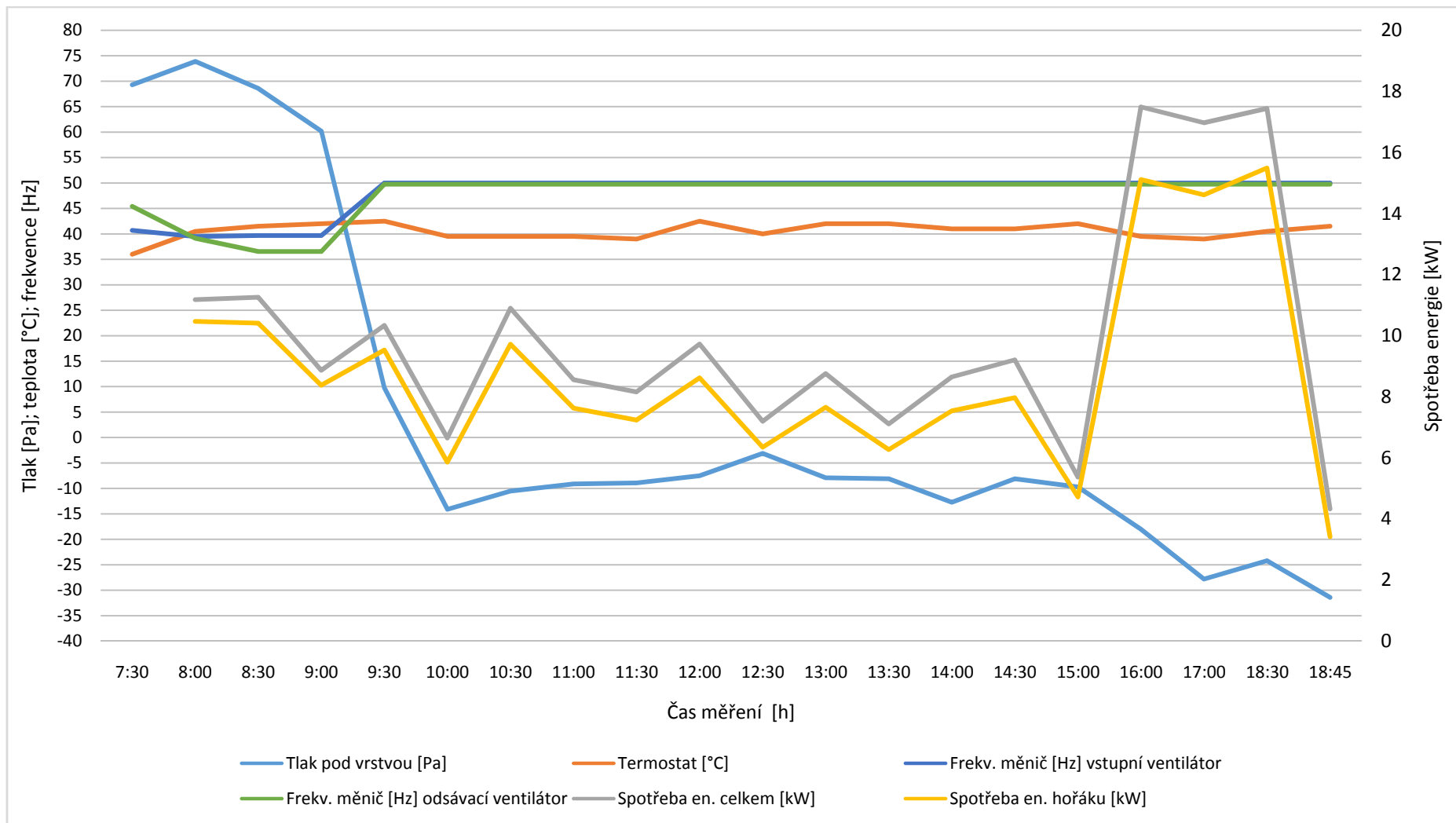
Obr. 37 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření



Obr. 38 Závislost teploty vzduchu na čase měření



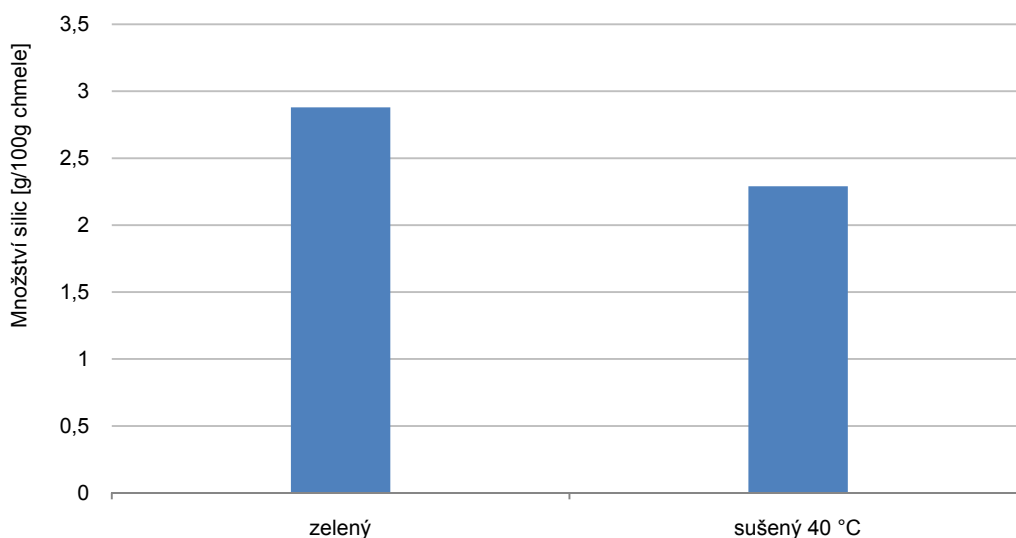
Obr. 39 Závislost rychlosti proudění sušícího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele



Obr. 40 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření

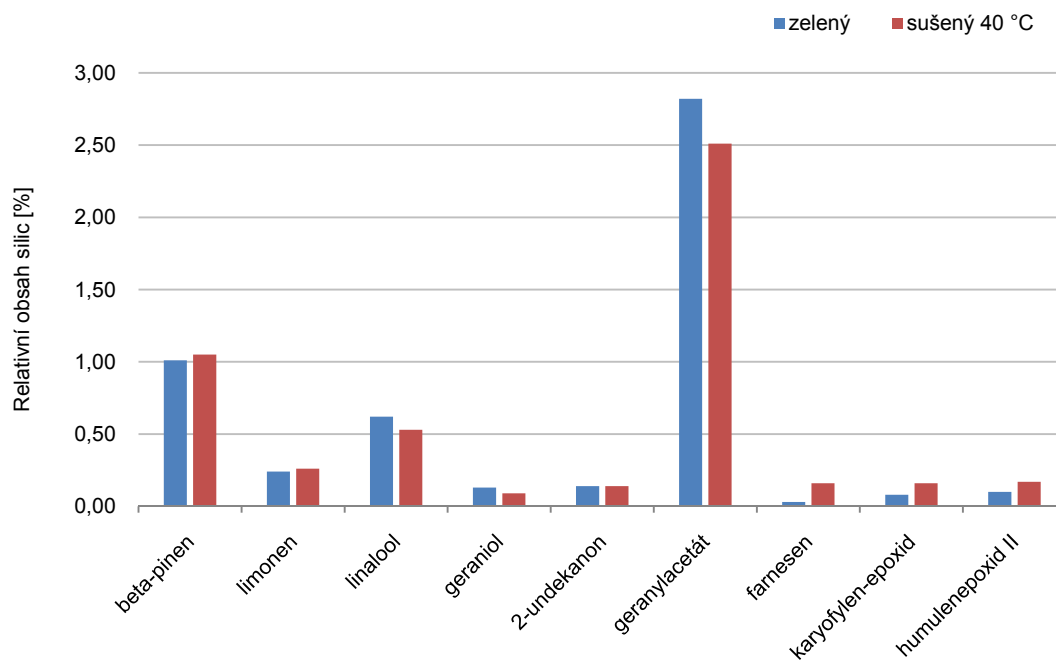
Závislost relativní vlhkosti vzduchu, vlhkosti chmele a teploty na čase měření má opět obdobný průběh jako v předchozích odrůdách (obr. 37 a 38). Křivky závislosti rychlosti proudění vzduchu na čase měření mají opět, jako v předchozích případech, velmi proměnlivý průběh (obr. 39). Frekvence otáčení obou ventilátorů byla po první dvě hodiny měření snížena kvůli dosažení požadované teploty, poté byla frekvence otáčení nastavena na maximum (obr. 40). Podtlak pod vrstvou chmele nastal po dvou hodinách sušení (obr. 40), došlo tedy k provzdušnění a ustálení vrstvy chmele v lísce. Spotřeba energie v čase mezi 15:30 a 18:30 prudce vzrostla (obr. 40), to lze vysvětlit jako chybu v odečítání z elektroměru. Teplota vstupního vzduchu mírně kolísala kolem 40°C (obr. 40).

Celkový obsah silic v sušeném chmelu při teplotě sušícího vzduchu 40°C se cca o 18% snížil oproti zelenému chmelu (obr. 41). Relativní obsah silic je uveden na obr. 42 a 43. Je potřeba uvést že odrůdu Kazbek se nepodařilo usušit na požadovanou vlhkost. Uvedené údaje můžou být tedy považovány za mírně zkreslené.



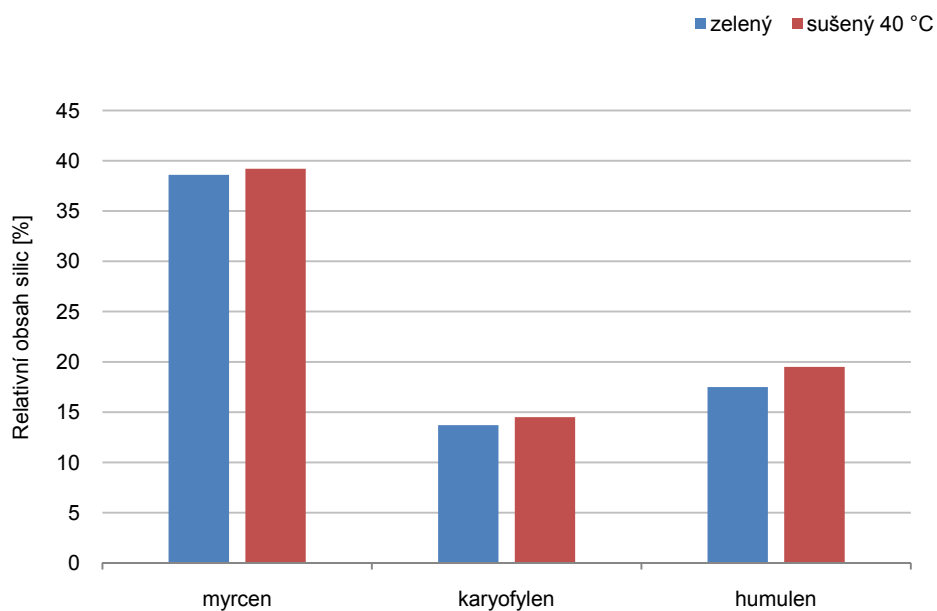
Obr. 41 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušícího vzduchu 40°C

(Zdroj: Rybka et al. 2017)



Obr. 42 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušícího vzduchu 40°C - 1. část

(Zdroj: Rybka et al. 2017)



Obr. 43 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušícího vzduchu 40°C - 2. část

(Zdroj: Rybka et al. 2017)

## 7.5. Komentář k provedeným měřením

Velký vliv na sušení má oproti sušení z prvního roku odsávací ventilátor, který je při maximální frekvenci otáčení výkonnější než ventilátor vstupní. Odsávací ventilátor způsobuje podtlak pod vrstvou chmele, který nastává cca po dvou hodinách sušení, kdy dochází k ustálení podmínek ve vrstvě chmele (viz. kap. 7.1.3), vrstva chmele v lísce klesla zhruba o 50 mm.

Teplota okolního vzduchu a jeho relativní vlhkost mají vliv na proces sušení v EKS. Při nižších teplotách okolního vzduchu musely být frekvence otáčení obou ventilátorů sníženy po delší dobu od začátku sušení (odrůdy ŽPČ a Kazbek – obr. 15 a 40), aby bylo dosaženo požadované teploty.

Největší spotřebu energie měl teplovzdušný agregát – v průměru cca 13 kW.h<sup>-1</sup>. Ostatní spotřebiče spotřebovali průměrně 1,5 kW.h<sup>-1</sup>. Výkyvy spotřeby energie mezi hořákem a ostatními spotřebiči jsou proto zanedbatelné (např. obr. 33).

Závislosti relativní vlhkosti vzduchu a teploty na čase měření vycházejí z hodnot zaznamenávaných dataloggery, tedy automaticky. Křivky jsou u všech odrůd pravidelné a podobné. Křivku teploty na začátku sušení ovlivňuje doba potřebná k dosažení dané teploty. Určitá vychýlení na křivkách teploty (nahoru) a relativní vlhkosti sušicího vzduchu (dolů) v dvouhodinovém intervalu jsou způsobena přerušением sušení kvůli odebrání vzorků pro laboratorní měření (např. obr. 30 a 31).

Závislost rychlosti proudění sušicího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele je velmi subjektivní, neboť zobrazovače proudění ukazují okamžité hodnoty, které se ve zlomcích sekundy mění. Odečítány byly ručně a zapsána byla vždy střední hodnota. Závislost lze tak považovat za přesnou jen v řádu jednotek.

### 7.5.1. Závislost vlhkosti chmele na čase měření při sušení šetrným způsobem

V tabulce 3 jsou sumarizovány vlhkosti chmele čtyř odrůd při sušení v experimentální komorové sušárně stanovené ručním vlhkoměrem a laboratorním

měřením vázkovou metodou. V období 23. 8. až 19. 9. bylo šetrným způsobem usušeno šest českých odrůd chmele – Žatecký červeňák, Harmonie, Sládek, Agnus, Vital a Kazbek. Až na Kazbek se všechny ostatní odrůdy podařilo usušit během 8 až 10 hodin na konečnou vlhkost 7–11%. Pouze u odrůdy Kazbek byla v laboratoři na konci sušení naměřena vlhkost 14,3%. Rovněž hodnoty indexu skladování chmele byly na konci sušení velmi příznivé v intervalu 0,22–0,26 (obr. 45). Porovnání vlhkostí změřených ručním vlhkoměrem v průběhu sušení a následným gravimetrickým stanovením v laboratoři ukázalo, že pro vyšší hodnoty vlhkosti nad 20% je měření ručním vlhkoměrem zcela zavádějící a nepřesné. Lepší shoda je u měření na konci sušení v 8. až 10. hodině sušení. Měření ručním vlhkoměrem má tendenci skutečný obsah vody podhodnocovat a proces sušení tak předčasně ukončit. Dále se potvrdila empirická zkušenost rozdílné náročnosti sušení různých odrůd chmele. V konkrétním případě vyžadovaly odrůdy Harmonie a Vital o 2 hodiny delší dobu sušení v porovnání s ostatními.

Tab. 3 Porovnání měření vlhkosti chmele ručním vlhkoměrem a vázkovým stanovením v laboratoři (%) a HSI

HARMONIE			ŽPČ (při 40°C)		
čas	ruční vlhkoměr	laboratoř	čas	ruční vlhkoměr	laboratoř
9:00	19,6	54,5	9:00	22,5	49,7
11:00	12,9	37,1	11:00	12,8	29,2
13:00	8,0	23,5	13:00	8,9	14,1
15:00	8,4	15,2	15:00	7,9	12,6
17:00	7,8	11,4	17:00	7,7	6,8
19:00	ER**	8,4	-	-	-
HSI*		0,265	HSI		0,223

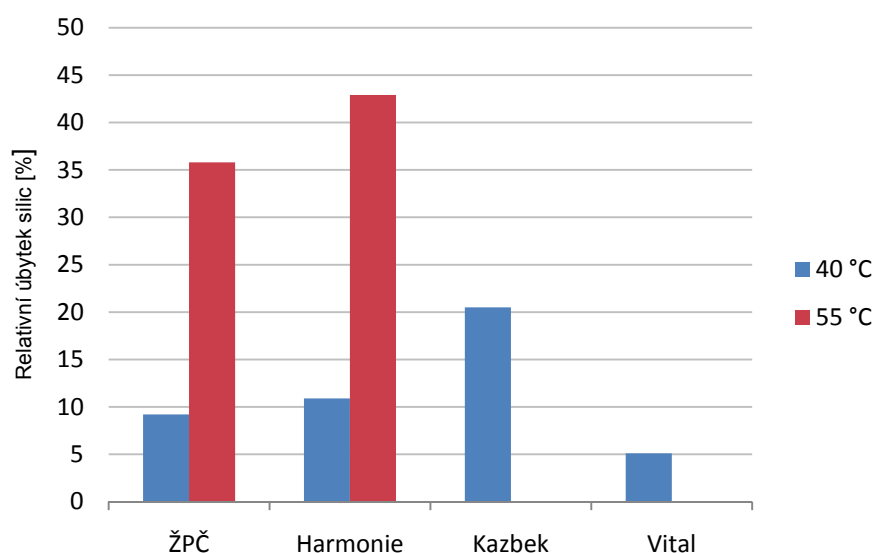
VITAL			KAZBEK		
čas	ruční vlhkoměr	laboratoř	čas	ruční vlhkoměr	laboratoř
9:00	24,6	58,3	9:15	22,5	56,8
11:00	15,5	42,4	11:15	16,7	30,5
13:00	13,1	29,7	13:15	11,5	23,1
15:00	9,5	20,6	15:15	8,7	19,7
17:00	8,4	18,7	17:15	8,2	14,3
19:00	ER	10,3	19:00	-	-
HSI		0,243	HSI		0,258

\*v suchém chmelu; \*\*ER – hodnota vlhkosti chmele byla mimo rozsah ručního vlhkoměru (pod 7%)

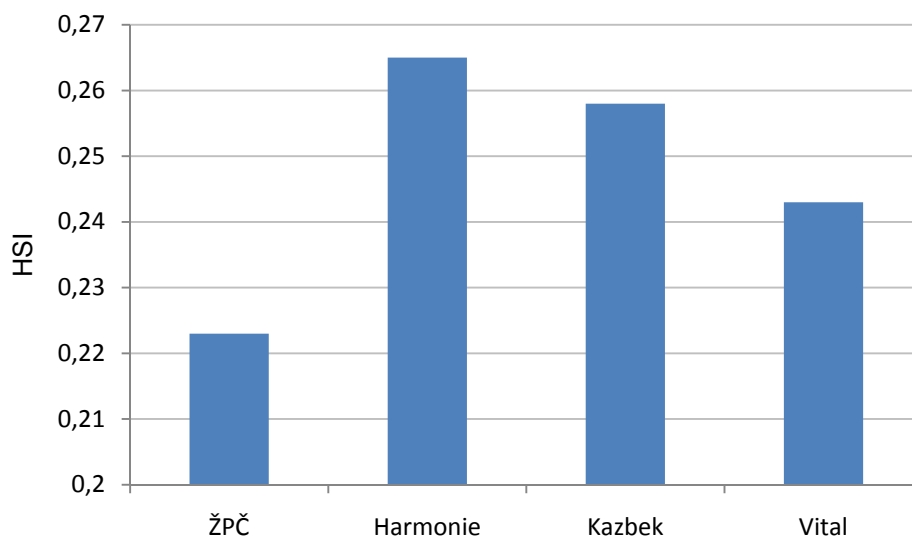


### 7.5.2. Porovnání obsahu a složení chmelových silic

Bylo zjištěno, že šetrným sušením při 40°C se z chmele ztrácí v průměru 10% původního množství silic. Individuální úbytky se pohybují v intervalu 0,5% až 21%. Střední hodnota ze 6 měření vyjádřená jako medián je 10%, což je v dobré shodě s výsledkem zjištěným v provozní komorové sušárně v Rakochmelu s.r.o. v Kolečovicích při sušení Žateckého poloraného červeňáku. S tím kontrastuje zhruba 40% úbytek silic u odrůdy Harmonie sušené v provozních podmínkách při teplotě 55°C. Ve složení silic lze vypořádat tendenci systematického úbytku terpenických alkoholů linaloolu a geraniolu po usušení. Obsahy ostatních složek nejsou sušením prakticky ovlivněny. Zjištěné rozdíly jsou v rozmezí opakovatelnosti metody. Výsledky jsou velmi podobné zjištěním při sušení Žateckého poloraného červeňáku v komorové sušárně v Rakochmelu s.r.o. v Kolečovicích. Porovnání relativních úbytků silic u vzorků jednotlivých odrůd je zřejmé z obr. 44. Z analytických výsledků lze usuzovat, že sušením ubývá převážná většina složek silice v přibližně stejném rozsahu, a tudíž relativní zastoupení ve směsi se podstatně nemění. Výsledky jsou ještě doplněny porovnáním hodnot HSI (obr. 45) suchého chmele pro jednotlivé odrůdy sušené při 40°C na EKS (Rybka et al. 2017).



Obr. 44 Relativní úbytek silic měřených odrůd na EKS při teplotě 40°C včetně ŽPČ při 55°C a u Harmonie v provozních podmínkách při teplotě 55°C vztažených k obsahu silic v zeleném chmelu



Obr. 45 Hodnoty HSI suchého chmele pro jednotlivé odrůdy sušené při 40°C na EKS

## 8. Závěr

V této kapitole jsou shrnuty dílčí závěry, které již byly částečně uvedeny v předchozích kapitolách.

Provedená měření potvrdila skutečnost, že pro sušení chmele při teplotách kolem 40°C je nutné nižší teplotu kompenzovat zvýšeným prouděním vzduchu. Čas potřebný pro usušení vzorku chmele byl nejkratší při maximální frekvenci otáčení vstupního i odsávacího ventilátoru. Odsávací ventilátor vytvářel pod vrstvou chmele podtlak, což způsobilo provzdušnění vrstvy chmele v lísce a tím urychlilo sušení.

Prostředí, ve kterém se experimentální komorová sušárna nacházela, bylo nutné co nejvíce izolovat od vnějšího prostředí s vyšší relativní vlhkostí vzduchu a nižší teplotou hlavně v případě nepříznivého počasí. K udržení potřebné teploty v EKS napomohlo pečlivé utěsnění všech otvorů, kudy by mohl být nasáván vzduch mimo teplovzdušný agregát, případně by bylo sníženo proudění vzduchu v EKS.

Oproti předchozím létům se v roce 2017 sušila každá odrůda nepřetržitě v jeden den, což příznivě ovlivnilo nejen vypovídající hodnotu měřených veličin ale i dobu sušení.

Pokud se v předchozích letech dosoušelo druhý den, prodloužila se doba sušení, neboť vlhkost chmele se přes noc zvýšila vlivem okolního prostředí.

Jak již bylo řečeno, při odebírání vzorků chmele pro laboratorní měření po dvou hodinách se také provádělo kontrolní měření vlhkosti chmele pomocí ručního vlhkoměru. Měření vlhkosti ručním vlhkoměrem vykazovalo nepřesnosti oproti stanovení vlhkosti v laboratoři na laboratorních váhách. Dále je zřejmé, že po dosažení požadované vlhkosti (10%) a po zanechání chmele v lísce přes noc (pro ustálení, tzv. přirozená klimatizace), chmel přijme vlhkost z okolního prostředí a hodnoty vlhkosti se zvýší až o 4%, proto se po zkušenostech z měření v minulých letech přistoupilo k sušení ještě další dvě hodiny po dosažení 10%, tím bylo dosaženo požadovaných hodnot vlhkosti vzorků pro laboratoř.

Hodnoty veličin, které se odečítaly a zapisovaly ručně z přístrojů na EKS, jsou méně přesné, zejména hodnoty proudění vzduchu a tlaku. Záleželo tak na subjektivním pohledu pracovníka, který zápis prováděl. Na celkové výsledky závislosti to ale nemá rozhodující vliv. Naopak dataloggery zaznamenávaly hodnoty relativní vlhkosti vzduchu a teploty nad vrstvou a pod vrstvou chmele automaticky, je tedy možné považovat tyto hodnoty za velmi přesné.

Při sušení odrůdy ŽPČ při 40°C a při 55°C nebyl zaznamenán větší rozdíl spotřeby energie. Vzorek sušený při nižší teplotě se ale sušil déle. Z toho vyplývá, že sušení při nižších teplotách je úspornější na spotřebu energie, je zde potřeba brát na zřetel, že v provozu se sušený chmel ještě klimatizuje řízenou klimatizací, což je také energeticky náročné. Při použití metody šetrného sušení by se řízená klimatizace nepoužívala.

Nejdůležitějším ukazatelem z výsledků měření je obsah silic ve vzorcích sušených při nízkých teplotách. Z výsledků laboratorních rozborů je zřejmé, že při šetrném sušení zůstává zachováno větší procento silic (100% - zelený chmel) než při klasickém sušení. I další ukazatelé jako např. HSI vykazovaly příznivé hodnoty.

Zjištěné skutečnosti budou upřesněny opakovanými experimenty při sklizni chmele v roce 2018. Výsledky při sušení odrůdy ŽPČ byly využity při přípravě experimentů na provozní komorové sušárně v Rakochmelu s.r.o. Kolečovice v rámci porovnání sušicího procesu při teplotě sušení 60°C a 40°C.

Je tedy zřejmé, že metoda šetrného sušení je ideální pro sušení odrůd chmele, jejichž cenné látky jsou citlivé na vysoké teploty. Jde o látky používané nejen v pivovarnictví, ale také ve farmacii.

## 9. Seznam literatury

HEŘMÁNEK, P. - RYBKA, A. - HONZÍK, I. Experimental chamber dryer for drying hops at low temperatures. *Agronomy Reseach*, 2017, roč. 15, č. 3, s. 713–719.

HOFMANN, R. - WEBER, S. - RETTBERG, N. - THÖRNER, S. - GARBE, L. A. - FOLZ, R. Optimization of the Hop Kilning Process to Improve Energy Efficiency and Recover Hop. *Brewing Science*, 2013, roč. 66, č. July 2014, s. 23–30.

JECH, J. et al. *Stroje pre rastlinnú výrobu 3 - Stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie*. Praha: ProfiPress s.r.o. Praha, 2011. 368 s. ISBN 978-80-86726-41-0.

KOŘEN, J. - CINIBURK, V. - PODSEDNÍK, J. - RYBKA, A. - VESELÝ, F. *Sušení chmele na komorových sušárnách: Metodika pro praxi*. Žatec: Chmelařský institut s.r.o., 2008. 31 s. ISBN 978-80-86836-51-5.

KROFTA, K. *Hodnocení kvality chmele: Metodika pro praxi*. Žatec: Chmelařský institut s.r.o., 2008. 52 s. ISBN 978-80-86836-84-3.

NEŠPOR, J. - HANKO, V. - KARABÍN, M. - JELÍNEK, L. - DOSTÁLEK, P. Prenylované flavonoidy jako cenné biologicky aktivní látky chmele. *Kvasný Průmysl*, 2017, roč. 63, č. 4, s. 164-172.

PROBASCO, G. - VARNUM, S. - PERRAULT, J. - HYSERT, D. Citra-A New Special Aroma Hop Variety. *MBAA Technical Quarterly*, 2010, roč. 47, č. 4, s. 17-22.

RYBÁČEK, V. et al. *Chmelařství*. Praha: SZN, 1980. 426 s. ISBN 07-068-80.

RYBKA, A. et al. *Redakčně upravená periodická zpráva za r. 2015*. Projekt NAZV č. QJ1510004 Šetrný způsob konzervace pivovarských a dalších cenných látek chmele. ČZU v Praze, 2015. 47 s.

RYBKA, A. et al. *Redakčně upravená periodická zpráva za r. 2017*. Projekt NAZV č. QJ1510004 Šetrný způsob konzervace pivovarských a dalších cenných látek chmele. ČZU v Praze, 2017. 82 s.

Dále byly použity interní dokumentace a materiály podniků Chmelařství, družstvo Žatec a Chmelařský institut s. r. o.

## 9.1. Seznam obrázků

Obr. 1 Vyvinutá chmelová hlávka.....	2
Obr. 2 Hlávka a její části:.....	3
Obr. 3 Struktura desmethylxanthohumolu.....	5
Obr. 4 Ohřev a vlhčení vzduchu.....	9
Obr. 5 Schéma komorové sušárny.....	12
Obr. 6 Pohled na experimentální komorovou sušárnu.....	15
Obr. 7 Schéma experimentální komorové sušárny.....	15
Obr. 8 Rozmístění řídicích prvků a snímačů na experimentální komorové sušárně (původní provedení s axiálními ventilátory TD – 800).....	16
Obr. 9 Měřicí přístroje na EKS.....	17
Obr. 10 Líska částečně naplněná chmelem; při měření byla líska zcela zaplněna.....	19
Obr. 11 Líska se zabudovanými sondami a sítovým dnem.....	20
Obr. 12 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření.....	21
Obr. 13 Závislost teploty vzduchu na čase měření.....	22
Obr. 14 Závislost rychlosti proudění sušicího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele.....	22
Obr. 15 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření.....	23
Obr. 16 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření.....	24
Obr. 17 Závislost teploty vzduchu na čase měření.....	24
Obr. 18 Závislost rychlosti proudění sušicího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele.....	25
Obr. 19 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření.....	25
Obr. 20 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách sušicího vzduchu.....	27
Obr. 21 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 1. část.....	27
Obr. 22 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 2. část.....	28
Obr. 23 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření.....	29
Obr. 24 Závislost teploty vzduchu na čase měření.....	29

Obr. 25 Závislost rychlosti proudění sušicího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele .....	30
Obr. 26 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření .....	31
Obr. 27 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách sušicího vzduchu .....	32
Obr. 28 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 1. část.....	33
Obr. 29 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při různých teplotách - 2. část.....	33
Obr. 30 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření.....	34
Obr. 31 Závislost teploty vzduchu na čase měření.....	35
Obr. 32 Závislost rychlosti proudění sušicího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele.....	35
Obr. 33 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření .....	36
Obr. 34 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušicího vzduchu 40°C.....	37
Obr. 35 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušicího vzduchu 40°C - 1. část.....	38
Obr. 36 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušicího vzduchu 40°C - 2. část.....	38
Obr. 37 Závislost relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele na čase měření.....	41
Obr. 38 Závislost teploty vzduchu na čase měření.....	42
Obr. 39 Závislost rychlosti proudění sušicího vzduchu na čase měření pod a nad vrstvou sušeného chmele.....	42
Obr. 40 Závislost ostatních měřených veličin na čase měření .....	43
Obr. 41 Obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušicího vzduchu 40°C.....	44
Obr. 42 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušicího vzduchu 40°C - 1. část.....	45
Obr. 43 Relativní obsah silic v zeleném chmelu a ve chmelu usušeném při teplotě sušicího vzduchu 40°C - 2. část.....	45

Obr. 44 Relativní úbytek silic měřených odrůd na EKS při teplotě 40°C včetně ŽPČ při 55°C a u Harmonie v provozních podmínkách při teplotě 55°C vztažených k obsahu silic v zeleném chmelu .....	48
Obr. 45 Hodnoty HSI suchého chmele pro jednotlivé odrůdy sušené při 40°C na EKS ....	49

## 9.2. Seznam tabulek

Tab. 1 Stupně vysušení hlávek.....	13
Tab. 2 Rozbor odrůdy Vital.....	40
Tab. 3 Porovnání měření sondou a vážkovým stanovením v laboratoři v %.....	47