

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů

**Rozbor práce a porovnání různých typů
komorových sušáren chmele**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Autor práce: Jakub Pivko

© 2018 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Pivko

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Rozbor práce a porovnání různých typů komorových sušáren chmele.

Název anglicky

Work analysis and comparison of various types of hops kiln dryers.

Cíle práce

Na základě aktuálních odborných informací z tiskových a elektronických medií a podkladů od pěstitelů provést analýzu komorových sušáren chmele a formulovat předpokládaný vývoj v dané oblasti.

Metodika

Zpracovat literární rešerši a posoudit stávající technologii a techniku pro sušení chmele. Na základě provedené analýzy jednotlivých konstrukčních řešení a na základě porovnání se zahraničím naznačit výhledové trendy v dané oblasti.

Doporučený rozsah práce

30 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

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

Doporučené zdroje informací

JECH, J. a kol. Stroje pre rastlinnú výrobu 3. Stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie. Profi 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 užité 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 02. 04. 2018

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Rozbor práce a porovnání různých typů komorových sušáren chmele“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

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

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne

Jakub Pivko

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Adolfu Rybkovi, CSc. za věnovaný čas, cenné rady a především za odborné vedení mé bakalářské práce.

Rozbor práce a porovnání různých typů komorových sušáren chmele

Abstrakt

Práce se zabývá rozбором a zpracováním komorových sušáren, určených pro vysoušení chmelových hlávek. Dále je zde vypracována základní teorie sušení chmele, historie sušení chmele a stručný přehled různých typů sušáren. Do detailů je rozveden komorový typ chmelových sušáren, porovnání několika typů a jejich následné použití v praxi. V práci je dokázáno, že komorové sušárny jsou stále užitečným nástrojem pro sušení chmelových hlávek a řada zemědělských firem v ČR je stále aktivně využívá.

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

Work analysis and comparison of various types of hops kiln dryers

Abstract

My work focuses on the analysis and processing of chamber dryers intended for drying hop cones. There is basic theory of hop drying, its history and a brief overview of different types of the dryers. The chamber type of dryer is described in details, comparing of several types and their subsequent use in practice. In my work is proved chamber dryers are still useful tool for drying hop cones and many agricultural companies still actively use them in the Czech republic.

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

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Metodika	3
4	Přehled řešené problematiky	4
4.1	Historie sušení chmele	4
4.2	Základy sušení.....	5
4.2.1	Proces sušení.....	5
4.2.2	Faktory ovlivňující sušení.....	7
4.2.3	Hmotnostní poměry	8
4.2.4	Vlastností chmele po usušení.....	9
4.2.5	Ošetření suchého chmele	10
4.3	Druhy sušáren.....	11
4.3.1	Pásové sušárny.....	12
4.3.2	Komorové sušárny	15
5	Rozbor práce komorových sušáren	16
5.1	Žaluziové sesypné komorové sušárny.....	18
5.2	Boxové komorové sušárny	22
5.2.1	Boxová komorová sušárna Mšec	24
5.3	Technologické změny komorových sušáren	26
5.3.1	Změna topného zdroje	26
5.3.2	Úprava vzduchotechnických podmínek.....	26
5.3.3	Budování vícekomorových sušáren	28
5.4	Modernizace komorových sušáren.....	28
5.4.1	Zavedení rozprostíracího pásu v sušící komoře.....	28
5.4.2	Vybudování kapsového dopravníku	29
5.4.3	Zabudování klimatizační jednotky.....	30
5.4.4	Ovládací a komunikační systém	31
6	Porovnání komorových sušáren	32
7	Výhledové trendy	33
7.1.1	Zásobník suchého chmel.....	33
7.1.2	Turbulentní vložky.....	33
8	Závěr.....	35
9	Použitá literatura	36

Seznam obrázků

Obr. 1 Graf znázorňující průběh sušení [2]	6
Obr. 2 Graf zobrazující křivku vlhkosti materiálu [2]	7
Obr. 3 Chmelová hlávka a její části [9]	9
Obr. 4 Vliv sušícího vzduchu na pohyb chmele [3]	12
Obr. 5 Technologické schéma pásové sušárny PCHB 750 K [5]	13
Obr. 6 Schéma komorové žaluziové sušárny [4]	19
Obr. 7 Technologické schéma boxové komorové sušárny chmele [5]	22
Obr. 8 Sušící komory [5]	23
Obr. 9 Sušící komory Mšec [4]	24
Obr. 10 Šest sušících komor v Mšeci [4]	25
Obr. 11 Komínový efekt [1]	27
Obr. 12 Rozprostírací pás [1]	29
Obr. 13 Kapsový dopravník [7]	30
Obr. 14 Klimatizační zařízení [11]	31
Obr. 15 Ovládací a zabezpečovací prvky [1]	31
Obr. 16 Zásobník suchého chmele [4]	33
Obr. 17 Turbulentní vložky [4]	34

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled typů pásových sušáren v příslušných etapách [3]	14
Tab. 2 Vliv vlhkosti vzduchu na průběh sušení [3]	15
Tab. 3 První typ žaluziových komorových sušáren [1]	20
Tab. 4 Druhý typ žaluziových komorových sušáren [1]	20
Tab. 5 Třetí typ žaluziových komorových sušáren [1]	21
Tab. 6 Čtvrtý typ žaluziových komorových sušáren [1]	21
Tab. 7 Příklad boxové komorové sušárny [1]	24
Tab. 8 Technické parametry boxové komorové sušárny v Mšeci [4]	25
Tab. 9 Porovnání boxových a sesypných žaluziových sušáren [1]	32

Seznam vzorců

(4.1) Přepočet čerstvého chmele na suchý [1]	8
(4.2) Přepočet suchého chmele na čerstvý [1]	9

1 Úvod

V dnešní době se proces sušení využívá v mnoha odvětvích a to např. v hutnictví, strojírenství, chemii, energetice nebo ve stavebnictví. Dále se také využívá v potravinářství pro sušení soli, cukru, zeleniny, ovoce, léčivých bylin a zejména v zemědělství pro sušení obilí, exkrementů a chmelu.

Sušení chmele je považováno za nejjednodušší způsob konzervace, jelikož jednak umrtvuje chmelovou hlávku a také upravuje základní životní faktor pro mikroflóru hlávek. Sušení chmele je další operací sklizňového procesu a je právě tak staré jako pěstování chmele. Interval mezi očesáním a sušením chmele by měl být co nejkratší, v ideálním případě by česací linky a sušení měly pracovat kontinuálně. Na sušení chmele se využívají horkovzdušné sušárny.

Horkovzdušné sušárny můžeme rozdělit na pásové a komorové. Existují dva typy komorových sušáren, sesypné žaluziové a boxové. Díky výhodám pásových sušáren existence sesypných komorových sušáren pomalu upadá. Výhledovým trendem se stávají boxové komorové sušárny, které jsou v ČR jen v několika originálních provedeních. Inspiracemi jsou prototypy používané v zahraničních oblastech, jako je např. USA a Německo.

2 Cíl práce

Práce obsahuje dva cíle. Prvním z nich je analýza procesu sušení a komorových sušáren chmele. Tato analýza byla provedena na základě aktuálních odborných informací z tiskových a elektronických medií a podkladů od pěstitelů. Druhým cílem práce je porovnat a formulovat předpokládaný vývoj v této oblasti.

3 Metodika

Pro zpracování této práce byly použity metody sběru dat a informací, metody analýzy a metody porovnání sušárenské technologie. Sběr informací byl jednou z nejdůležitějších metod zpracování. Těžištěm získaných informací byly články v odborných časopisech a data z elektronických medií. Na základě těchto dat proběhla výsledná analýza procesu sušení a technologie komorových sušáren. Poté bylo provedeno porovnání sušárenské technologie. Bylo porovnááno samotné konstrukční řešení, ale také typy komorových sušáren, které pochází ze zahraničních oblastí (USA, Německo). Díky analýze byl vyhodnocen předpokládaný vývoj a výhledové trendy v dané oblasti.

4 Přehled řešené problematiky

4.1 Historie sušení chmele

Na samotném počátku se hlávky sušily v přírodních podmínkách. Sušení probíhalo ve stínu, ve kterém byl chmel rozložen do tenké vrstvy. Tento způsob sušení byl zdlouhavý, a proto se hledalo jiné řešení než sušení na vhodných podlažích. Tímto řešením se stalo sušení na lískách různé konstrukce, které přineslo lepší využití prostoru, jelikož se chmel ukládal do několika vrstev nad sebou. Dalším urychlením procesu bylo zavedení tepelného vytápění. Toto období lze označit za přechodné od sušení přirozeným způsobem k horkovzdušnému sušení. Používání tepelného zdroje vedlo k organizovanému ukládání lísek a ke vzniku prvních lískových sušáren (např. Bařtipánova sušárna v Hředlích). Šlo v podstatě o ukládání lísek v několika patrech nad sebou, pod které byl veden rozvod teplého vzduchu. Od tohoto způsobu byl už jen krok ke vzniku horkovzdušných sušáren, které se dělí na pásové a komorové sušárny. [4]

Počátky horkovzdušného sušení chmele spadají do druhé poloviny 19. století. Prvními sušárnami byla obdoba hvozdových sušáren, které se využívaly na sušení sladu. Od této doby prošly velmi specifickým vývojem, který probíhal vysokým tempem. V zásadě to znamenalo, že v každém chmelovém hospodářství byla postavena sušárna. Horkovzdušné sušení mělo pozitivní dopad na kvalitu sklizeného chmele, také bylo dosaženo vynikajícího lesku a barvy chmelových hlávek. [1]

Původní selské sušárny byly různého provedení. Jejich vývoj spočíval v nahrazení sušení v jedné vrstvě za sušení ve dvou či více vrstvách nad sebou. Zde byl také zaveden systém tzv. protiproudového sušení, tj. proudící vzduch je veden proti směru posunu chmele. Tím nejteplejším vzduchem byla sušena nejvíce prosušená vrstva, po jejím dalším prosušení přebral vzduch uvolněnou vlhkost, tím se ochladil a vstoupil do další méně prosušené vrstvy. V případě více vrstev se proces dále opakoval. [1]

Byl zaveden systém tzv. žaluziových sušáren, který vykazoval mnoho variant. Tyto varianty začínaly na jednožaluziových, ale mohly být také třížaluziové. K těmto žaluziím patřili vyprazdňovací vozíky, takže sušení probíhalo ve čtyřech vrstvách. [1]

V horkovzdušném sušení byly zaznamenány specifické změny v technickém vývoji. Tyto změny měly užitečný dopad na proces sušení.

4.2 Základy sušení

Sušení je tepelný proces, při kterém dochází ke snížení vlhkosti sušeného materiálu. Tedy u chmelových hlávek dojde k odpaření kapalné fáze za pomoci proudu sušícího média. Za sušící médium je zpravidla považován vzduch nenasycený vlhkem. Teplo, které je zapotřebí pro odpařování zajišťuje horký vzduch. Zařízení, ve kterém se provádí sušení, se nazývá sušárna. [2]

Teplotu horkého vzduchu je možné regulovat. Dalším důležitým pojmem je konvekce, ta zajišťuje přenos energie na povrch hlávek. Zatímco kondukce způsobí přenos energie uvnitř hlávek. Poté zde máme desorpci vody, která je určena teplotou vzduchu, vlhkostí a koncentrací vody na povrchu. [2]

Rychlost sušení může nabývat dvou stavů. Prvním je konstantní rychlost sušení a druhým klesající rychlost sušení, která začne po dosažení kritického bodu (CK). Ten nastane po určité chvíli, kdy klesne obsah vody natolik, že vzduch už nemá co odpařovat. Teplota povrchu začne stoupat a rychlost odpařování klesne. Kritická vlhkost musí být co nejmenší, aby rychlost sušení začala rychle klesat. Každá odrůda má jinou kritickou vlhkost. Abychom dosáhli ideální kritické vlhkosti, je zapotřebí měnit rychlost sušení. [1]

4.2.1 Proces sušení

Proces sušení se dělí do tří etap (obr. 1):

a) Počátek sušení

Vznikne-li gradient teploty, chmelová hlávka se začne ohřívat. Dochází k postupnému odpařování vody, při kterém je spotřebováváno teplo dodávané horkým vzduchem. Odpařování vody má za důsledek zpomalení ohřevu chmelových hlávek. Počátek sušení je poměrně krátký a v některých případech těžko zachytitelný. [1]

b) I. období sušení pomocí konstantní rychlosti

Teplota chmelových hlávek dosahuje teploty vlhkého teploměru, v tomto stavu se teplota hlávek nemění, jelikož všechno dodávané teplo se spotřebovává na odpařování vody z povrchu. Tato etapa trvá až do dosažení kritického bodu, přitom teplota hlávek zůstává konstantní. Rychlost sušení závisí v tomto období na vlhkosti, hmotnostním průtoku vzduchu a teplotě. [1]

c) II. období sušení pomocí klesající rychlosti

V okamžiku dosažení kritického bodu přestane povrch pokrývat vrstva vody, do styku se vzduchem se dostanou suché části povrchu a rychlost sušení se začne snižovat. Hlávky se začnou ohřívat nad teplotu vlhkého teploměru. Rychlost sdílení tepla a hmoty se postupně zpomaluje až do bodu, kdy dosáhne materiál téměř stejné teploty horkého vzduchu a vlhkosti. Oba děje se zastavují a chmel už nelze vysušit více než na teplotu vzduchu. [2]



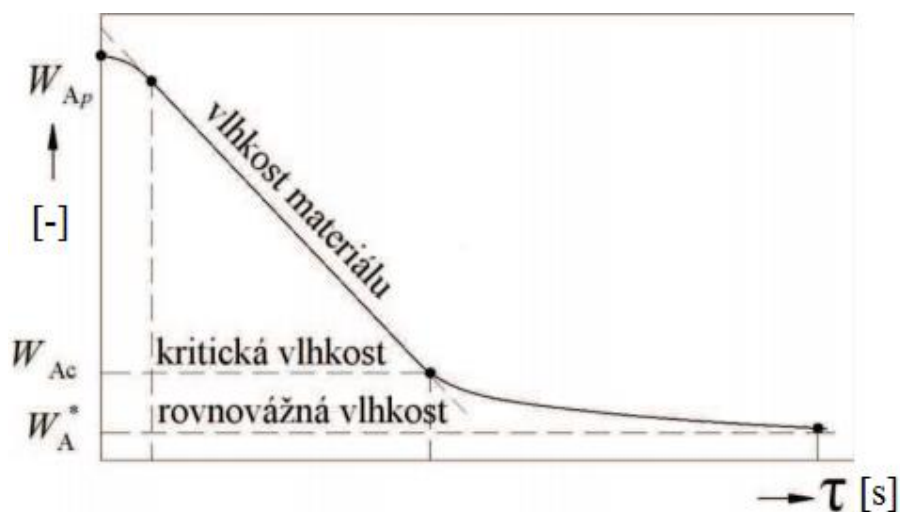
Obr. 1 Graf znázorňující průběh sušení [2]

t – teplota [°C], τ – čas [s]

4.2.2 Faktory ovlivňující sušení

Sušení chmelových hlávek dokáží ovlivnit především tyto faktory:

- a) **Teplota a vlhkost atmosférického vzduchu** – teplota vzduchu a relativní vlhkost ovlivňují průběh sušení především v závěru sklizně, kdy se snižují ranní teploty. Je to důležitý faktor, který závisí na celkové změně počasí během sklizně. [2]
- b) **Teplota sušicího vzduchu** – teplota horkého vzduchu ovlivňuje proces na základě vstupních podmínek, které jsou stanoveny na začátku procesu sušení. Nižší teplota by měla být na začátku procesu. Ideální teplota v komorové sušárně by měla dosahovat cca 55°C, krátkodobě lze zvýšit až na 60°C. Tento faktor je velmi důležitý pro barvu, vůni a lesk hlávek. Při vyšších teplotách dochází k znehodnocení chmelových hlávek. [1]
- c) **Vlhkost chmelových hlávek** – závisí na zralosti hlávek, či odrůdě sušeného chmele. Vlhkost také mohou ovlivnit dešťové srážky. Na začátku sušení mají chmelové hlávky obsah vody v rozsahu 70 – 90 %, kdežto stav vlhkosti před klimatizací by měl odpovídat rozsahu 6 – 9 % (obr. 2). Usušené hlávky jsou křehké a snadno se rozpadají, proto nejsou schopné další manipulace a musí dojít k úpravě vlhkosti na cca 10 – 11 % za pomoci klimatizačního zařízení (obr. 15). [2]



Obr. 2 Graf zobrazující křivku vlhkosti materiálu [2]

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

- d) Odrůda sušeného chmele** – každá odrůda má jiné specifické podmínky. Důležitým faktorem je zde stavba chmelové hlávky. Při sušení by měla vlhkost postupovat z věténka do listenů. Listeny vysychají rychleji než věténko. Rozdíl stavby a velikosti hlávky, tak stěžuje proces sušení. [3]
- e) Rychlost proudění vzduchu** – jsou dvě možnosti proudění a to s nucenou cirkulací a bez nucené cirkulace. Bez nucené cirkulace proudění odpovídá samovolnému. Při nucené cirkulaci je rychlost závislá na vlhkosti chmelových hlávek. Uvádí se maximální rychlost ve vrstvě sušeného chmele a ta odpovídá rozsahu 0,40 – 0,45 m.s⁻¹. Při překročení rozsahu dochází k narušení vrstvy sušeného chmele. [1]
- f) Doba sušení** – tento parametr je výslednicí teploty a rychlosti proudění horkého vzduchu. Doba sušení by měla odpovídat optimálnímu rozsahu 360 – 480 minut. U komorových sušáren je důležitým faktorem výše odsušku na první žaluzii, ta by měla činit nejméně 30 %. Průměrná doba sušení u sušárny bez nucené cirkulace činí 450 minut, zatímco u sušáren s nucenou cirkulací doba klesla na 360 minut. [3]

4.2.3 Hmotnostní poměry

Důležitým údajem je odhadované množství sklizeného chmele a je potřeba ho znát již v průběhu sklizně. Poměr mezi čerstvým a suchým chmelem se uvažuje 4-5:1 avšak tento odhad je velmi hrubý a může být i nepřesný. Vzhledem k tomu, že je možnost zjišťovat vlhkost chmele, uvádí se pro přepočet tyto vzorce. [4]

Přepočty hmotnosti chmele:

Pro převod vlhkého chmele na suchý využíváme vzorec:

$$Q_2 = Q_1 \frac{100 - \epsilon_1}{100 - \epsilon_2} \quad [kg] \quad (4.1)$$

Pro převod suchého chmele na vlhký využíváme vzorec:

$$Q_1 = Q_2 \frac{100 - \epsilon_2}{100 - \epsilon_1} \quad [kg] \quad (4.2)$$

kde: Q_1 - hmotnost chmele před sušením [kg]

Q_2 - hmotnost chmele po usušení [kg]

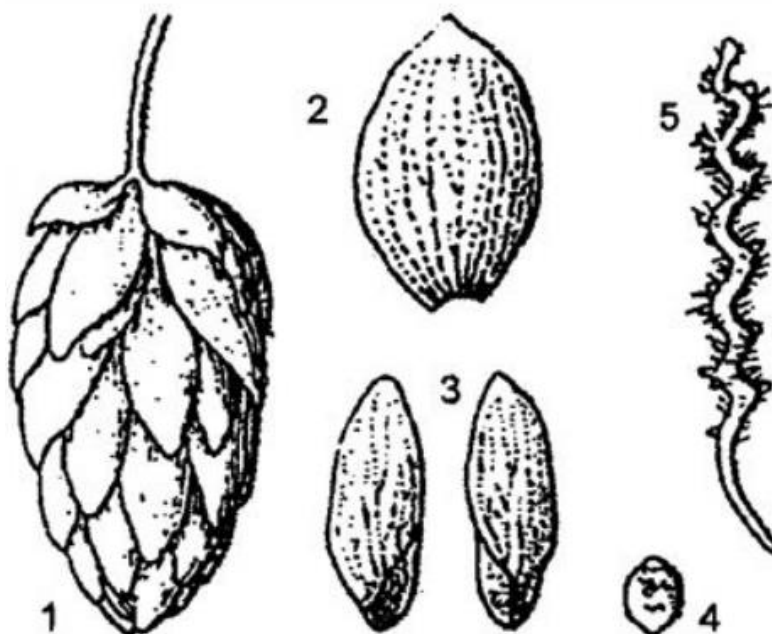
ϵ_2 - vlhkost chmele po usušení [%]

ϵ_1 - vlhkost chmele před sušením [%]

4.2.4 Vlastností chmele po usušení

Proces vysychání, který probíhá u chmelových hlávek (obr. 3), není rovnoměrný, a proto ho můžeme rozdělit na 3 fáze:

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



Obr. 3 Chmelová hlávka a její části [9]

1 – chmelová hlávka, 2 – krycí listen, 3 – pravé listeny, 4 – nažka, 5 – vřeténko

Vysušení listenů je závislé na kontaktu s proudícím horkým vzduchem, také můžeme říci, že tato fáze probíhá nerovnoměrně. Listeny vysychají již v první fázi procesu, kdežto bazální část, která přisedá k věténku, se vysuší až v poslední fázi. [4]

V další fázi dochází k vysušení stopky, která se usuší jako druhá v pořadí. Díky ní se rozlišuje stupeň vysušení hlávek a to v důsledku lámavosti stopky.

Poslední fází je vysušení věténka, které je nejméně dostupnou částí chmelové hlávky. Proces vysychání postupuje od bazální části k vrcholové, což znamená, že vysychání věténka neprobíhá stejnosměrně po celé délce. Stupeň vysušení odpovídá stavu, při kterém je věténko po celé délce lámavé. [4]

V současné době se chmel musí vysoušet na věténko, jelikož se po usušení ihned dále upravuje. Ideální rozsah vlhkosti je 6 – 8 %, pod hranicí 6 % vlhkosti je chmelová hlávka přesusšená, což může nežádoucím způsobem ovlivnit chemismus hlávek. Usušená hlávka je velmi křehká a tím pádem i málo odolná proti rozpadu při manipulaci. Dochází k odrolu listenů od věténka a opadu lupulinových žlázek neboli k tzv. rozplevení. Tento jev ovlivňuje také teplota. Pokud teplota klesne pod bod mrazu, tak je chmel náchylný k rozpadu i s vlhkostí nad 10 %. Toto bylo objeveno v pokusech FRICE z roku 1965, kde byl sledován vliv teploty na chmel až do -20 °C. Pokusy měly jasný výsledek a to, že s klesající teplotou stoupá náchylnost k rozpadu. [4]

Usušené hlávky chmele jsou hygroskopické a snadno nabírají vlhkost z okolí. Tato vlastnost je využita při tzv. klimatizaci. Chmelové hlávky jsou také citlivé na světlo, když zůstanou po delší dobu na světle, tak v nich nastává biochemická změna, která mění barvu na černohnědou. Tato barva je z obchodního hlediska nežádoucí. Barvu hlávek také dokáže změnit i přítomnost čpavku, jelikož hlávky snadno absorbují okolní pachy. Změněná barva nabírá žlutý odstín. [6]

4.2.5 Ošetření suchého chmele

Pokud jsou hlávky vysušeny na vyšší vlhkost, tak je nutné je přehazovat, provětrávat a dbát na rovnoměrné rozložení vlhkosti. Vzhledem k nevyrovnanému rozložení vlhkosti ve chmelových hlávkách hrozí zde nebezpečí zvýšené činnosti mikroorganismů, které nebyly zlikvidovány při procesu sušení, a tím znehodnocení komerčních znaků jakosti. Proto se stupeň vysušení na stopku používá jen při krátkodobém skladování. [4]

Při vysušení na věténku je chmelová hlávka náchylná k rozpadu. V tomto případě se využívá hygroskopicity hlávek a dbá se na dostatečný kontakt se vzduchem o vyšší relativní vlhkosti. V našich chmelařských oblastech je četnost výskytu ročníků s nízkou vlhkostí dosti vysoká, a proto v mnoha případech ani nejlepší možná péče neupraví vlhkost tak, aby umožnila manipulaci a lisování chmele. Vlhkost hlávek proto musela být zvýšena kropením, tento zásah je však rizikový, jelikož závisí na správném stanovení dávky vody a na způsobu provedení. [4]

Po druhé světové válce byla vypracována metoda a konstrukce zařízení, které se nazývá klimatizace. Umožňuje rychlou úpravu vlhkosti chmelových hlávek, tak aby nebyly náchylné k rozpadu. Nejprve se zjistila závislost vlhkosti hlávek na vlhkosti okolního prostředí a byla vypracována křivka rovnovážné vlhkosti. [4]

Další postup spočíval v rychlosti příjmu vlhkosti masou usušených chmelových hlávek a závislosti především na teplotě. Po zjištění těchto závislostí se hledaly možnosti technického řešení. [10]

Vycházelo se z toho, že hlávky jsou schopny manipulace a lisování při vlhkosti minimálně 10 %. Nebylo zde možné použití přirozené vlhkosti vzhledem ke značnému kolísání jak během denního cyklu, tak i jednotlivých ročníků. Proto bylo nutné volit nucenou cirkulaci vzduchu a stanovit výšku vrstvy.

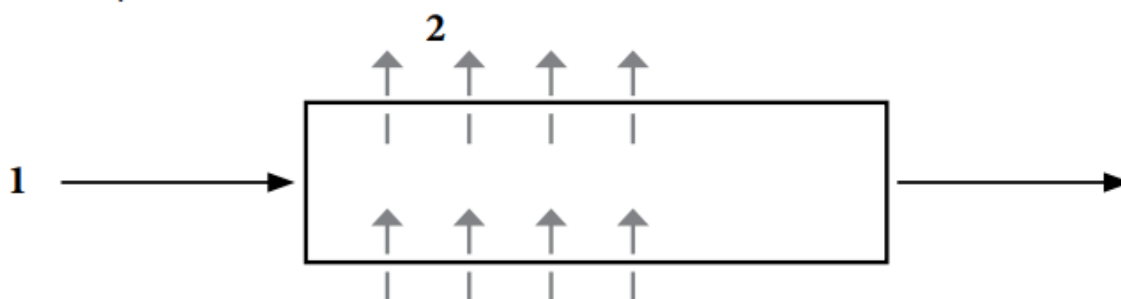
4.3 Druhy sušáren

V dnešní době se pro sušení chmele používají horkovzdušné sušárny. Materiál v sušárnách je vysoušen za pomoci horkého vzduchu. Tyto sušárny můžeme rozdělit do dvou odlišných kategorií:

- **Pásové**
- **Komorové**

4.3.1 Pásové sušárny

Pásové sušárny patří do kategorie horkovzdušných kontinuálních sušáren. U těchto sušáren je směr pohybu chmele kolmý na proud sušícího vzduchu (obr. 4). Největší výhodou tohoto typu sušáren je, že chmelové hlávky jsou trvale v kontaktu se sušícím vzduchem. Ve srovnání s jinými typy sušáren jsou pásové nejlepší svým výkonem a rychlostí sušení. Lze tedy dosáhnout velmi nízké vlhkosti sušeného chmele. [3]



Obr. 4 Vliv sušícího vzduchu na pohyb chmele [3]

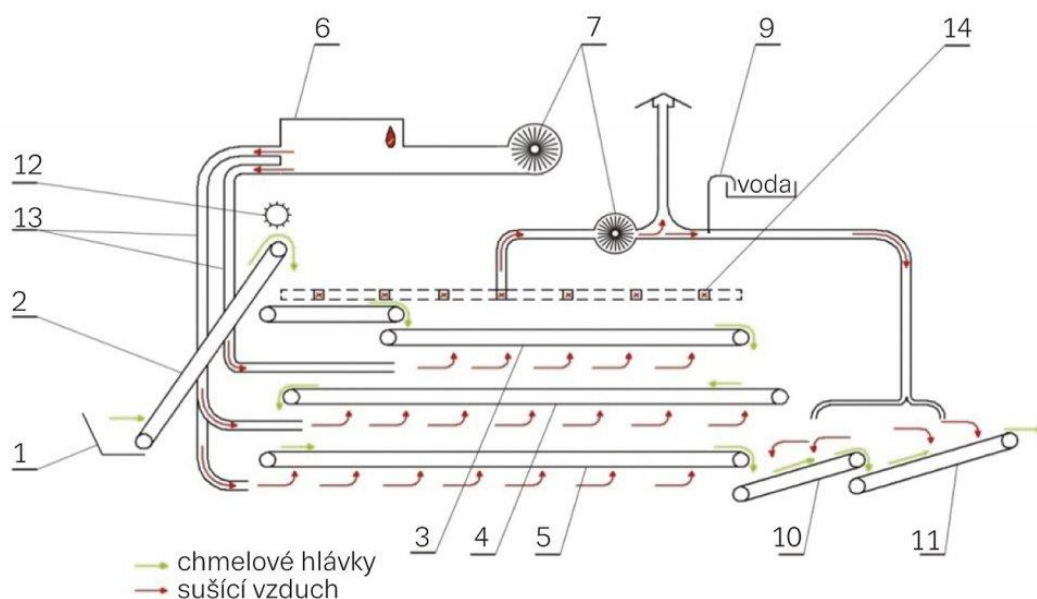
1 – směr pohybu chmelových hlávek, 2 – směr proudu horkého vzduchu

Historický vývoj pásových sušáren můžeme rozdělit do čtyř etap.

První etapa započala tehdy, když se na světový trh dostala nabídka pásové sušárny od německé firmy Binder & Bürgmayer. Tento typ sušárny byl určen pro sušení listové zeleniny a také vhodný pro sušení chmele. V roce 1959 byla postavena na farmě Státního statku v Břežanech u Žatce. Kvůli některým nevýhodám (topeniště na naftu) došlo k tuzemské výrobě pásových sušáren v Milevsku. V roce 1961 bylo vyrobeno 10 kusů prvních sušáren. Zvláštností těchto prototypů byla tzv. recirkulace vzduchu, tj. vrácení části odváděného vzduchu zpět do sušícího procesu. Tyto prototypy dostaly označení PSCH 325 a byly instalovány např. ve Svojetíně a v Ročově. [3]

Další neboli přechodnou etapou bylo pozdržení tuzemské výroby a to vedlo k dovezení náhradních sušáren SH 200 z Jugoslávie, které dostaly jméno Čačak. Jelikož požadavky stále narůstaly, tak vznikl nový typ pásových sušáren PCHA 375. U tohoto prototypu byla zvýšena výkonnost na $500 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ a zrušena recirkulace, která se negativně působila na kvalitu sušení. Tímto prototypem končí první etapa vývoje pásových sušáren. [3]

Druhá etapa vývoje přinesla novou generaci pásových sušáren. Sušárny byly označeny jako PCHB 375 K, PCHB 500 K a PCHB 750 K. Z této generace se nejlépe osvědčil prototyp PCHB 750 K a byl vyvážen i do zahraničí (technologické schéma viz obr. 5). Na druhé straně došlo k zastavení výstavby komorových sušáren a pásové sušárny se staly dominantními. [3]



Obr. 5 Technologické schéma pásové sušárny PCHB 750 K [5]

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

Třetí generací pásových sušáren se stal typ PCHC 750 K. S rostoucími požadavky na výkonnost sušáren se objevil i další prototyp označený jako PCHC 900 K. Tento typ umožňoval zvýšení vrstvy sušeného chmele na všech pásch, díky tomu, že byla zvýšena teplota sušení na prvním pásu. Lze tedy říci, že byl výkon sušárny zvýšen na nejméně 900 kg.h⁻¹. [3]

Čtvrtou etapu tvoří prototyp TPD – K, jedná se o typ sušárny pro velká sklizňová střediska. Byl vybudován pouze jeden prototyp a to ve Stekníku v roce 1983. Má dělený první pás a výkonnost činí 1500 kg.h⁻¹. [3]

Přehled pásových sušáren v jednotlivých etapách

Na závěr je uveden přehled typů pásových sušáren a jejich specifických technologických prvků (tab. 1):

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

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

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

Společné znaky pásových sušáren

Tyto sušárny mají rozdílnou rychlost pásů, nejvyšší rychlost je u nejvýše instalovaného pásu a snižuje se u druhého a třetího. Pro první pás je zde realizován samostatný pohon a pro zbylé dva pásy pohon společný. [3]

Dalším parametrem je výška vrstvy a doba sušení na prvním pásu. Minimální doba sušení byla stanovena na 60 minut, tak aby vlhkost odsušku dosáhla optimální hodnoty 30 %. Limitujícím parametrem je zde teplota a vlhkost přiváděného vzduchu. Doporučuje se teplota 55-60 °C. Jaký vliv má vlhkost vzduchu na průběh sušení nám ukáže tab. 2: [3]

Tab. 2 Vliv vlhkosti vzduchu na průběh sušení [3]

Podmínky	Teplota vzduchu °C	Relativní vlhkost vzduchu v %	Obsah vody v 1 m ³ vzduchu	Možnost odsušení vody v g.m ⁻³ vzduchu
Nasávaný vzduch - ráno	12 °C	80 %	8,5 g	22,0 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 %	30,0 g	0 g

Jelikož chceme docílit rovnoměrné teploty sušení, nabízí se zde další prvek, boční přívod teplého vzduchu.

4.3.2 Komerové sušárny

Komerové sušárny jsou vsádková zařízení, ve kterých sušící vzduch prostupuje vrstvou vlhkého chmele. Jedná se o protiproudý systém (postup sušení materiálu proti směru proudění vzduchu). Komerové sušárny můžeme rozdělit na sesypné žaluziové nebo na boxové (vsázkové). Hlávky se u komerových sušáren suší po dobu 6 – 8 hodin při teplotě 55 – 60 °C a zaplňování těchto sušáren probíhá vždy v určitých intervalech.

5 Rozbor práce komorových sušáren

Původní komorové sušárny byly obdobou hvozdoých sušáren a měly perforované podlaží, které nazýváme žaluzie. Na tyto žaluzie se pokládala vrstva sušeného chmele a průchodem horkého vzduchu probíhalo samotné sušení. Během sušení se vrstva chmele prohrabovala a tím bylo dosaženo snížení doby sušení na necelý den. Tyto sušárny znamenaly obrovský pokrok v historii a jejich základ je dodnes využíván např. v Anglii. [4]

Další etapou vývoje byl vznik konstrukce, která je základem dnešních komorových sušáren. Dřívější pevná žaluzie byla nahrazena sklopnou žaluzií, pod kterou byly umístěny vozíky s perforovaným dnem. Tento krok byl v historii komorových sušáren velmi významný, jelikož umožnil sušit chmel ve více vrstvách nad sebou a také pomocí pohyblivých žaluzií snadněji vyprazdňovat sušárnu. Později se zvyšoval počet sklopných žaluzií, nejprve byla jedna a později dvě. Nebyl zde tak úplně vyřešen odvod vzduchu, proto vznikly jednoduché výparníky, které se umísťovaly v nejvyšším bodě střešní konstrukce. [4]

Změny žaluziového prostoru nebyly jediné, došlo i k jiným změnám např. u topeniště. Na samém začátku byl řešen princip topeniště pomocí tuhých paliv, nebo tepla ohně přes jednoduché výměníky. Nejčastějším tuhým palivem bylo dřevěné uhlí a později i koks. I přes nízké náklady se tento druh topeniště příliš nerozšířil a vývoj se zaměřil na jednoduché výměníky. V tomto období mezi světovými válkami vzniklo mnoho dalších typů chmelových sušáren, které se od sebe lišily především rozdílným řešením nebo jen drobnými úpravami topeniště (např. výrobci Kreisl, Linhart, Kurka, a další). Ve stejné době vzbudily pozornost především dvě základní zvláštnosti úprav sušáren. [4]

První z nich byla realizována u sušárny „Saazia“ a spočívala v tom, že horký vzduch procházel do výparníkového prostoru přímo přes vozíky a nad nimi se nacházejícími žaluziemi, pak byl také vyveden postranními kanály mezi žaluzie. Touto úpravou se v podstatě vyrovnalo vzniklé ochlazení vzduchu, který prošel vrstvou sušeného chmele. Tento princip byl uplatněn v pozdější době mnohem dokonaleji a na kvalitativně vyšší úrovni se používá až doposud. [4]

Druhá úprava se týkala odvádění vzduchu ze sušárny. I přesto že existovaly různé konstrukce výparníků, tak byly učiněny první pokusy s nucenou cirkulací, popř. s nuceným odsáváním vzduchu nad žaluziovým prostorem, kde byly instalovány jednoduché, často málo výkonné odsávací ventilátory (např. Lupulus). V této době se také razilo heslo: „Sušte vzduchem!“. Na svou dobu to bylo velmi zajímavé a pokrokové. [4]

Po druhé světové válce byl sortiment komorových sušáren velmi pestrý. Vedle různých firemních typů existovala značná rozmanitost i ve velikosti sušící plochy sušáren a to od 4 m² do 30 m², v některých případech i více. Velikost sušárny závisela především na výměře chmele u tehdejších pěstitelů. Jen zcela výjimečně existovaly sušárny složené ze dvou sušících buněk - komor.

Vedle konstrukce komorových sušáren, tehdy nazývaných lískové nebo žaluziové, se objevily také pokusy o konstrukci kontinuálně pracujících sušáren. Avšak přechodem ke kolektivnímu způsobu hospodaření, a tím vznikem větší výměry chmelnic, bylo nutno přistoupit ke konstrukci sušáren o vyšším výkonu. [10]

První nabízející se možností bylo zvýšení počtu žaluzií, které ovšem bylo omezeno tím, že protiproudý systém komorové sušárny předpokládá určitý stupeň vysušení chmele (vypaření) na nejvyšší žaluzii. Pokud tento požadavek není splněn, pak se vlhčí chmel spustí na nižší žaluzii a na nejvýše položenou žaluzii je opět nasypán čerstvý chmel, do kterého poté přichází vzduch nasycený vodními parami z nižších pater sušárny a tím se zapařuje a znehodnocuje. Minimální počet žaluzií, který se ukázal jako použitelný, se stanovil na 3 + 1, tj. 3 sklopné žaluzie a vozíky. [1]

Další možností bylo zvětšování půdorysného prostoru sušárny. Zde se ovšem také objevily omezující hranice. Ukázalo se totiž, že tehdy existující komorové sušárny o půdorysné ploše kolem 30 m² mají již určité problémy s rovnoměrným rozvodem ohřátého vzduchu. Proto se nakonec jednoznačně přešlo k výstavbě vícekomorových sušáren, které sdružovaly několik, zpravidla 3 - 4 (ojediněle až 8) sušících jednotek - komor vedle sebe. Neoddělitelnou součástí bylo rovněž budování potřebných skladovacích prostorů. [4]

Základní úpravy, které byly sjednoceny a normalizovány, se týkají velikosti komory, řešení vzduchotechnických parametrů, a tím i celkového výkonu. Šlo o následující ukazatele:

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

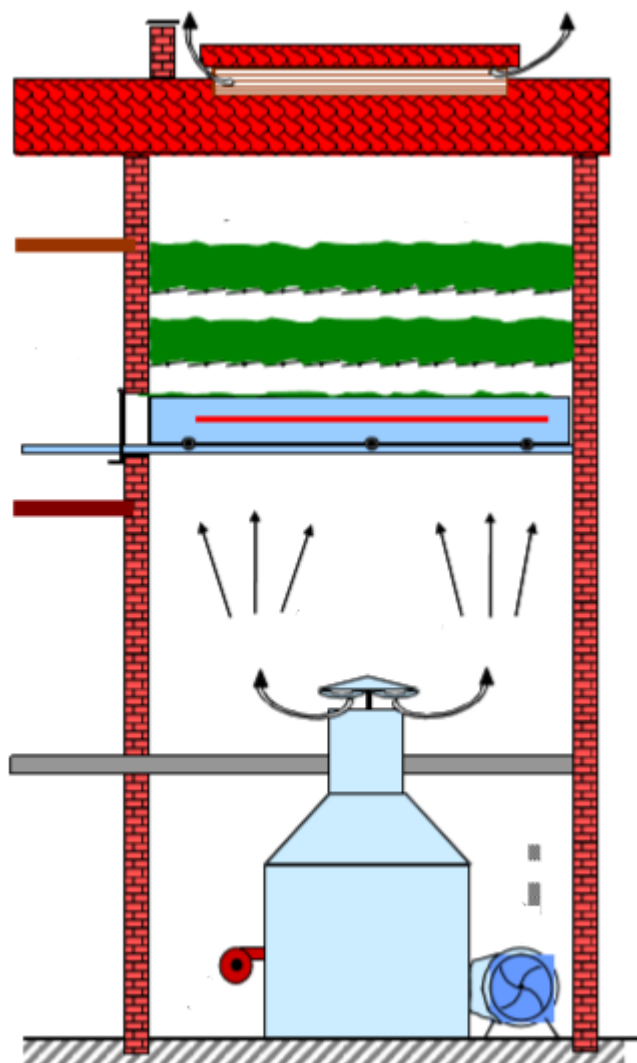
V další etapě byly komorové sušárny zdokonalovány takto:

1. Pro dopravu chmele do sušárny byl zaveden vertikální a na něj navazující horizontální dopravník, které nahradily dřívější způsob dopravy výtahem v žociích a s tím spojenou značnou náročnost na fyzickou práci.
2. Byla zlepšena ovladatelnost a průchodnost žaluzií, vyprazdňovací vozíky byly nahrazeny nekonečnými pásy, na kterých probíhá dosoušení a které současně umožňují snadné vyprazdňování komor.
3. Topeniště na uhlí bylo nahrazeno horkovzdušným agregátem s hořákem na lehký topný olej a horkovzdušným výměníkem spaliny, přívod vzduchu do výměníku zajišťoval tlačný ventilátor.
4. Odvod vzduchu byl obstarán odsávacími ventilátory, jejichž výkon oproti množství vzduchu přiváděného do sušárny byl o 10 – 15 % vyšší. Nucenou cirkulací vzduchu byla prakticky odstraněna závislost sušáren na průběhu povětrnostních podmínek.
5. Provedené úpravy dokázaly zvýšit výkon sušáren až o 80 – 100 % proti výchozímu stavu, a proto bylo nutné řešit i otázku ohledně posklizňové úpravy chmele. Do navazujících skladů byla instalována klimatizační komora, která byla napojena na sušící jednotky. [4]

5.1 Žaluziové sesypné komorové sušárny

Tyto sušárny se v ČR objevují již minimálně, jelikož zde dominují pásové sušárny. Žaluziové sušárny (obr. 6) se rozdělují na několik variant od jednožaluziových až k třížaluziovým + vyprazdňovací vozíky nebo nekonečně pohyblivé pásy. Sušení tedy probíhá maximálně ve čtyřech vrstvách. Po zkušenostech ze zahraničí se začínají objevovat

boxové komorové sušárny, které jsou u nás zatím pouze v několika originálních provedeních.



Obr. 6 Schéma komorové žaluziové sušárny [4]

Sesypné komorové sušárny můžeme rozdělit dle jednotlivých typů:

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

Doporučené parametry uvedené v tabulkách 3 – 6 se týkají odrůdy Žatecký poloraný červeňák (ŽPČ). Pro ostatní odrůdy musíme uvést některé odlišnosti. U odrůd Bor, Agnus a Premiant musíme počítat s delší dobou sušení na první žaluzii. [1]

Tab. 3 První typ žaluziových komorových sušáren [1]

Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p>I. bez nucené cirkulace vzduchu – tuhá paliva</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tento typ se vyskytuje zcela ojedinele ▪ doporučená výška vrstvy násypu chmele na 1. žaluzii 10 – 12 cm ▪ přepočtová výkonnost suchého chmelu na 1 m² = 0,35 – 0,37 kg ▪ celková výkonnost na komoru v čerstvém chmelu = 250 kg ▪ teplota sušení 50 – 55 °C ▪ doba sušení na 1. žaluzii = 120 minut ▪ celková doba sušení = 420 – 480 minut ▪ stupeň vysušení (cca 10 %) ▪ lisovat do pěstitelských žoků po přirozené klimatizaci v průběhu 2 měsíců po usušení

Tab. 4 Druhý typ žaluziových komorových sušáren [1]

Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p>II. horkovzdušný agregát, topný olej, nucená cirkulace přívodu vzduchu do sušárny</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ doporučená výška vrstvy chmele na 1. žaluzii max. 20 cm ▪ přepočtová výkonnost suchého chmelu na 1 m² = 0,71 – 0,79 kg ▪ celková výkonnost na komoru v čerstvém chmelu za dobu sušení 450 - 500 kg ▪ teplota sušení 55 – 60 °C ▪ doba sušení na 1. žaluzii = 90 minut ▪ celková doba sušení = 360 minut ▪ stupeň vysušení (cca 5 - 7 %)

Tab. 5 Třetí typ žaluziových komorových sušáren [1]

Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p>III. horkovzdušný agregát, topný olej, nucená cirkulace přívodu a odvodu vzduchu</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ doporučená výška vrstvy chmele na 1. žaluzii 25 – 30 cm ▪ přepočtová výkonnost suchého chmelu na 1 m² = 1,18 kg ▪ celková výkonnost na komoru v čerstvém chmelu za dobu sušení 625 - 750 kg ▪ teplota sušení 55 – 60 °C ▪ doba sušení na 1. žaluzii = 60 minut ▪ celková doba sušení = 300 – 360 minut ▪ stupeň vysušení (cca 5 - 7 %)

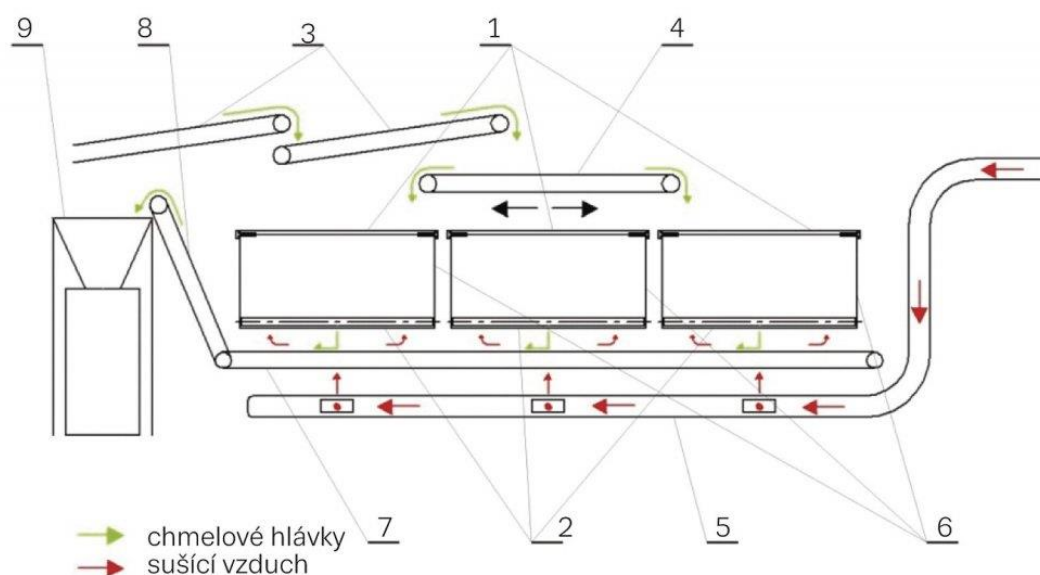
Tab. 6 Čtvrtý typ žaluziových komorových sušáren [1]

Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
<p>IV. horkovzdušný agregát, topný olej, nucená cirkulace přívodu a odvodu vzduchu, instalace klimatizačního zařízení</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ doporučená výška vrstvy chmele na 1. žaluzii 25 – 30 cm, časový interval mezi komorami 30 minut ▪ přepočtová výkonnost suchého chmelu na 1 m² = 1,18 kg ▪ celková výkonnost na komoru v čerstvém chmelu za dobu sušení 625 - 750 kg ▪ teplota sušení 55 – 60 °C ▪ doba sušení na 1. žaluzii = 60 minut ▪ celková doba sušení = 240 – 300 minut ▪ stupeň vysušení (cca 5 - 7 %) ▪ po usušení klimatizovat při teplotě 25 – 28 °C ▪ doba klimatizace 70 – 90 minut

Sesypané komorové sušárny jsou výškové typy sušáren, ve spodní části je topeniště (lehký topný olej, plyn) a nad topeništěm (minimální vzdálenost 6 m) je vlastní sušící prostor – žaluzie. Čerstvý chmel je rozkládán na nejvýše položenou žaluzii. Po nezbytném prosušení se pomocí žaluziového systému spustí na druhou žaluzii a na první žaluzii se nasype opět čerstvý chmel. Takto se proces opakuje až do úplného zaplnění sušárny a konečného vysušení chmele. Nejspodnější vrstva řeší vyprázdnění sušárny od usušeného chmele za pomoci vyprazdňovacích vozíků nebo nekonečně pohyblivých pásů. Následuje klimatizace chmele jejíž princip závisí na využití odpadního vzduchu odváděného ze sušárny. Ten se po průchodu vodní pračkou ochladí na teplotu 25 – 28 °C a zvlhčuje chmelové hlávky po dobu 70 – 90 minut. [8]

5.2 Boxové komorové sušárny

Boxové sušárny (technologické schéma viz obr 7) jsou typickými komorovými sušárnami v zemích jako USA nebo Německo. Tyto sušárny se od sesypaných žaluziových sušáren odlišují především konstrukčním řešením. Příklad boxové sušárny najdeme v tab. 7.



Obr. 7 Technologické schéma boxové komorové sušárny chmele [5]

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

Následující popis vychází z již ověřené varianty (obr. 7). Sušárna obsahuje 3 sušící komory (1), které jsou zkonstruované z úhelníkových profilů a vyplněné dřevotřískovými deskami. Půdorysný rozměr jedné komory je 8 x 1,5 m (obr. 8) a vrstva chmele v sušící komoře dosahuje výšky 0,8 m. Podlahu sušících komor tvoří sušící sítové dopravníky (2), které se používají jak pro plnění komor, tak i pro vyprazdňování. Pravidelný přísun chmele zajišťují pásové dopravníky (3) umístěné kolmo na začátek sušících komor. Chmel je poté v komoře po celé její délce naskladňován pomocí podlahového sítového dopravníku (2). Horký vzduch je veden potrubím (5), které je umístěno pod podlahovým sítovým dopravníkem. Klimatizace probíhá přirozeným způsobem, tj. po ukončení sušení se chmel nechá po určitý čas ustálit tak, aby nabral optimální vlhkost z okolní atmosféry. Při vyprazdňování komor se otevře přední čelo a podlahový sítový dopravník dopravuje suché hlávky na příčný pásový dopravník (7). Z něho se chmel dostává za pomoci vynášecího kapesového dopravníku (8) do hranolového lisu (9). Při dopravě chmelových hlávek dochází k vyrovnávání vlhkosti. [5]



Obr. 8 Sušící komory [5]

Tab. 7 Příklad boxové komorové sušárny [1]

Typ komorové sušárny	Doporučené parametry
komorové sušárny s vysokou vrstvou sušeného chmele, nucená cirkulace	<ul style="list-style-type: none">▪ jedná se o sušárny 2 – 3 komorové s posuvným a perforovaným dnem▪ doporučená výška vrstvy sušeného chmele 80 cm▪ teplota sušení 55 – 60 °C▪ doba zaplňování jedné komory 60 – 120 minut▪ celková doba sušení v jedné komoře cca 720 minut▪ stupeň vysušení (cca 9 - 10 %)▪ po usušení ihned lisovat do pěstitelských hranolů

5.2.1 Boxová komorová sušárna Mšec

V současné době se jedná o jednu z největších komorových sušáren jak v ČR, tak i v Evropě. Technologie této komorové sušárny vychází z amerického systému sušení (viz obr. 9).



Obr. 9 Sušící komory Mšec [4]

Technické parametry této sušárny jsou shrnuty v tab. 8:

Tab. 8 Technické parametry boxové komorové sušárny v Mšeci [4]

Objem sušící komory	53,12 m ³
Počet komor	6 ks
Celkový sušící objem	320 m ³
Sušící teplota	50 – 70 °C
Čas sušení a stabilizace	7 – 10 h
Výkon	900 – 1600 kg.h ⁻¹ (zeleného chmele)
Spotřeba LTO	100 – 150 l.h ⁻¹
Objem uklidňovací komory	2 x 150 m ³
Výkon lisu	400 – 800 kg.h ⁻¹

Sušení chmele probíhá v šesti sušících komorách (obr. 10), tři komory tvoří samostatnou technologickou linku sušení chmele. Na dno komory je rozprostřená prodyšná tkanina a pomocí systému dopravníků je komora rovnoměrně plněna, vrstvení po celé komoře je plně automatizované na základě předem nastavených parametrů pomocí ovládacích koncových senzorů. Vyprazdňování komory probíhá za pomoci navíjecího bubnu, na který je připevněna prodyšná tkanina. Suchý chmel je nasypán na sběrný dopravník, který dopravuje chmel do kapsového dopravníku a následně k silům. [4]



Obr. 10 Šest sušících komor v Mšeci [4]

5.3 Technologické změny komorových sušáren

Horkovzdušné sušení chmele se začalo rozvíjet v druhé polovině 19. století, kdy prvními sušárnami byly obdoby hvozdoých sušáren. Od té doby prošlo horkovzdušné sušení velmi důležitým a náročným procesem zdokonalení. Toto zdokonalení přineslo různé technologické změny a úpravy. Tyto změny lze shrnout v následujících bodech: [1]

- Změna topného zdroje
- Úprava vzduchotechnických podmínek
- Budování vícekomorových sušáren
- Zavedení pásových sušáren

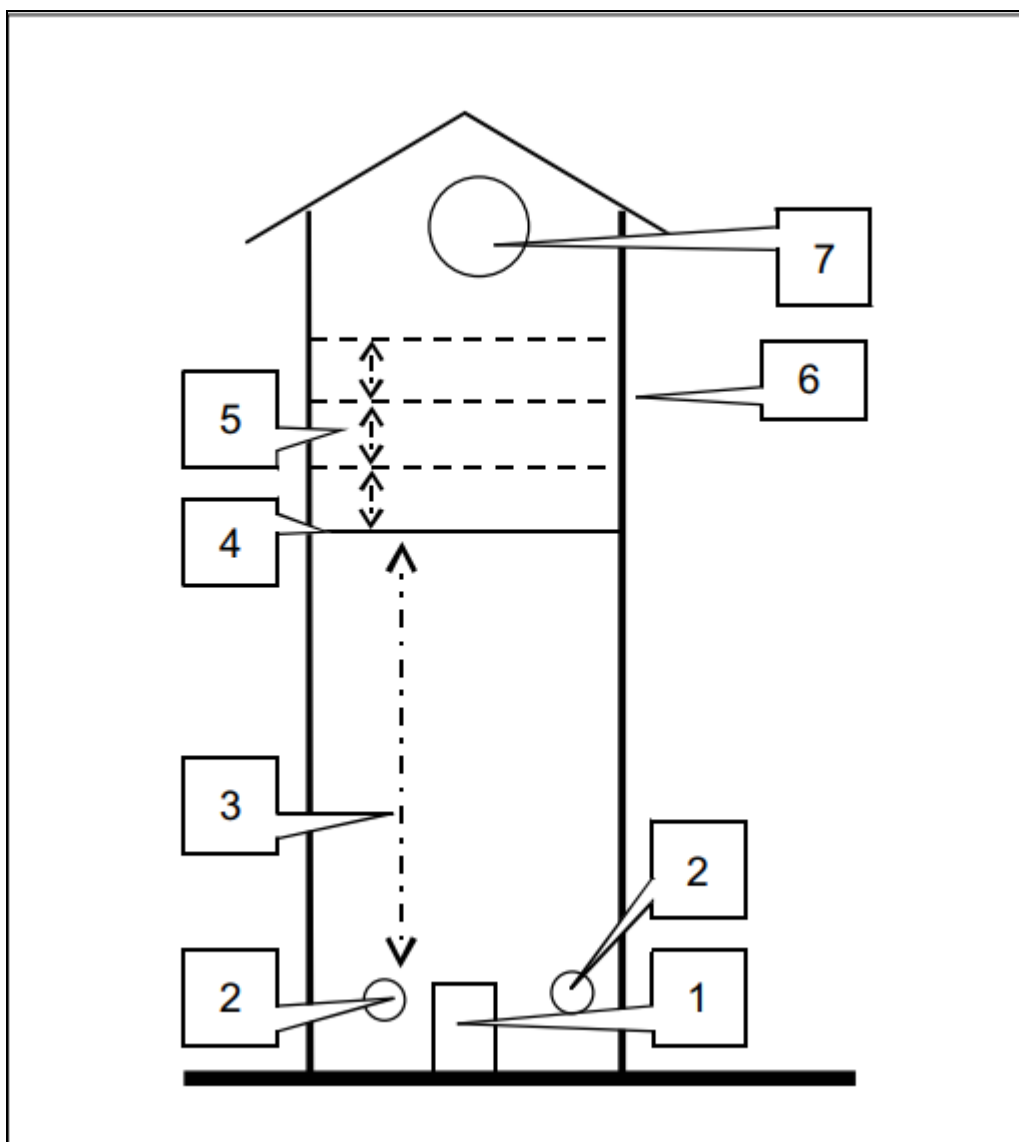
5.3.1 Změna topného zdroje

U komorových sušáren se dříve používala tuhá paliva, většinou to bylo hnědé uhlí. Poté se tuhá paliva začala nahrazovat lehkým topným olejem (LTO), současně bylo nutné vyřešit i vzduchotechnické podmínky sušárny, jelikož hořáky lehkého topného oleje požadovaly nucenou cirkulaci, neboli vhánění horkého vzduchu do prostoru sušárny. Systém hořáků LTO nahradil dřívější samovolnou cirkulaci, v první fázi této úpravy nebyl dořešen prostor pro odvod vzduchu. Další možností vedle LTO bylo i zavedení plynofikace, tj. plošné zavádění infrastruktury pro distribuci zemního plynu. Tato možnost se objevila např. v Ročově či Třeboci. [1]

5.3.2 Úprava vzduchotechnických podmínek

Přechodem z tuhých paliv na tekutá paliva byl vyřešen pouze problém s přívodem horkého vzduchu. Jenže pořád zbývalo vyřešit, jak docílit přívodu vzduchu, bez spalin vzniklých spalováním paliva, do prostoru sušárny. Tento princip byl převzat ze sušáren na tuhá paliva, které byly vybaveny primitivním teplovzdušným výměníkem. Zákaz přístupu spalin byl z toho důvodu, že měly velký dopad na zhoršení kvality sušeného chmele. Výjimkou byl pouze svítiplyn, jehož přítomnost neohrožovala kvalitu chmele a to pouze v případě dokonalého spalování. Musel být zajištěn dostatečný odvod vzduchu ze sušárny (tzv. výparník). Tam, kde zajištěn nebyl, tak přechod na LTO nepřinesl žádný výkonnostní efekt. Následující etapou bylo zavedení odsávacích ventilátorů, jelikož množství vzduchu odváděného ze sušárny muselo být o něco větší než množství přiváděného vzduchu. [4]

Další důležitý parametr využívaný u komorových sušáren byl tzv. komínový efekt (obr. 11). Ten byl dán celkovou výškou komory, byla zde stanovena minimální vzdálenost mezi spodní vrstvou a teplovzdušným výměníkem na 6 m a rozestupy mezi jednotlivými žaluziemi na 80 cm. Tento efekt přispěl hlavně k spolehlivosti a zvýšení výkonu. [6]



Obr. 11 Komínový efekt [1]

1 – topeniště, 2 – přívod vzduchu, 3 – vzdálenost spodní vrstvy od výměníku 6 m, 4 – vozíky, nekonečný pás, 5 – rozestupy mezi žaluziemi 80 cm, 6 – žaluzie, 7 – odsávací prostor

5.3.3 Budování vícekomorových sušáren

Jelikož při česání docházelo k poškozování chmelových hlávek, bylo nutné co nejvíce zkrátit interval od dočesání do sušení a to nejlépe na minimum. Proto došlo k budování vícekomorových sušáren a ustálení velikosti komor na 22,5 m. Upřesnil se také počet komor a to na 3 nebo 4. Pouze ojediněle se objevoval systém dvou čtyřkomorových sušáren nebo 2 komor. Současně s tímto vývojem docházelo k budování skladů na usušený chmel, parametry skladu udávala výkonnost jednotlivých sušáren. [1]

5.4 Modernizace komorových sušáren

Celková modernizace je vhodná pro skupinu výkonnostně vyšších komorových sušáren. Do skupiny patří sušárny s celkovou kapacitou minimálně 15 000 kg za jednu sezónu. U sušáren s menší výkonností se doporučuje částečná modernizace, do které spadá např. zavedení násypky, klimatizační jednotky nebo lisovacího zařízení. Modernizace má velký dopad na zlepšení procesu sušení a na snížení počtu obsluhujících pracovníků. Zahrnuje také několik technologických změn a úprav, zde je několik příkladů: [1]

- Zavedení rozprostíracího pásu v sušicí komoře
- Vybudování kapsového dopravníku na násyp do sušicí komory
- Zabudování klimatizační jednotky
- Ovládací a komunikační systém

5.4.1 Zavedení rozprostíracího pásu v sušicí komoře

Rozprostírací pás slouží k rovnoměrnému rozprostření načesaného chmele v násypné komoře a je umístěn v horní části násypné komory na příčných nosnících (obr. 12).



Obr. 12 Rozprostírací pás [1]

5.4.2 Vybudování kapsového dopravníku

Kapsový dopravník slouží k dopravě zklimatizovaného chmele od klimatizačního zařízení do skladovacího prostoru v prvním podlaží sušárny. Má univerzální konstrukci, která umožňuje mnoho variant přizpůsobení. Je složen z rámu, který obsahuje vedení na patkový řetěz. Na patkách řetězu jsou pak přichyceny lišty pro připevnění pásu a kapsy. Zde je uveden příklad kapsového dopravníku (obr. 13). [7]

Technické parametry:

- Délka: 5 800 mm
- Výška: 9 000 mm
- Maximální šířka - u pohonu: 1 130 mm
- Hmotnost: 912 kg
- Výkon v kg/hod suchého chmele: 200 kg
- Instalovaný příkon: 1,5 kW



Obr. 13 Kapsový dopravník [7]

5.4.3 Zabudování klimatizační jednotky

Klimatizační zařízení je určeno ke zklimatizování usušeného chmele na požadovanou vlhkost. Jedná se o horkovzdušné atmosférické kontinuální zařízení s profukem vrstvy klimatizovaného chmele. Toto zařízení se využívá u komorových i pásových sušáren a je složeno z rozvodu klimatizačního vzduchu, z klimatizačního tunelu, v němž jsou instalovány dva pásové dopravníky a zařízení pro úpravu vzduchu (obr. 14). Jsou dvě možnosti pro zařízení na úpravu vzduchu, a to buď původní provedení s registrem osazeným tryskami, nebo s novou bezúdržbovou technologií pomocí rotačních zvlhčovačů. [11]

Technické parametry:

- Spotřeba čisté vody: dle typu a výkonu sušárny 40 - 90 l.h⁻¹
- Rozměry a výkon zařízení: dle typu a provedení sušárny
- Rozsah výstupní vlhkosti chmele: 8 -12 %



Obr. 14 Klimatizační zařízení [11]

5.4.4 Ovládací a komunikační systém

Tento systém slouží k částečné automatizaci sušárenské linky. Některá tlačítka také slouží jako zabezpečovací zařízení. Část z nich je vyobrazena na následujícím obrázku:



Obr. 15 Ovládací a zabezpečovací prvky [1]

6 Porovnání komorových sušáren

Sesypné žaluziové sušárny jsou na ústupu a po zkušenostech ze zahraničí (USA, Německo) se začínají stavět boxové (vsázkové) komorové sušárny. Boxové sušárny se od sesypných žaluziových liší především konstrukčním řešením, zatímco boxové sušárny jsou stavěny spíše na šířku, žaluziové sušárny jsou výškového typu. Sama konstrukce komorových sušáren má velký vliv na celkovou výkonnost. U boxových sušáren se uvádí výkonnost kolem 400 – 600 kg (zeleného chmele)/hod na jednu komoru, u sesypných žaluziových pak výkonnost na komoru činí necelých 200 kg (zeleného chmele)/hod.

Dalším rozdílným faktorem je doba sušení, která se u boxových sušáren pohybuje kolem 7 – 10 hodin na jednu komoru, kdežto u žaluziových sušáren trvá doba sušení cca 6 – 8 hodin. Tato rozdílnost má obrovský dopad na stupeň vysušení. U boxových sušáren se suší „na stopku“, což odpovídá vlhkosti cca 9 – 10 %. U sesypných žaluziových je stupeň vysušení rozdílný, zde se suší „na vřeténko“ a uvádí se výsledná vlhkost cca 5 – 7 %.

Následujícím významným rozdílem je klimatizace, která prodlužuje délku sušení o cca 70 – 90 minut. Zatímco u boxových sušáren se vysušený chmel ihned lisuje do hranolů za pomoci hranolového lisu, u sesypných žaluziových sušáren je po usušení potřebná klimatizace, která má za úkol zvětšit vlhkost chmelových hlávek na 10 - 11 %. Po klimatizaci se usušené chmelové hlávky ihned lisují do pěstitelských žoků nebo do hranolů.

Výsledné porovnání je vyobrazeno v tab. 9:

Tab. 9 Porovnání boxových a sesypných žaluziových sušáren [1]

Parametry	Boxové komorové sušárny	Sesypné žaluziové komorové sušárny
Výkonnost (zeleného chmele)	400 – 600 kg	200 kg
Doba sušení	7 – 10 h	6 – 8 h
Stupeň vysušení	na stopku 9 – 10 %	na vřeténko 5 – 7 %
Teplota sušení	55 – 60 °C	55 – 60 °C

7 Výhledové trendy

Vyjadřuje tak očekávaný trend ve vývoji, který v budoucnu dost zásadně ovlivní kvalitu, výkon a proces sušení chmelových hlávek. Patří sem např. vylepšení v podobě turbulentních vložek nebo zařízení představující zásobník suchého chmele (uklidňovací komora).

7.1.1 Zásobník suchého chmel

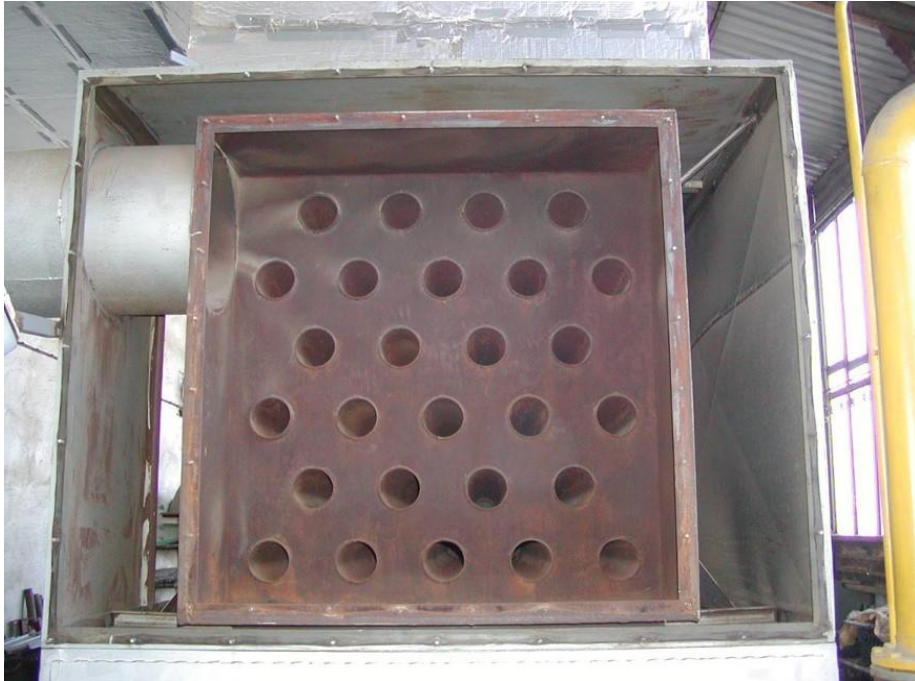
Zásobník suchého chmele (obr. 16) slouží k uklidnění a stabilizaci usušeného chmele před lisováním v hranolovém lisu. Hlavní význam spočívá v zajištění homogenity usušeného chmele zejména z pohledu požadované vlhkosti chmele 10 – 11 %.



Obr. 16 Zásobník suchého chmele [4]

7.1.2 Turbulentní vložky

Turbulentní vložky (obr. 17) výrazně zvyšují účinnost teplovzdušných agregátů u sušáren při předávání tepla a snížení komínových teplot. Vložky se vkládají do výměníku.



Obr. 17 Turbulentní vložky [4]

8 Závěr

V této práci je analyzován a popisován proces sušení spolu s rozbořem, porovnáním a výhledovými trendy komorových sušáren. Také zde byly stručně popsány pásové sušárny a jejich vývoj. Výsledná analýza a porovnání byla provedena na základě aktuálních odborných informací z tiskových a elektronických medií a podkladů od pěstitelů. V práci bylo porovnáváno samotné konstrukční řešení komorových sušáren, které se dělí na boxové a sesypné žaluziové komorové sušárny. Výsledkem porovnání bylo to, že boxové sušárny mají větší výkonnost, která naopak prodlužuje délku sušení oproti sesypným komorovým sušárnám.

Z důvodu rozmachu pásových sušáren je předpoklad, že bude používání sesypných žaluziových komorových sušáren postupně upadat. Pravděpodobně nepomohou ani konstrukční vylepšení.

Velká perspektiva je v používání boxových komorových sušáren, které jsou nejpoužívanějšími horkovzdušnými sušárnami v zahraničních oblastech (USA, Německo). Samozřejmě s předpokladem určitých změn týkajících se konstrukčního vylepšení.

9 Použitá literatura

- [1] KOŘEN, Jiří, Václav CINIBURK, Jan PODSEDNÍK, Adolf RYBKA, František VESELÝ a Patricie BUCHTOVÁ. *Sušení chmele na komorových sušárnách*. 1. Žatec: Chmelařský institut, 2008. ISBN 978-80-86836-51-5.
- [2] JUNEK, Jan. *Konstrukční návrh průmyslové sušárny* [online]. Brno, 2013 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30308497.pdf>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [3] KOŘEN, Jiří, Václav CINIBURK, Jan PODSEDNÍK, Adolf RYBKA, František VESELÝ a Patricie BUCHTOVÁ. *Sušení chmele na pásových sušárnách*. 1. Žatec: Chmelařský institut, 2008. ISBN 978-80-86836-54-6.
- [4] PODSEDNÍK, Jan. *Sušení chmele*. Žatec, 2014.
- [5] JECH, Ján, Jozef ARTIM, Adolf RYBKA, Ivo HONZÍK, Zdeněk KVÍZ, Mária ANGELOVIČOVÁ, et al. *Stroje pro rostlinnú výrobu 3*. 1. Praha: Profi Press, 2011. ISBN 978-8-86726-41-0.
- [6] HEMALÍK, Marek. *Sušárny chmele*. Ústí nad Labem, 1972. Studie. AGROPROJEKT.
- [7] Kapsový dopravník suchého chmele. In: *Chmelarstvi* [online]. Žatec: CHMELARSTVÍ, družstvo Žatec, 2014 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.chmelarstvi.cz/mechanizace/produkty-sluzby/sklizen-chmele/susici-technologie/116-kapsovy-dopravnik-sucheho-chmele>
- [8] CHLUPATÝ, Robert. *Sušárenské linky v zemědělství*. 1. Praha: SZN, 1970.
- [9] POKORNÁ, Stanislava. Semenářství. In: *Slideplayer* [online]. [Praha]: CZU; [2013] [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3397745/>
- [10] NEUBAUER, Karel. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. Praha: SZN, 1989. ISBN 80-209-0075-6

- [11] Klimatizační zařízení pro sušárny. In: *Chmelarstvi* [online]. Žatec: CHMELARSTVÍ, družstvo Žatec, 2014 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z:
<http://www.chmelarstvi.cz/sklizen-chmele/susici-technologie/113-klimatizacni-zarizeni-pro-susarny>