



Chmelařský institut s. r. o.

# SUŠENÍ CHMELE NA KOMOROVÝCH SUŠÁRNÁCH

---

Jiří Kořen a kol.



**METODIKA PRO PRAXI**

**10/08**



Chmelařský institut s. r. o.



# SUŠENÍ CHMELE NA KOMOROVÝCH SUŠÁRNÁCH

**METODIKA PRO PRAXI 10/2008**

Jiří Kořen a kol.

Metodika byla zpracována jako výstup z projektu programu  
MPO – IMPULS, číslo projektu FI-IM2/152  
„Výzkum a vývoj techniky a technologie sklizňového procesu  
a posklizňové úpravy chmele“



# SUŠENÍ CHMELE NA KOMOROVÝCH SUŠÁRNÁCH

## Metodika pro praxi 10/2008

VEDOUCÍ AUTORSKÉHO KOLEKTIVU

Ing. Jiří Kořen, Ph.D.

AUTOŘI:

Ing. Václav Ciniburk

Ing. Jiří Kořen, Ph.D.

Ing. Jan Podsedník

Doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Ing. František Veselý, CSc.

RECENZENTI:

Prof. Ing. Václav Fric, DrSc.

Ing. Markéta Altová, Ministerstvo zemědělství ČR

JAZYKOVÁ ÚPRAVA:

Patricie Buchtová

© Chmelařský institut s.r.o., 2008

ZPRACOVAL: Petr Stuna

VYDAVATEL: Časopis Chmelařství  
Petr Svoboda

ISBN 978-80-86836-51-5



# OBSAH

## SUŠENÍ CHMELE NA KOMOROVÝCH SUŠÁRNÁCH

I.	CÍL METODIKY A DEDIKACE	4
II.	VLASTNÍ POPIS METODIKY	8
III.	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	16
IV.	MOŽNOSTI MODERNIZACE KOMOROVÝCH SUŠÁREN	23
V.	ZÁVĚR A POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	29
VI.	SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY	30
VII.	SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE	31
VIII.	SOUHRN	31
IX.	ABSTRACT	31



## I. CÍL METODIKY A DEDIKACE

Metodika byla zpracována a realizována v rámci řešení výzkumného záměru FI-IM2/152 Výzkum a vývoj techniky a technologie sklizňového procesu a posklizňové úpravy chmele.

Počátky horkovzdušného sušení chmele spadají do druhé poloviny 19. století a od této doby prošly náročným a specifickým procesem. První sušárny byly obdobou hvozdových sušáren používaných při sušení sladu. Jejich vývoj probíhal závratným tempem a prakticky to znamenalo, že v každém chmelovém hospodářství byla vybudována chmelová sušárna a doménou každého hospodáře byla profese sušiče, která se dědila z otce na syna. Zavedením horkovzdušného sušení chmele se výrazně zlepšila i kvalita sklizeného chmele. Bylo docíleno vynikající barvy a lesku hlávek, kvalitativním ukazatelem se stala citrónově žlutá barva chmelové moučky (lupulinu) a potvrdily se další kvalitativní znaky a ukazatele kvality chmele. Oproti dřívějšímu sušení, využívajícímu atmosférických podmínek (konec druhé poloviny 19. století), znamenalo radikální změnu v pěstitelské praxi. Její dopad přinesl podstatné snížení nároků na sušící prostory, výrazné zkrácení doby sušení a tím byla dána možnost větší koncentrace plochy chmele v tehdejších selských hospodářstvích.

Původní selské sušárny dochované až do doby kolektivizace byly různého provedení. Vytvířely se tím směrem, že sušení v jedné vrstvě a s postupně se zvyšující výškou vrstvy bylo nahrazeno sušením ve dvou nebo více vrstvách nad sebou. V tomto okamžiku vstupují do provedení sušáren další prvky. Především to je systém vedení vzduchu ve směru posunu chmele v sušárně. Jednoznačně se ujal systém tzv. protiproudého sušení, tj. proud vzduchu v sušárně byl veden proti směru posunu sušeného chmele. Nejteplejší vzduch byl přiváděn do nejméně prosušené vrstvy, jejím dalším prosušením přebral uvolněnou vlhkost, tím se částečně ochladil a vstoupil do vrstvy méně prosušené. Protože měl stále dostatečnou teplotu a ne příliš vysokou relativní vlhkost, pohltit uvolněnou vlhkost i z této vrstvy a postup se opakoval v případě více vrstev v sušárně.

Byl vyvinut systém tzv. žaluziových sušáren, který v tehdejších pěstitelských podmínkách vykazoval velké množství variant. Od jednožaluziových až k třížaluziovým + vyprazdňovací vozíky, tj. sušení probíhalo maximálně ve čtyřech vrstvách. Bylo to podmíněno i dalšími parametry, a to rychlostí a množstvím přiváděného vzduchu do sušárny, které podstatně limitovaly odsušek na nejnižším patře sušárny. Zde musel být zajištěn maximální odpar z toho důvodu, aby při násypu další vrstvy do sušárny nedocházelo k zaparování čerstvě nasypaného chmele.

Během doby existence horkovzdušného sušení v našich podmínkách byly zaznamenány specifické změny v technickém vývoji sušáren, provázené nezbytnými změnami a úpravami technologického režimu. Tyto změny, které si vyžádal především



proces koncentrace výroby chmele a přechod na velkovýrobní základnu, realizované v posledních desetiletích, lze ve stručnosti shrnout do následujících etap:

- Budování vícekomorových sušáren
- Změny topného zdroje
- Úpravy vzduchotechnických podmínek
- Zavedení pásových sušáren
- Kontinuita sklizňového procesu
- Stanovení parametrů technologického procesu sušení a posklizňové úpravy

## BUDOVÁNÍ VÍCEKOMOROVÝCH SUŠÁREN

S procesem tzv. kolektivizace je úzce spojena otázka mechanizace sklizňového procesu. Nezbytnost strojního česání chmele, spojeného s vysokým stupněm poškození chmelových hlávek, si vyžádala zkrácení intervalu od ocesání do začátku sušení na minimální dobu. Tomu nevyhovovalo značně roztržité rozmístění sušáren, které byly velmi rozdílného charakteru a výkonnostních i technologických parametrů, do dřívějších selských stavení. Vývoj se ubíral k normalizaci velikosti komor, kde základní jednotka (komora) se ustálila na 22,5 m<sup>2</sup> (5 x 4,5 m). Počet komor v jedné sušárně se ustálil na 3 nebo 4. Ojedinele se uplatňoval při adaptacích systém 2 komor a taktéž kombinace dvou čtyřkomorových sušáren. Současně s výstavbou vícekomorových sušáren byla řešena výstavba skladů na volně ložený usušený chmel. Parametry skladů byly odvozeny od výkonové kapacity sušáren. V této první etapě byly současně řešeny i některé inovační prvky výstavby skladů, jako bylo tzv. prostorové řešení (skladování ve vysoké vrstvě) nebo budování skladů s betonovým podlažím.

## ZMĚNY TOPNÉHO ZDROJE

Původní vícekomorové sušárny byly vybaveny topeništěm na tuhá paliva, v naprosté většině na hnědé uhlí. Postupně byl tento systém nahrazován topeništěm na lehký topný olej. Současně s tím bylo nutno řešit i otázku vzduchotechnických podmínek sušárny. Systémy hořáků na LTO vyžadovaly nucenou cirkulaci, tj. vhánění ohřátého vzduchu přes výměník do prostoru sušárny. Tím byl nahrazen dřívější způsob samovolné cirkulace dané dimenzí přírodních vzduchových kanálů do sušárny (ustálená dimenze kanálů 0,16 m<sup>2</sup> na 1 m<sup>2</sup> sušicí plochy). V první fázi těchto úprav nebyl řešen prostor odvodu vzduchu z jednotlivých komor (0,6 m<sup>2</sup> na 1 m<sup>2</sup> sušárny). Vedle LTO byla u některých sušáren využita možnost plynofikace (v závislosti na dostupnosti tohoto topného zdroje - Třeboc, Ročov a některé další). Nesporně tento prvek modernizace sušáren znamenal pozitivní dopad na sklizňový proces.



## ÚPRAVY VZDUCHOTECHNICKÝCH PODMÍNEK SUŠÁREN

Změnou topeniště sušáren na tekutá paliva byl řešen pouze přívod ohřátého vzduchu do sušárny. Základní zásadou stále zůstala otázka přívodu vzduchu přes teplovzdušný výměník, tj. bez přístupu spalin vzniklých spalováním příslušného paliva, do sušicího prostoru.

Tento princip byl převzat z původních sušáren na tuhá paliva, které byly vybaveny jednoduchým, z dnešního pohledu dosti primitivním a málo účinným teplovzdušným výměníkem. Přístup kouřových spalin do sušicího prostoru nebyl přípustný především z důvodů nežádoucího ovlivnění konečné kvality sušeného chmele.

Výjimku tvořily pouze konstrukce sušáren, kde byl topným zdrojem svítiplyn, který byl označován jako palivo bez negativního dopadu spalin na kvalitu chmele (za předpokladu dokonalého spalování).

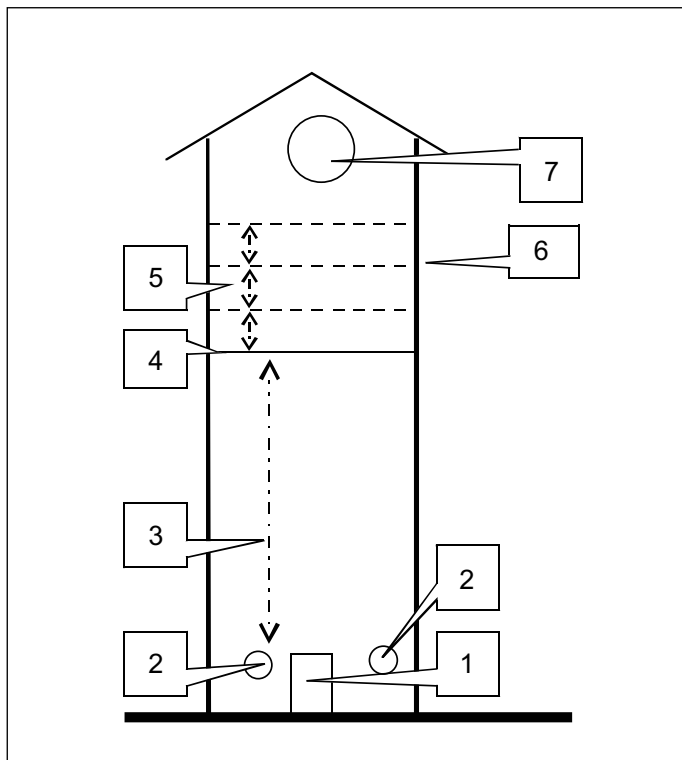
Dimenze přívodu teplého vzduchu do sušárny byla závislá na konstrukci teplovzdušného agregátu. U komorových sušáren se v našich podmínkách uplatnilo několik typů. Možno konstatovat, že všechny konstrukce přispěly ke zvýšení výkonnosti sušáren, avšak byly neúplným řešením. U těch typů komorových sušáren, kde nebyla zajištěna dostatečná dimenze cest pro odvod vzduchu ze sušárny (tzv. výparníků), výměna topeniště na LTO nepřinesla očekávaný výkonový efekt a v některých případech měla za následek i technologické problémy.

Další etapa řešení úpravy vzduchotechnických podmínek spočívala v úpravě vztahu množství do sušárny přiváděného a ze sušárny odváděného vzduchu. Jednalo se v podstatě o instalaci odsávacích ventilátorů ve výparníkové části sušárny. Parametry těchto vztahů se ustálily na té hranici, že množství vzduchu odváděného ze sušárny bylo cca o 10 % vyšší než množství vzduchu do sušárny přiváděného. Zjednodušeně by se dalo uvést, že se jednalo o určitý podtlak v sušárně, ve skutečnosti však šlo o vyvážený vztah přiváděného a odváděného vzduchu tím, že byla zohledněna možnost přisávání vzduchu v prostoru sušárny.

Další parametr uplatňovaný u komorových sušáren je možno označit jako využívání tzv. komínového efektu.







- POPISKY: 1 – topeniště  
 2 – kanály pro přívod vzduchu do sušárny  
 3 – vzdálenost nejspodnější vrstvy sušícího prostoru od topeniště 600 cm  
 4 – vyprazdňovací část ze sušárny (vozíky, nekonečný pás)  
 5 – rozestupy mezi sklopnými žaluziemi min. 80 cm  
 6 – sklopné žaluzie  
 7 – odsávací prostor ze sušárny

Komínový efekt byl dán celkovou výškou komory, kde byla stanovena minimální vzdálenost od teplovzdušného výměníku k nejspodnější vrstvě sušeného chmele, tj. k vyprazdňovacím vozíkům, na 6 m. Rozestupy mezi žaluziemi byly určeny minimálně na 80 cm. Uvedenými úpravami bylo docíleno zvýšení výkonu až o 50 % původního stavu a současně přispěly ke stabilitě technologické spolehlivosti. Zavedením nucené cirkulace vzduchu v sušících komorách byla odstraněna někdy až velmi výrazná závislost funkce těchto sušáren na atmosférických podmínkách.



## II. VLASTNÍ POPIS METODIKY

### ZÁKLADY SUŠENÍ

V užším slova smyslu je sušením chmele rozuměn tepelný proces, při němž je odstraňována kapalná fáze z chmelových hlávek odpařením do proudu sušicího média, zpravidla vzduchu nenasyceného vlhkostí. Teplota nezbytné pro odpaření kapalná fáze dodává sušicí plyn – horký vzduch. Při sušení je odstraňována kapalná fáze odpařováním. Jedná se o nejnákladnější proces odstraňování kapalná fáze z tuhých látek. Spotřeba tepelné energie pro sušení chmele je vždy značně vysokou nákladovou položkou.

Rychlost proudění a teplotu sušicího vzduchu lze regulovat. Tím je regulována i vlhkost sušených hlávek. Pro přenos energie na povrch hlávek se používá zahřátý vzduch (konvekce). Přenos energie uvnitř hlávek probíhá kondukcí. Voda je desorbována sušicím vzduchem na povrchu, ustaví se gradient vlhkosti a molekuly kapalná vody difundují na povrch. Profily teploty a vlhkosti hlávek určují rychlost difuze kapalná vody na povrch. Teplota vzduchu, vlhkost a koncentrace vody na povrchu hlávek určují rychlost desorpce vody. Jestliže rychlost odpařování vody z povrchu nepřekročí rychlost difuze kapalná vody k jejich povrchu, je rychlost celkového sušení konstantní. Jestliže rychlost difuze klesá pod hranici rychlosti desorpce, stává se hraničním dějem sušení difuze a nastupuje období klesající rychlosti sušení. Experimentální naměřené sušicí křivky jsou důležité pro hodnocení kinetiky sušení.

Závislost rychlosti sušení na jeho době je možno rozdělit na dvě části - období s konstantní rychlostí sušení a období s klesající rychlostí sušení. U období s konstantní rychlostí je hnací silou výměny vodní páry mezi hlávkou a vzduchem rozdíl parciálních tlaků (tlak syté páry nad čistou kapalinou mínus parciální tlak páry v hlavním proudu vzduchu). Musí být v rovnováze pronikání vody na povrch sušeného chmele a vlhkost proudícího vzduchu. Během tohoto období sušení se uvnitř sušené hlávky vytvoří spád vlhkosti klesající směrem k povrchu. Po určité době klesne obsah vody natolik, že se nestačí dodávat k povrchu tolik vody, kolik je jí schopen vzduch odpařit. Rychlost odpařování začne klesat a teplota povrchu hlávky stoupat (dávka tepla ze vzduchu zůstává stejná, ale na odpaření vlhkosti se jí spotřebuje méně). Tento okamžik nastává při poklesu vlhkosti na hodnotu CK (kritická vlhkost). Je potřeba, aby kritická vlhkost byla co nejmenší, po ní začíná rychlost sušení rychle klesat. Kritická vlhkost je tím větší, čím větší je rychlost sušení a čím menší je specifický povrch hlávek (hlavně dle odrůd).

Proto je zapotřebí pokusně zjistit sušicí závislost za stejných podmínek. Abychom dosáhli co nejmenší kritické vlhkosti, je třeba rychlost sušení během cyklu měnit (změnit vlastnosti sušicího vzduchu - teplotu a vlhkost). Rychlost sušení za kritickou vlhkostí (za klesající rychlosti sušení) závisí výhradně na toku kapalná uvnitř sušeného chmele. Se zvýšením teploty sušicího vzduchu se zvyšuje rychlost desorpce vody z povrchu



sušených hlávek a výsledkem toho je vyšší gradient vlhkosti uvnitř. Protože vysoký vnitřní gradient vlhkosti může způsobit praskliny nebo dokonce zlomky lupulinových zrn, je důležité znát hraniční teplotu sušení.

## **CELÝ PRŮBĚH SUŠENÍ LZE ROZDĚLIT NA TŘI ZÁKLADNÍ ČASOVÉ ÚSEKY:**

### **2.2.1.1. Počátek sušení**

Jakmile vznikne gradient teploty, začne se chmelová hlávka ohřívat z počáteční teploty. Zároveň se z povrchu hlávek odpařuje vlhkost, neboť existuje gradient koncentrace vlhkosti na styku povrchu hlávek a vzduchu. Vlhkost povrchu hlávek klesá, ale odpařování vody zpomaluje jejich ohřev, protože na odpařování se spotřebovává teplo dodávané ze sušicího vzduchu. Počáteční období je poměrně krátké. Rychlost sušení závisí na teplotě, vlhkosti a hmotnostním průtoku vzduchu.

### **2.2.1.2. Konstantní rychlost sušení**

Hlávky dosáhly teploty adiabatického nasycení (teplota vlhkého teploměru). V tomto stavu se teplota hlávek nemění, všechno teplo dodávané sušicím vzduchem se spotřebovává na odpařování nevázané vody. Množství vlhkosti klesá zhruba lineárně. Tento úsek trvá až do tzv. kritického bodu - je to inflexní bod na křivce sušení. Množství tepla předávané proudícím vzduchem za jednotku času je úměrné rozdílu teploty vzduchu a teploty povrchu hlávek, součiniteli přestupu tepla a povrchu hlávek. Tato situace trvá až do kritické doby, přitom teplota hlávek zůstává konstantní.

### **2.2.1.3. Klesající rychlost sušení**

Po dosažení kritického bodu přestane být povrch hlávek vlhký, do styku se vzduchem se dostanou suché části jejich povrchu a rychlost sušení se začne snižovat. Obsah vlhkosti, při kterém nastává počátek poklesu rychlosti sušení, se nazývá kritická vlhkost. Na povrch listenů hlávky se musí vlhkost teprve dostávat difuzí zevnitř vřetenka. Rychlost sušení závisí na tom, jakými silami je vlhkost v hlávkách vázána (ovlivněno velikostí pórů, hygrokopickým povrchem). Hlávky se začnou ohřívat nad teplotu vlhkého teploměru. Klesá rozdíl teplot mezi vzduchem a hlávkou, a tím i sdílení tepla.

Oba děje se postupně zastavují, chmel nelze v daných podmínkách vysušit více než na rovnovážnou vlhkost, kdy teplota hlávky vzroste na teplotu vzduchu.



## KŘIVKU SUŠENÍ JE NUTNÉ TĚMĚŘ VŽDY PRO RŮZNÉ PODMÍNKY SUŠENÍ STANOVIT EXPERIMENTÁLNĚ!

### 2.2.2. Faktory ovlivňující sušení chmele

Průběh sušení chmelových hlávek ovlivňují především tyto faktory:

- a/ **Vlhkost chmelových hlávek** – mění se podle odrůdy chmele, vyzrálости hlávek, denní doby stržení rév, případného navlhčení hlávek po dešťových srážkách.
- b/ **Teplota a vlhkost vzduchu** – teplota vzduchu a relativní vlhkost ovlivňují průběh sušicího procesu. Je to velmi důležité při změně počasí v průběhu sklizně, kdy zvláště v závěru sklizňového období klesají ranní teploty a zvyšuje se relativní vlhkost vzduchu.
- c/ **Teplota sušicího vzduchu** – podle vstupních podmínek (z předchozích bodů) lze regulovat sušení korigováním teploty sušicího vzduchu, popř. u sušáren s ventilátorem i nastavením množství a rychlosti vzduchu. Nižší teplota by měla být v začátku sklizně, kdy ještě nejsou všechny hlávky v technologické zralosti.

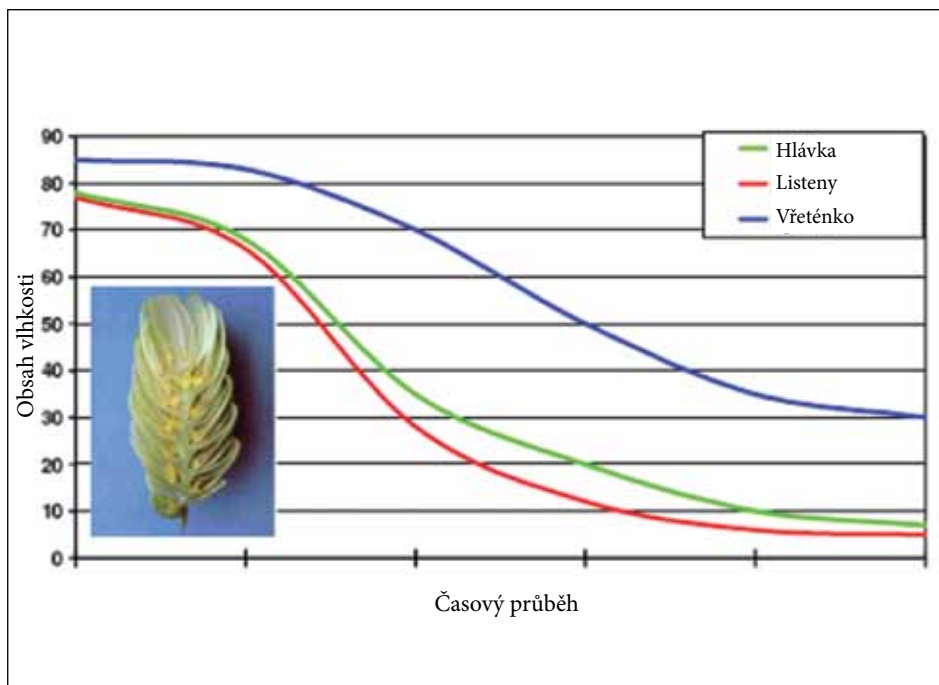
#### ad a/ Vlhkost chmelových hlávek

Chmelové hlávky před sušením mají obsah vody v rozsahu 75–85 % s různým podílem vlhkosti vřeténka a listenů podle odrůdy a velikosti hlávek. Konečný obsah vlhkosti hlávek před klimatizací by měl být v rozsahu 6–8 %. Je důležité sladit výkon česacích strojů tak, aby sklizené hlávky byly ihned přesunuty do násypky sušárny, nebo do tzv. mezizásobníků s provzdušňováním celého profilu hlávek. Zamezí se tak jejich zapaření s následkem ztráty barvy a lesku, popř. i silnějšího poškození.

Stavba chmelové hlávky není pro průběh sušení právě příznivá. Listeny hlávky mají v poměru k jejich hmotnosti velký povrch a menší obsah vlhkosti. Vřeténko s vyšším obsahem vlhkosti má nepoměrně malou plochu, je navíc kryté listeny, a tím nemá sušící vzduch bezprostřední přístup pro odběr vlhkosti. Proto listeny vysychají značně rychleji než vřeténko. Při sušení musí vlhkost z vřeténka postupovat kapilárním systémem do listenů. Velké rozdíly ve stavbě a velikosti hlávky, včetně uspořádání listenů podle jednotlivých odrůd, tak ztěžují postup sušení. Např. podíl vřeténka z celkové hmotnosti hlávky v technologické zralosti je u odrůd jemného aromatického chmele v průměru 8–12 % podle velikosti hlávek, kdežto u vysokoobsažných odrůd je tento podíl jen 6–8 %.



## Úbytek vlhkosti při sušení z hlávek, listenů a věténka (příklad)



Jestliže po usušení je obsah vlhkosti v celých hlávkách na úrovni 8–10 %, mají samotné listeny jen 5–6 % vlhkosti, ale věténko může mít ještě vlhkost až 30 %. Proto má hmotnostní podíl věténka velký vliv na následný prostup vlhkosti při klimatizaci hlávek.



## ad b/ Teplota a vlhkost vzduchu

Obdobný vliv na průběh sušení má teplota a relativní vlhkost vzduchu – ovlivňují možnost odběru vlhkosti z hlávek sušicím vzduchem. Tyto hodnoty se výrazně mění v průběhu dne, přesto i při nižší teplotě má vzduch nasávaný do výměníku po ohřátí dostatečnou schopnost odebrat vlhkost z hlávek. Jak se může měnit možnost odebrání vlhkosti, ukazuje následující tabulka.

*Tab.: Vlhkost vzduchu – vliv na možnost odsušení vlhkosti*

Podmínky	Teplota vzduchu °C	Relativní vlhkost vzduchu v %	Obsah vody v 1 m <sup>3</sup> vzduchu	Možnost odsušení vody (g.m <sup>-3</sup> vzduchu)
Nasávaný vzduch - ráno	12 °C	80 %	8,5 g	22 g
Nasávaný vzduch - odpoledne	25 °C	40 %	9,3 g	21,2 g
Nasávaný vzduch - před bouřkou	25 °C	80 %	21,0 g	9,5 g
Odsávaný vzduch ze sušárny	≈ 30 °C	100 %	30 g	0 g

## ad c/ Teplota sušicího vzduchu

Teplota vzduchu v komorové sušárně je nejvhodnější v rozsahu cca 54–55 °C, krátkodobě (při vyšší vlhkosti hlávek po dešťových srážkách) lze teplotu zvýšit na 60 °C. Teplota je velmi důležitý parametr pro uchování vůně, barvy a lesku hlávek. Při vyšších teplotách může dojít i k praskání lupulinových zrn, a tím jejich znehodnocení.



Následující příklad uvádí vzor výpočtu množství sušícího vzduchu:

*Parametry sušícího vzduchu - vstup do sušárny*

teplota  $t_{A0} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$

měrná vlhkost  $x_{A0} = 0,010 \text{ kg vody / kg suchého vzduchu}$

(určeno z Mollierova h – x diagramu vlhkého vzduchu)

*Parametry sušícího vzduchu - výstup ze sušárny*

teplota  $t_{A1} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

měrná vlhkost  $x_{A1} = 0,018 \text{ kg vody / kg suchého vzduchu}$

1 kg sušícího vzduchu o těchto parametrech může ze sušeného materiálu odvést (odsušit)

$$(x_{A0} - x_{A1}) = 0,018 - 0,010 = 0,008 \text{ kg vlhkosti (vody)}$$

Na odsušení 1 kg vlhkosti ze sušeného chmele potřebujeme  $1/0,008 = 125 \text{ kg}$  sušícího vzduchu o výše uvedených parametrech.

## ÚPRAVY PARAMETRŮ SUŠENÍ

Rozmanitost jednotlivých typů sušáren a jejich vývoj se neobešel bez úprav technologických parametrů sušení.

### ▪ Teplota sušení

Tento základní technologický ukazatel byl dlouho udáván jako empiricky odvozený. Nejstarší literární údaje uváděly hodnotu teploty sušení  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , pozdější pak  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . V rámci řešeného výzkumného úkolu bylo nezbytné stanovit teplotní hranici, která neporuší kvalitu sušeného chmele. Byly sledovány teploty sušícího vzduchu od  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  až do výše  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Teplotní hranice byly sledovány ve vztahu ke stupni vyzrálosti chmelových hlávek.

### ▪ Rychlost proudění vzduchu

Tento ukazatel byl sledován od hodnoty samovolného proudění (bez nucené cirkulace), odvozeného od tzv. komínového efektu, až po hranici nestability rozprostřené vrstvy chmele (při nucené cirkulaci).



## ▪ Doba sušení

Tento ukazatel nutno chápat jako výslednici teploty, rychlosti proudění sušicího vzduchu a vrstvy sušeného chmele. Sledovány byly varianty 300 až 600 minut.

## ▪ Stupeň dosoušení chmele

Původně v praxi uváděný stupeň dosoušení tzv. „na stopku“ a „na vřetenko“ bylo nutno doplnit hodnotami zjištěné vlhkosti vážkovou metodou.

## ▪ Bylo třeba vypracovat technologický režim dle jednotlivých typů sušáren

U komorových typů sušáren byl tento parametr zaměřen na následující typy úprav:

- Komorové sušárny se samovolnou cirkulací sušicího 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 – přímý výstup z výzkumného záměru FI-IM2/152

## ▪ Teplota sušení

Výslednici realizovaných experimentů bylo stanovení maximální hranice teploty sušení na hranici 60 °C bez ohledu na rychlost proudění vzduchu. Podmínkou byla dokonalá vyzrálost chmelových hlávek. Na začátku technologické zralosti (nevyrovnané uzavírání hlávek, rychlé zavádání) byla maximální teplotní hranice posunuta na 55 °C. Tím byly potvrzeny dřívější literární údaje (Rybáček 1980, Fric 1990). Ověřovaná vyšší teplotní hranice sušení se projevila negativním dopadem na kvalitu sušeného chmele. Pro praktické uplatnění byl doporučen závěr začátkem sklizně (nastupující vyzrálost hlávek) stanovit maximální teplotu sušicího vzduchu v rozmezí 50–55 °C a v prvních dnech sklizně (2–4 dny) ji postupně zvýšit až do hranice 60 °C.

Spolehlivým ukazatelem při makroskopickém posouzení sušených hlávek se ukázala citrónově žlutá barva lupulinu. Vyšší teploty nad doporučovanou maximální hranicí se negativně projeví v biochemických charakteristikách.

## ▪ Rychlost proudění vzduchu

Při nucené cirkulaci je tento parametr především závislý na vlhkosti chmelových hlávek. Byly potvrzeny dřívější literární údaje (Fric, Marek 2007), které uvádějí maximální hranici rychlosti proudění vzduchu ve vrstvě sušeného chmele 0,40–0,45 m.sec<sup>-1</sup>. Nad touto hranicí dochází k narušování vrstvy sušeného chmele tvorbou tzv. komínů, a tím k nevyrovnanému proudění ve vrstvě sušeného chmele.





## ▪ Doba sušení chmele

Jako výslednice teploty a rychlosti proudění se pohybuje v rozmezí 360–480 minut. U komorových sušáren je limitujícím ukazatelem výše odsušku na 1. žaluzii, která musí činit nejméně 30 %. Je rozdílná dle typů a technického vybavení sušáren. Nejdelší doba sušení na první žaluzii byla prokázána u sušáren bez nucené cirkulace, kde průměrně vykazovala hodnotu 120 minut. Nejkratší doba sušení na první žaluzii byla zaznamenána u sušáren s nucenou cirkulací (tlačné a odsávací ventilátory), kde klesla až na 60 minut.

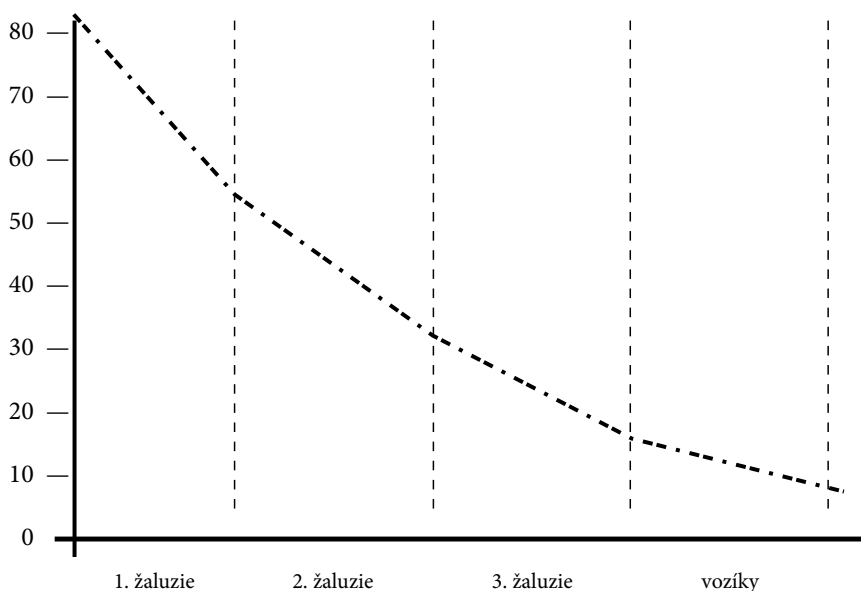
### 2.2.3. Stupeň dosoušení chmele

Dřívější stupně dosoušení tradované v pěstitelské praxi byly doplněny o hodnoty vlhkosti zjišťované vážkovou metodou:

Stupeň dosoušení „na stopku“ má vlhkost 8–11 %.

Stupeň dosoušení „na věténko“ má vlhkost v rozmezí 5–7 %.

Pro jednotlivé žaluzie a pro celkový průchod sušárnou byla zpracována sušicí křivka:



### III. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

#### DOPORUČENÉ METODICKÉ POSTUPY PRO JEDNOTLIVÉ TYPY KOMOROVÝCH SUŠÁREN

Pro jednotlivé typy normalizované velikosti komorových sušáren byly pro pěstitelskou praxi doporučeny následující metodické postupy:

Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<b>I.</b>  Bez nucené cirkulace vzduchu – tuhá paliva	<p>Tento typ se již prakticky vyskytuje jen zcela ojediněle.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ doporučená výška vrstvy násypu chmele na 1. žaluzii 10–12 cm (násyp 10 žočků á 25 kg, tj. 250 kg na 22,5 m<sup>2</sup>)</li><li>▪ přepočtená výkonnost <b>na 1 m<sup>2</sup>. 1 hod. sušení 1,59–1,67 kg čerstvého chmele, v suchém chmelu (1,59–1,67 · 0,222) = 0,35–0,37 kg</b></li><li>▪ <b>celková výkonnost na komoru v čerstvém chmelu za dobu sušení 250 kg, v suchém chmelu (250·0,222) = 55,5 kg</b></li><li>▪ teplota sušení 50–55 °C</li><li>▪ doba sušení <b>na 1. žaluzii 120 minut</b>, celková doba sušení 420–480 minut (dosoušení ve vozících cca 60 minut)</li><li>▪ stupeň vysušení „na stopku“ (cca 10 %)</li><li>▪ po usušení rozkládat na nejvrchnější podlaží skladu „do hřebínků“, větrat zejména za vyšší rel. vlhkosti vzduchu, následný den shrnout chmel na nižší podlaží do vyšší vrstvy – cca 1 m.</li><li>▪ lisovat do pěstitelských žočků po přirozené klimatizaci v průběhu 2–3 měsíců po usušení.</li></ul>



Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p><b>II.</b></p> <p>Horkovzdušný agregát, topný olej, nucená cirkulace přívodu vzduchu do sušárny</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ doporučená výška vrstvy na 1. žaluzii max. 20 cm</li> <li>▪ přepočtená výkonnost na <b>1 m<sup>2</sup>. 1 hod. sušení 3,33–3,70 kg čerstvého chmele, v suchém chmelu (3,33–3,70 . 0,213) = 0,71–0,79 kg</b></li> <li>▪ <b>celková výkonnost na komoru v čerstvém chmelu za dobu sušení 450–500 kg, v suchém chmelu (450–500 . 0,213) = 95,8–106,5 kg</b></li> <li>▪ teplota sušení 55 až 60 °C (dle stupně vyzrálosti)</li> <li>▪ doba sušení na 1 žaluzii cca 90 minut</li> <li>▪ celková doba sušení 360 minut</li> <li>▪ stupeň vysušení „na vřetenko“ (cca 5–7 %)</li> <li>▪ po usušení rozkládat na nejvrchnější podlaží skladu „do hřebínků“, a pokud to prostorové podmínky dovolí, až následující den shrnout na nižší podlaží a do vyšší vrstvy.</li> </ul>



Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p><b>III.</b></p> <p>Horkovzdušný agregát, topný olej, nucená cirkulace přívodu vzduchu a odvodu vzduchu do sušárny</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ doporučená výška vrstvy na 1. žaluzii 25–30 cm</li> <li>▪ teplota sušení 55 až 60 °C (dle stupně vyzrálosti)</li> <li>▪ doba sušení na 1. žaluzii min. 60 min, po spuštění na 2. žaluzii nový násyp na 1. žaluzii uskutečnit až za cca 30 min, celková doba sušení 300–360 minut.</li> <li>▪ přepočtená výkonnost <b>na 1 m<sup>2</sup>. 1 hod. sušení 5,55 kg čerstvého chmele, v suchém chmelu (5,55 . 0,213) = 1,18 kg</b></li> <li>▪ <b>celková výkonnost na komoru v čerstvém stavu za dobu sušení 625–750 kg, v suchém chmelu (625–750 . 0,213) = 133,1–159,7 kg</b></li> <li>▪ stupeň vysušení „na vřetenko“ (cca 5–7 %)</li> <li>▪ po usušení rozkládat na nejvrchnější podlaží skladu a ponechat v nízké vrstvě tak dlouho, jak to prostorové podmínky dovolí, nebo chmel klimatizovat v instalovaném zařízení.</li> </ul>



Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p><b>IV.</b></p> <p>Horkovzdušný agregát, topný olej, nucená cirkulace přívodu vzduchu a odvodu vzduchu ze sušárny, instalace klimatizačního zařízení</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ doporučená výška vrstvy na 1. žaluzii 25–30 cm</li> <li>▪ u vícekomorových sušáren volit násyp každé komory samostatně, časový interval mezi komorami cca 30 minut.</li> <li>▪ teplota sušení 55 až 60 °C (dle stupně vyzrálosti)</li> <li>▪ doba sušení na 1. žaluzii min. 60 minut, celková doba sušení 240–300 minut</li> <li>▪ přepočtená výkonnost <b>na 1 m<sup>2</sup>. 1 hod. sušení 5,55 kg čerstvého chmele, v suchém chmelu (5,55.0,213) = 1,18 kg</b></li> <li>▪ <b>celková výkonnost na komoru v čerstvém stavu za dobu sušení 625–750 kg, v suchém chmelu (675–750 . 0,213) = 133,1–159,7 kg</b></li> <li>▪ stupeň vysušení „na vřeténko“ (5–7 %)</li> <li>▪ po usušení klimatizovat v instalovaném zařízení při teplotě 25–28 °C, rel. vlhkosti vzdušné 70 % na rovnovážnou vlhkost chmele 10,5–11,5 %, doba klimatizace 70–90 minut.</li> <li>▪ po klimatizaci ihned lisovat do pěstitelských žoků nebo do hranolů.</li> </ul>



Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p><b>V.</b></p> <p>Komorové sušárny s vysokou vrstvou sušeného chmele</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ jedná se o sušárny 2 – 3komorové s posuvným a perforovaným dnem, s nucenou cirkulací vzduchu – přímý výstup z výzkumného záměru FI-IM2/152.</li> <li>▪ doporučená výška vrstvy sušeného chmele 80 cm</li> <li>▪ doba zaplňování jedné komory 60–120 minut</li> <li>▪ teplota sušení 55–60 °C (dle stupně zralosti)</li> <li>▪ celková doba sušení v jedné komoře cca 720 minut</li> <li>▪ stupeň vysušení „na stopku“ (cca 9–10 %)</li> <li>▪ po usušení ihned lisovat do pěstitelských hranolů.</li> </ul>



Uvedené údaje se týkají odrůdy Žatecký poloraný červeňák. Pro odrůdy hybridního původu označované jako „nové české odrůdy“ musíme uvést některé odlišnosti. Odrůdy Premiant, Bor a Agnus se vyznačují vysokým obsahem chmelové moučky, hrubší stavbou hlávky a začátkem sušení s jen pozvolna se otevírajícími hlávkami. Je proto nezbytné počítat s delší dobou sušení na první žaluzii. Poněkud specifický charakter z hlediska sušárenského má naše nejpozdnější aromatická odrůda Sládek, která v některých ročnících trpí nedostatečným vyhlávkováním. Drobné hlávky rychle zavádají, ve vrstvě se slehávají a vykazují sníženou prostupnost sušicího vzduchu. V tomto případě je nezbytné prodloužit dobu sušení na 1. žaluzii, případně snížit vrstvu sušeného chmele. Při normálním vyhlávkování není třeba činit rozdíl v sušení mezi ŽPČ a ostatními hybridními odrůdami. U nich doporučujeme sušení na komorových sušárnách se zabudovanými odsávacími ventilátory nebo komorové sušárny konstruované na sušení ve vysoké vrstvě.

### Přepočty hmotnosti chmele:

Pro přepočet čerstvého chmele na suchý využíváme vzorec:

$$Q_2 = Q_1 \frac{100 - \varepsilon_1}{100 - \varepsilon_2}$$

Kde  $Q_2$  = hmotnost chmele po usušení  
 $Q_1$  = hmotnost chmele před sušením  
 $\varepsilon_1$  = vlhkost chmele před sušením  
 $\varepsilon_2$  = vlhkost chmele po usušení

Pro přepočet suchého chmele na čerstvý chmel využíváme vzorec:

$$Q_1 = Q_2 \frac{100 - \varepsilon_2}{100 - \varepsilon_1}$$

Kde  $Q_2$  = hmotnost chmele po usušení  
 $Q_1$  = hmotnost chmele před sušením  
 $\varepsilon_1$  = vlhkost chmele před sušením  
 $\varepsilon_2$  = vlhkost chmele po usušení



*Pro přepčet čerstvého chmele na suchý lze využívat následující koeficienty:*

Vlhkost suchého chmele v %	Vlhkost čerstvého chmele v %						
	76	77	78	79	80	81	82
5	0,253	0,242	0,232	0,221	0,211	0,200	0,189
6	0,255	0,245	0,234	0,223	0,213	0,202	0,191
7	0,258	0,247	0,237	0,226	0,215	0,204	0,194
8	0,261	0,250	0,239	0,228	0,217	0,207	0,196
9	0,264	0,253	0,242	0,231	0,220	0,209	0,198
10	0,267	0,256	0,244	0,233	0,222	0,211	0,200
11	0,270	0,258	0,247	0,236	0,225	0,213	0,202
12	0,273	0,261	0,250	0,239	0,227	0,216	0,205
13	0,276	0,264	0,253	0,241	0,230	0,218	0,207

*Pro přepčet suchého chmele na čerstvý chmel lze využívat následující koeficienty:*

Vlhkost suchého chmele v %	Vlhkost čerstvého chmele v %						
	76	77	78	79	80	81	82
5	3,958	4,130	4,318	4,523	4,750	5,000	5,277
6	3,917	4,087	4,273	4,476	4,700	4,947	5,222
7	3,875	4,043	4,227	4,429	4,650	4,895	5,167
8	3,833	4,000	4,182	4,381	4,600	4,842	5,111
9	3,792	3,957	4,136	4,333	4,550	4,789	5,056
10	3,750	3,913	4,091	4,286	4,500	4,737	5,000
11	3,708	3,870	4,045	4,238	4,450	4,684	4,944
12	3,667	3,886	4,000	4,190	4,400	4,632	4,889
13	3,625	3,783	3,955	4,143	4,350	4,579	4,833





## IV. MOŽNOSTI MODERNIZACE KOMOROVÝCH SUŠÁREN

Na základě schválení opatření **Modernizace zemědělských podniků** v oblasti Eurodotací na období 2007–2013 budou podporovány investice zlepšující celkovou výkonnost zemědělských podniků za účelem zvýšení jejich konkurenceschopnosti. V rostlinné výrobě se to týká i modernizací sušáren chmele.

Pro celkovou modernizaci jsou vhodné komorové sušárny chmele s vyšší výkonností (v předchozích tabulkách typy III a IV) s celkovou sušicí kapacitou za sezónu nejméně 15 000 kg suchého chmele. U menších sušáren je možná i částečná modernizace, např. zabudování klimatizační jednotky, násypky a lisovacího zařízení apod.

Modernizace umožňuje snížení počtu obsluhy, zlepšení procesu sušení, přesnější sledování potřebných hodnot, přímou následnost klimatizace usušeného chmele s možností lisování do balotů.

### **Popis možností technických úprav sušárny v rámci modernizace:**

- 1/ Zřízení kapsového dopravníku pro chmel na násyp do sušících komor
- 2/ Zabudování rozprostíracího pásu v sušící komoře
- 3/ Výměna vozíků za drátěné pásy – obdoba pásové sušárny
- 4/ Sběrný pás usušeného chmele s výsypkou do klimatizační jednotky
- 5/ Zabudování klimatizační jednotky
- 6/ Komplet násypky do lisu pro usušený a klimatizovaný chmel
- 7/ Ovládací a komunikační systém

Jednotlivé části modernizace jsou nejlépe zřetelné z přiložené fotodokumentace již provedených technických úprav.



## ad 1/ Zřízení kapsového dopravníku pro chmel pro násyp do sušících komor



*Obr. 1: U komorové sušárny je nainstalován kapsový dopravník pro načesání chmel*



*Obr. 2: Kapsový dopravník vyústuje přímo do násypné komory*



## ad 2/ Zabudování rozprostíracího pásu v sušící komoře



*Obr. 3: Rozprostírací pás je umístěn v horní části násypné komory na příčných nosnících.*



*Obr. 4: Detail pohonu rozprostíracího pásu*



### ad 3/ Výměna vozíků za drátěné pásy – obdoba pásové sušárny



*Obr. 5: Vyústění drátěných pásů ze sušicích komor*



*Obr. 6: Detail vyústění výsypu chmele a pohon sběrného pásu*



#### ad 4/ Sběrný pás usušeného chmele s výsypkou do klimatizační jednotky



*Obr. 7: Zakončení sběrných pásů usušeného chmele a sběrná násypka chmele do klimatizační jednotky*

#### ad 5/ Zabudování klimatizační jednotky



*Obr. 8: Klimatizační jednotka s ovládací soupravou*



## ad 6/ Komplet násypky do lisu pro usušený a klimatizovaný chmel



*Obr.9: Vyústění pásu z klimatizační jednotky, mezizásobník usušeného a klimatizovaného chmele a dopravní pás k násypce lisu*

## ad 7/ Ovládací a komunikační systém



*Obr. 10: Ukázka části ovládacích a zabezpečovacích prvků*



## V. ZÁVĚR A POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Pěstování chmele v posledních dvou desetiletích doznalo výrazných změn. Došlo k redukci ploch a tyto změny se promítly do kapacity sklizňových zařízení. S tímto procesem byla rovněž spojena i problematika návratnosti majetku původním majitelům. V rámci restitucí byla také řešena otázka předávání sklizňových zařízení (česacích strojů, sušáren a skladovacích prostorů). Tato situace se neobešla bez redukce dříve využívaných sklizňových kapacit, v tomto případě sušárenských zařízení.

V provozních podmínkách se projevil určitý nadbytek sušárenské kapacity, který lze odhadnout cca na 40 %. To nutí pěstitelské podniky k výběru technicky a technologicky nejvhodnějších zařízení. Tento nadbytek sušárenských zařízení má přímý důsledek ve sníženém zájmu o technickou inovaci, která je spojena s nedostatkem finančních zdrojů.

**Druhý okruh problémů spočívá v přímých nákladech na vlastní sklizeň, kde se dotýkají několikanásobného vzestupu cen energií (elektřina, topný olej).**

Všechny tyto uvedené důvody vedou k racionalizaci sklizňového procesu od volby příslušného typu sušárny až po technické inovace a usměrňování technologického režimu. Využití této metodiky je zabezpečeno uzavřenou smlouvou se Svazem pěstitelů chmele ČR.



## VI. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

**Beránek F., 1981:** Výkonnost čs. a zahraničních odrůd chmele s ohledem na vhodnost ke strojní sklizni. Rostlinná výroba, /27/, s. 103–108.

**Fric V., 1962:** Poznatky z nové technologie sušení chmele. Sborník VŠZ, s. 119–127.

**Fric V., 1985:** Československé zemědělství – Chmelařství. SZN Praha, 31s.

**Fric V., Marek J., 2007:** Historie sušení a posklizňové úpravy u pěstitele. Kvasný průmysl, Chmelařská ročenka, s. 98–123.

**Fric V., 1963:** Studium podmínek skladování chmele v pěstitelských závodech a jejich vliv na jakostní ztráty. VŠZ Praha, kandidátská disertační práce.

**Fric V., 1965:** Technologie sklizně chmele ve sklizňovém středisku. Habilitační práce, VŠZ Praha.

**Hopfen, 2005:** Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: 116 s.

**Hopfen, 2006:** Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: 130 s.

**Hopfen, 2007:** Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: 113 s.

**Kořen J., 2007:** Faktory ovlivňující tvorbu a kvalitu hlávek perspektivních odrůd chmele. Doktorská disertační práce, ČZU Praha.

**Kořen J., 2007:** Závěrečná zpráva výzkumného projektu FI-IM2/152: Výzkum a vývoj techniky a technologie sklizňového procesu a posklizňové úpravy chmele, Chmelařský institut s.r.o., Žatec.

**Makovec K., Fric V., 1966:** Umělá úprava vlhkosti usušeného chmele před žokováním. Zemědělská technika, č.12, s. 445–450.

**Mohl A., 1924:** Chmelařství, Díl II (část praktická): Pěstování chmele po stránce povšechné i podrobné. Praha, 166 s.

**Münsterer J., 2006:** Optimale Trocknung und Konditionierung von Hopfen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan: 26 s.

**Rybáček V., 1980:** Chmelařství, Praha, 425 s.

**Vent L., 1963:** Chmelařství. Organizace a technologie velkovýroby. Praha, 385 s.

**Zázvorka V., Zima F., 1956:** Chmelařství, Praha.





## VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

Metodice nepředcházely originální publikace.

## VIII. SOUHRN

V současné době je využití klasických komorových sušáren chmele na stejné úrovni, přesto však mají stále svůj význam pro pěstitele s menší plochou chmele, popř. jako rezerva při větším výnosu chmelových hlávek a nedostatečné kapacitě pásových sušáren. V předkládané metodice jsou variantním způsobem prezentovány současné typy sušáren a jejich charakteristiky průběhu sušení. Pěstitelům je předkládán přehled pro případnou volbu způsobu sušení chmele, zároveň je uvedena možnost modernizace komorových sušáren s vyšším sezonním výkonem.

## IX. ABSTRACT

Classic chamber kilns are still used to dry hops in CR. They are important for hop growers who cultivate hop on a smaller scale. Chamber kilns are also suitable as a reserve for the years with higher crops of hops (2010), when the capacity of belt kilns may be insufficient. The methodology contains presentation of the commonly used types of hop kilns including their characteristics of the drying process. On the base of this guidebook hop growers can choose the recommended type of drying. The possibility of modernization of chamber kilns aimed at higher seasonal output is presented here as well.





# CHMELAŘSKÝ INSTITUT s.r.o.

HOP RESEARCH INSTITUTE Co., Ltd.



Kadaňská 2525, 438 46 Žatec

Tel.: +420 415 732 111

Jednatel: Ing. Jiří Kořen, Ph.D.

Fax: +420 415 732 150

Tel.: +420 415 732 133

Internet: [www.chizatec.cz](http://www.chizatec.cz)

E-mail: [jiri.koren@telecom.cz](mailto:jiri.koren@telecom.cz)

## Vědeckovýzkumná činnost

- Šlechtění chmele
- Chemie chmele
- Agrotechnika chmele
- Ochrana chmele
- Biotechnologie
- Pokusný pivovárek

## Poradenská a školicí činnost

## Výroba chmele

## Výroba chmelové sadby

- Žatecký poloraný červeňák
- Hybridní odrůdy

## Zemědělská výroba

## Obchodní činnost



Chmelařský institut s. r. o.

Účelové hospodářství Stekník

Tel.: +420 415 735 861

Fax: +420 415 725 334

Výzkumná stanice Tršice

Tel.: +420 585 957 237



Metodika byla zpracována jako výstup z projektu programu  
MPO – IMPULS, číslo projektu FI-IM2/152  
„Výzkum a vývoj techniky a technologie sklizňového procesu  
a posklizňové úpravy chmele“

