

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Porovnání technologie sušení chmele v komorové a
pásové sušárně**

Diplomová práce

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

Autor práce: Václav Lebeda

PRAHA 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Václav Lebeda

Zemědělská technika

Název práce

Porovnání technologie sušení chmele v komorové a pásové sušárně

Název anglicky

Comparison of hop drying methods at chamber and belt driers

Cíle práce

Na základě studia odborné literatury, podkladových materiálů pěstitele chmele a vlastních experimentů provést rozbor sušení a porovnání kvalitativních parametrů sušeného chmele v komorové a pásové sušárně.

Metodika

Zpracovat literární rešerši. Provést experimenty při proměnlivých parametrech a posoudit závislost vlhkosti chmele na době sušení u komorové a pásové sušárny. Zjistit kvalitativní ukazatele a statisticky vyhodnotit a analyzovat výsledky měření. Navrhnout ev. úpravy směřující k zefektivnění procesu sušení. Posoudit ekonomiku provozu.

Doporučený rozsah práce

50 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

chmel, sušení chmele, kvalitativní ukazatele chmele

Doporučené zdroje informací

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

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

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

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

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Konzultant

Ing. Jan Podsedník, Chmelařství, družstvo Žatec

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2015

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Porovnání technologie sušení chmele v komorové a pásové sušárně vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové 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 diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou 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.

Abstrakt: Tato práce se zabývá porovnáním komorové a pásové sušárny chmele, především se zaměřuje na rozdíly těchto technologií. Nejdříve jsou obecně popsány metody sušení chmele využívané na území ČR a teorie sušení, následně požadované kvalitativní parametry sušeného chmele. V práci je popsán způsob měření a stanovení vybraných parametrů pro komorovou a pásovou sušárnu. Získané parametry jsou porovnány a zhodnoceny. Dále je zkoumán vliv některých parametrů sušení na spotřebu energie a vliv použitého paliva na cenu energie. Nakonec jsou navržena opatření pro odstranění slabých míst obou sušáren.

Klíčová slova: chmel, sušení chmele, kvalitativní ukazatele chmele

Comparison of hop drying methods at chamber and belt driers

Summary: This work compares chamber and belt hop dryers, focusing especially on the difference between these technologies. Firstly the theory of drying hops and general methods of drying used in the Czech Republic are described, as well as required quality parameters of the final dried hops. The work describes measurement methodology and settings of selected parameters for chamber and belt dryers. Obtained parameters are compared and evaluated. Furthermore, the effect of the drying parameters on energy consumption is explored as well as the effect of used fuel on the energy cost. Finally, several improvements are proposed to remove discovered weaknesses of both types of dryers.

Key words: hops, hop drying, hop quality measures

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce	2
3. Stávající sušicí technika	3
3.1. Pásové sušárny	3
3.2. Komorové sušárny	5
3.2.1. Komorové lískové sušárny	5
3.2.2. Komorové vsázkové sušárny.....	7
4. Sušicí proces.....	Chyba! Záložka není definována.
4.1. Bilance hmotnosti	8
4.2. Prostup sušicího vzduchu sušeným materiálem.....	9
4.3. Ohřátí sušicího vzduchu.....	10
5. Kvalitativní parametry sušeného chmele	11
6. Výchozí charakteristiky	12
6.1. Charakteristika sklizně.....	12
6.2. Charakteristika měřené komorové sušárny.....	13
6.3. Charakteristika měřené pásové sušárny	14
7. Metodika měření	15
7.1. Vlhkost chmele	15
7.1.1. Vlhkost chmele – komorová sušárna.....	15
7.1.2. Vlhkost chmele – pásová sušárna.....	15
7.2. Barva hlávek	15
7.3. Spotřeba paliva.....	15
7.3.1. Spotřeba paliva – komorová sušárna	15
7.3.2. Spotřeba paliva – pásová sušárna	15
7.4. Výkonnost sušárny.....	16
7.4.1. Výkonnost komorové sušárny	16

7.4.2.	Výkonnost pásové sušárny	16
7.5.	Výška chmelové vrstvy	16
7.5.1.	Výška chmelové vrstvy – komorová sušárna	16
7.5.2.	Výška sušicí vrstvy – pásová sušárna.....	17
7.6.	Měření průběhu sušení.....	17
7.6.1.	Měření průběhu sušení – komorová sušárna	17
7.6.2.	Měření průběhu sušení – pásová sušárna	17
8.	Výsledky měření a jejich analýza	18
8.1.	Vlhkost chmele	18
8.1.1.	Vlhkost chmele – komorová sušárna.....	18
8.1.2.	Vlhkost chmele – pásová sušárna.....	18
8.1.3.	Vlhkost chmele – zhodnocení.....	18
8.2.	Barva hlávek	19
8.3.	Měrná cena paliva	20
8.3.1.	Měrná cena paliva – komorová sušárna	20
8.3.2.	Měrná cena paliva – pásová sušárna.....	22
8.3.3.	Měrná cena paliva - zhodnocení.....	23
8.4.	Měrné mzdové náklady.....	23
8.4.1.	Měrné mzdové náklady – komorová sušárna	23
8.4.2.	Měrné mzdové náklady – pásová sušárna	24
8.4.3.	Měrné mzdové náklady - zhodnocení.....	24
8.5.	Výška sušicí vrstvy	25
8.5.1.	Výška sušicí vrstvy – komorová sušárna.....	25
8.5.2.	Výška sušicí vrstvy – pásová sušárna.....	26
8.5.3.	Výška chmelové vrstvy – zhodnocení.....	26
8.6.	Sušicí křivka	27
8.6.1.	Sušicí křivka – komorová sušárna.....	27

8.6.2.	Sušicí křivka – pásová sušárna	29
8.6.3.	Sušicí křivka – zhodnocení.....	30
8.7.	Vliv provozních parametrů na měrnou spotřebu energie.....	31
8.7.1.	Vliv sušicí teploty na měrnou spotřebu energie	31
8.7.2.	Vliv vlhkosti výstupního vzduchu na spotřebu energie.....	35
8.7.3.	Vliv sušicích parametrů na spotřebu energie – zhodnocení	36
8.8.	Vliv použitého paliva na měrnou cenu energie.....	37
9.	Doporučení.....	40
9.1.	Doporučení – komorová sušárna	40
9.2.	Doporučení – pásová sušárna.....	41
10.	Závěr.....	42
	Zdroje informací.....	43
	Seznam obrázků.....	44
	Seznam tabulek.....	44

1. Úvod

Chmelařství v podmínkách ČR na přelomu 20. a 21. století zažilo velký propad. Plochy chmelnic klesly na polovinu a výkupní ceny pod hranici rentability pěstitelů. Tyto skutečnosti zapříčinili většinou obchodníci s chmelem, kteří po politickém převratu na tržní hospodářství nebyli dostatečně připraveni na nově vzniklou situaci. Po otevření trhu začaly pivovary používat také vysokoobsažné odrůdy, které se na našem území nepěstovaly a obchodníci dost rychle nereagovali na tuto skutečnost.

V dnešní době, kdy ceny chmele jsou pro pěstitele na zajímavé úrovni, stoupá i plocha chmelnic. Z těchto důvodů je třeba se zabývat technikou pro pěstování chmele. Velká část této techniky používané na našem území je zastaralá. Asi nejzastaralejší je technika pro sušení chmelových hlávek. Většina dnes používaných sušáren v ČR je starších 25 let pouze s drobnými úpravami. Z těchto důvodů se diplomová práce zabývá technikou pro sušení chmele.

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je rozbor sušení chmele, objektivní porovnání kvalitativních parametrů sušeného chmele na komorové a pásové sušárně. Dalším cílem je optimalizace sušicího procesu s ohledem na výkonnost sušení a na cenu paliv.

3. Stávající sušicí technika

Konstrukčně se v ČR i ve světě používají dva druhy sušáren: komorové a pásové. Komorové sušárny pracují diskontinuálně vsádkovým způsobem, pásové sušárny jsou provozovány kontinuálně. Sušicím médiem je teplý vzduch, který se ohřívá spalováním zemního plynu nebo lehkého topného oleje. Maximální sušicí teploty se na stávajících sušicích linkách pohybují v rozmezí 55 °C až 60 °C a jsou prakticky stabilní po celou dobu sušení. Těmto teplotám je chmel vystaven po dobu 6 až 8 hodin. (Krofta, Rybka, 2015)

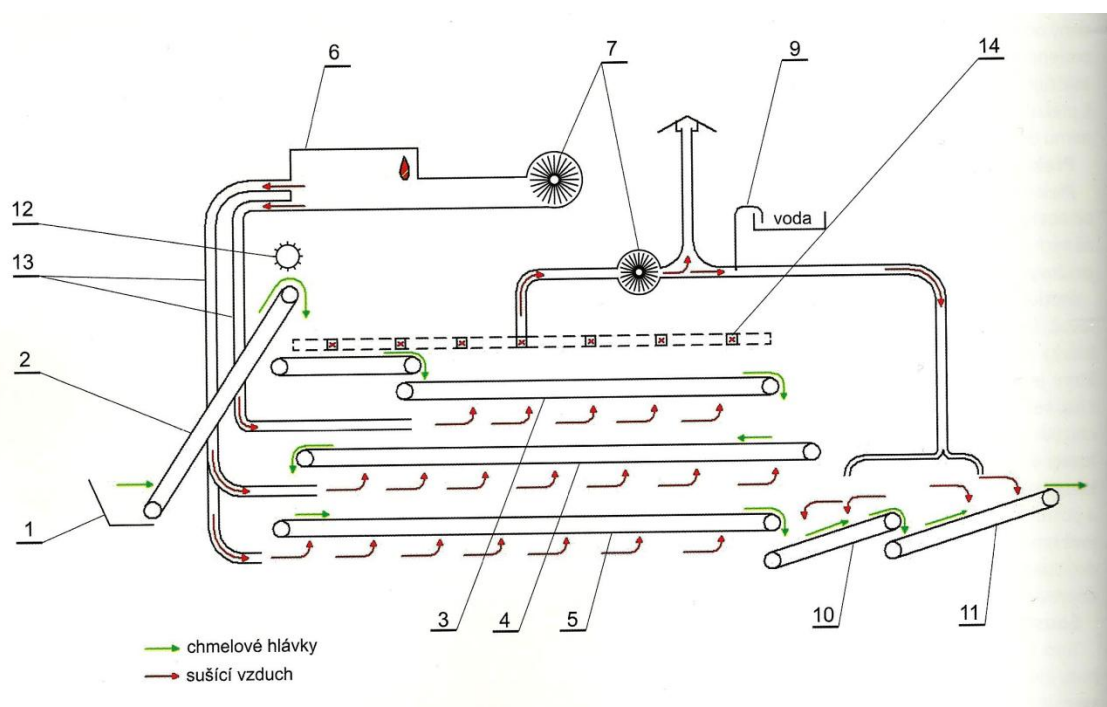
V současné době je v ČR k dispozici celkem 204 funkčních sušáren na chmel. Z toho pásových sušáren je 124, klasických komorových sušáren v lískovém provedení 78 a dvě nové bez přesypů amerického typu. Stávající sušárenské technologie jsou zastaralé (komorové sušárny byly realizovány v 60. letech minulého století, pásové sušárny v 70-80. letech). Celková kapacita sušárenských technologií činí nyní 9 500 tun suchého chmele za sezonu, což při celkové produkci cca 6 000 tun suchého chmele představuje o 38 % vyšší kapacitu. Z toho vyplývá, že není potřeba budovat nové sušárny chmele. Ekonomicky je mnohem výhodnější zaměřit se na rekonstrukci, modernizaci a automatizaci procesu stávajících sušárenských technologií s využitím nových technologií zejména v oblasti sledování, řízení a automatizace sušení. (Krofta, Rybka, 2015)

3.1. Pásové sušárny

Pásová sušárna je kontinuálně pracující zařízení. Na jedné straně do ní vstupuje čerstvě načesaný chmel ze zásobníku za česací linkou, na druhé straně nepřetržitě vystupuje usušený chmel s vlhkostí 5 – 7 %, který pokračuje dále ke klimatizaci a lisování do transportních obalů. Všechny druhy pásových sušáren dnes používaných v ČR se skládají z násypky (obr. 1 – 1), plnicího dopravníku (obr. 1 – 2) s vrstvicím ježkem (obr. 1 – 12), třech sušicích nekonečných síťových pásů s horizontální dopravou (obr. 1 – 3, 4, 5), soustavy vzduchového potrubí (obr. 1 – 13) s ventilátory (obr. 1 – 7) a teplovzdušného agregátu (obr. 1 – 6). První sušicí pás (obr. 1 – 3) může být dělený, nebo může být doplněn prohrabávacím rotorem. Nosnou konstrukci tvoří ocelové nosníky, na které jsou připevněny dřevotřískové desky (stěny sušárny). Odvod vzduchu je realizován přes odsávací otvory (obr. 1 – 14). Usušené chmelové hlávky pokračují přímo na klimatizaci chmele (obr. 1 – 10, 11), kde se snižuje teplota a vyrovnává vlhkost uvnitř každé hlávky.

Instalované teplovzdušné agregáty (obr. 1 – 6) potřebné pro ohřátí sušícího vzduchu jsou většinou na lehký topný olej. Výjimečně byly pásové sušárny osazovány teplovzdušnými agregáty na zemní plyn a to v místech, kde byla zavedena plynofikace. U těchto paliv je snadná regulace výkonu agregátu a v době výstavby pásových sušáren byly ekonomicky příznivé, a to byly hlavní důvody jejich využívání.

Pásové sušárny i s klimatizací bývají v jedné ocelové hale s plechovými, eternitovými nebo zděnými stěnami s prosklenými světlíky. Pásové sušárny bývají propojeny s česacími linkami pásovými dopravníky. Tam kde to není možné je nasazena cyklická doprava se zásobníky.



Obr. 1 Technologické schéma pásové sušárny chmele s klimatizací: 1 – násypka, 2 – plnicí dopravník, 3, 4, 5 – sušící pásy, 6 – teplovzdušný agregát, 7 – ventilátor, 9 – vodní hospodářství, 10, 11 – klimatizační pásy, 12 – vrstvicí ježek, 13 – vzduchové potrubí, 14 – odsávací otvory (Jech, et al., 2011).

3.2. Komorové sušárny

3.2.1. Komorové lískové sušárny

Při zavádění horkovzdušného sušení v 19. století byly přistavovány k tehdejším selským skladům chmele sušicí komory (obr. 2 – 3) různého půdorysu. V podmínkách ČR se ukázal obdélníkový půdorys za nejvhodnější.

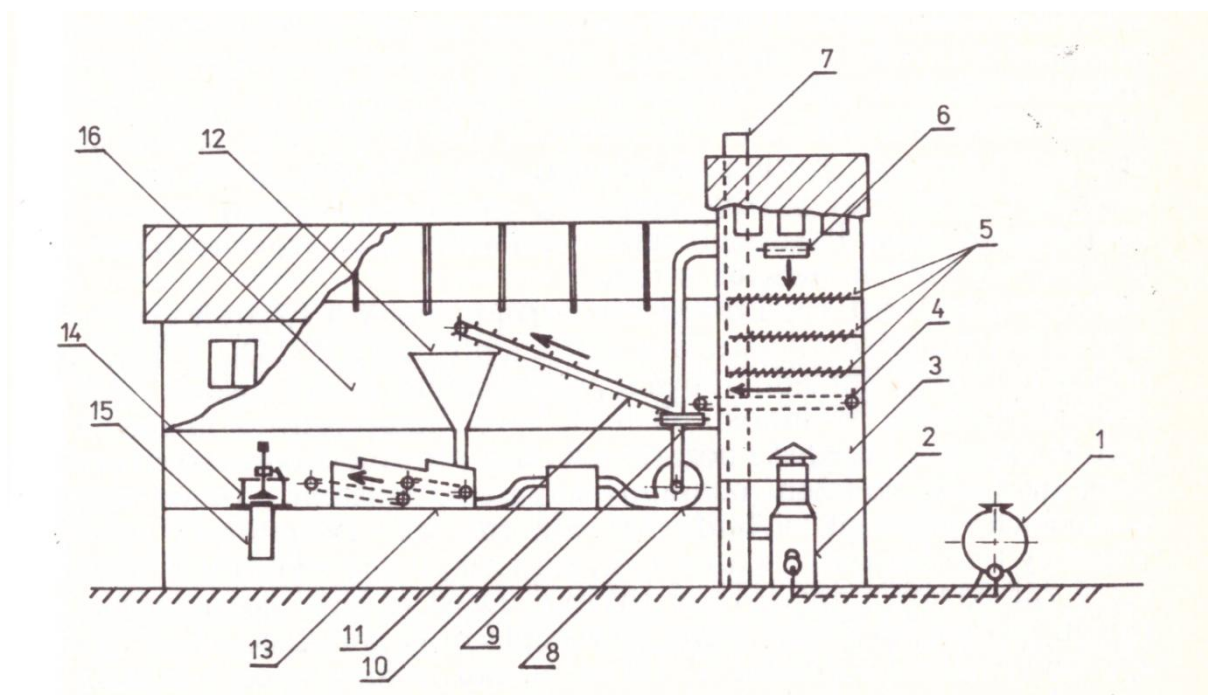
Při přechodu na kolektivní zemědělství se ukázalo, že stávající selské sušárny jsou pro podmínky velkovýrobního zemědělství nevhodné. Důvody byly rozdílné cykly plnění, výkonnosti a technologie sušení. Z těchto důvodů se v 50. letech minulého století začaly budovat sušárny s normalizovanými komorami o rozměrech 4,5 m x 5 m, se třemi vrstvami žaluziových sít a s výsypnými vozíky. Při modernizaci sušáren se do skladových prostor umísťovala klimatizace. Komorové sušárny se stavěly s 1 až 4 komorami v řadě, případně s 6 nebo 8 komorami ve dvou řadách u sebe.

V komorové sušárně (obr. 2) se chmel rovnoměrně rozprostře na nejvrchnější žaluziové síto (obr. 2 – 5) v nejvyšším patře sušárny, z kterého se postupně sesypává na spodnější žaluziová síta. Počet žaluziových sít se ustálil na tři. Pod nejnižším sítem jsou umístěny vozíky (tzv. lísky), umožňující vyvezení usušených chmelových hlávek ze sušicí komory. U těchto lísek je dno z jemného drátěného síta umožňujícího prostup vzduchu. Toto dno lze otevřít při vysypání usušených chmelových hlávek ve skladu. Při modernizacích byly lísky nahrazovány nekonečnými síťovými pásy (obr. 2 – 4), ze kterých hlávky padaly na sběrný pás a dále do klimatizace.

Sklad chmele u sušárny se skládá z několika pater nad sebou. V nejvyšším patře se skladují čerstvě očesané hlávky, které se zde vrství do komory. O patro níž je realizován výsyp usušených chmelových hlávek pomocí lísek nebo vyprazdňovacího dopravníku do klimatizace nebo na hromady, kde chmel chladne před sesypáním do nižších pater. V prvním a druhém patře probíhá skladování chmelových hlávek na hromadách. Dále zde probíhá přirozené vlhčení chmele atmosférickou vlhkostí. Pro snadnější pronikání vlhkého vzduchu se chmelové hlávky rozvrství na nízké (cca 0,6 m) hromady. V prvním patře dále probíhá lisování vychladlého chmele s konečnou vlhkostí mezi 10 a 12 %. V přízemí sušárny se nachází sklady slisovaného chmele v pěstitelských obalech, zázemí sušičů a sklady paliv. Dále je v přízemí, obvykle v prostoru pod sušicí komorou, teplovzdušný agregát.

První sušárny chmele využívaly sušení přímými spaliny. To negativně ovlivňovalo kvalitu hlávek, což vedlo k zavedení agregátů na pevná paliva s výměníky tepla, jež se ukázaly jako vhodné pro sušení chmelových hlávek. Většina komorových sušáren chmele byla osazena agregáty na pevná paliva, většinou na hnědé uhlí.

Pro potřeby zvyšování výkonnosti bylo zapotřebí zvýšit rychlost proudění vzduchu v sušárně. Nejprve se vzduch vhněl pod sušicí lísky přes teplovzdušný výměník. Stávající agregáty na pevná paliva nebyly vhodné pro tuto technologii, a proto se vyměňovaly za agregáty na lehký topný olej nebo zemní plyn.



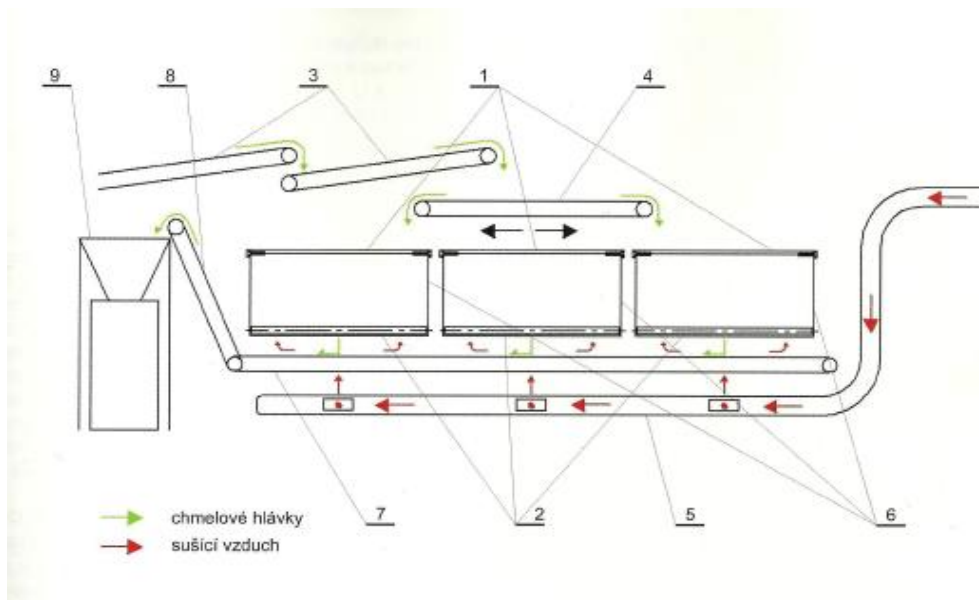
Obr. 2 Modernizovaná komorová lísková sušárna s klimatizací: 1 – nádrž na palivo, 2 – teplovzdušný agregát, 3 – sušicí komora, 4 - vyprazdňovací dopravník, 5 – žaluziová soustava, 6 – plnicí dopravník, 7 – komín, 8 – odsávací ventilátor, 9 – příčný odebírací dopravník, 10 – pračka vzduchu (před klimatizací), 11 – vynášecí dopravník, 12 – zásobník (před klimatizací), 13 – klimatizace, 14 – lis, 15 – žok na chmel, 16 – skladovací prostor (Horejsek, Zich, 1990).

3.2.2. Komorové vsázkové sušárny

Jedná se o nejprimitivnější způsob, který se využíval před zavedením horkovzdušného sušení. Při zavedení horkovzdušného sušení se nepoužívala žádná jiná technologie než vsázkové sušení. Postupem času se na území ČR zavádělo sušení ve více vrstvách a od vsázkového způsobu se upustilo, ale v zahraničí se dále vyvíjelo.

Po přestupu na tržní hospodářství se tímto způsobem začali chmelaři opět zabývat, a to z důvodu malých investičních nákladů. Další výhodou těchto sušáren je možnost snadno měnit parametry sušení s ohledem na stupeň vysušení a potřebu výkonnosti sušárny. Je zde malá potřeba lidské práce při sušení. Sušárna nepotřebuje žádný mezisklad očesaného chmele a slouží jako uklidňovací komora (klimatizace).

Princip sušení je na obr. 3. Postupně se plní jednotlivé komory (obr. 3 – 1) sušárny. Chmel je přiváděn pásovými dopravníky (obr. 3 – 3), přes posuvný dopravník s reverzací chodu (obr. 3 – 4) do jednotlivých komor. Posuv chmele v podélném směru zajišťují sušící sítové dopravníky (obr. 3 – 2). Po naplnění sušící komory se začne vhnět ohřátý vzduch pod sušící sítové dopravníky rozvodem sušícího vzduchu (obr. 3 – 5). Po usušení a zklidnění chmele se otevře přední čelo sušící komory (obr. 3 – 6) a chmel je dopravován sušícími sítovými dopravníky na příčný pásový dopravník (obr. 3 – 7), dále je dopravován vynášecím kapsovým dopravníkem (obr. 3 – 8) do lisu (obr. 3 – 9).



Obr. 3 Komorová vsázková sušárna: 1 – sušící komora, 2 – sušící sítové dopravníky, 3 – pásové dopravníky, 4 – posuvný pásový dopravník, 5 – rozvod sušícího vzduchu, 6 – přední čelo sušících komor, 7 – příčný pásový dopravník, 8 – vynášecí kapsový dopravník, 9 – hranolový lis (Jech, et al., 2011).

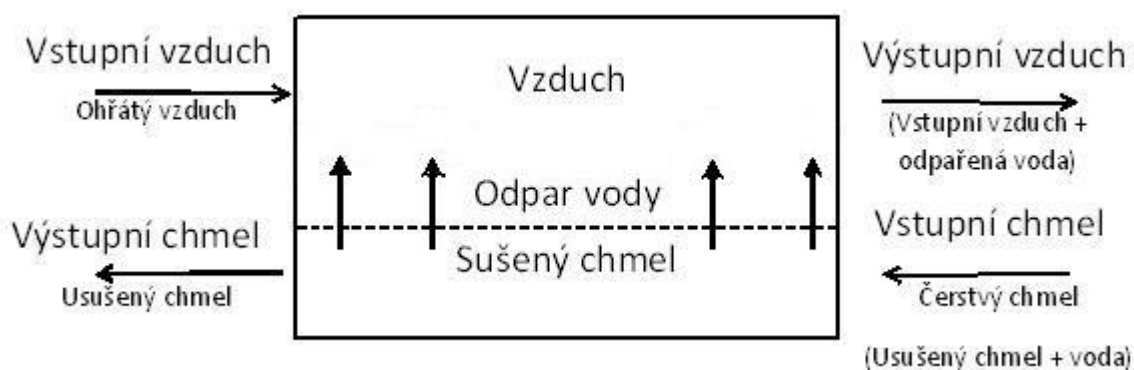
4. Sušicí proces

Proces sušení lze popsat staticky a dynamicky. Statický pohled zanedbává pochody uvnitř každé hlávky, naopak dynamický pohled se zabývá uvolňování vody z každé části hlávky zvlášť. Statický pohled lépe popisuje procesy, které se dějí v celé sušárně.

Při statickém pohledu na průběh sušení dělíme proces sušení na 3 hlavní fáze.

4.1. Bilance hmotnosti

Bilance hmotnosti (obr. 4) slouží pro stanovení množství odsušené vody.



Obr. 4 Hmotnostní toky v procesu sušení.

Hmotnost usušeného chmele se určí z počáteční a konečné vlhkosti chmele a hmotnosti vstupního chmele.

$$m_{2ch} = m_{1ch} \times \frac{100 - w_{1ch}}{100 - w_{2ch}}$$

kde: m_{2ch} – hmotnost usušeného chmele (kg)

m_{1ch} – hmotnost čerstvého chmele (kg)

w_{1ch} – vlhkost čerstvého chmele (%)

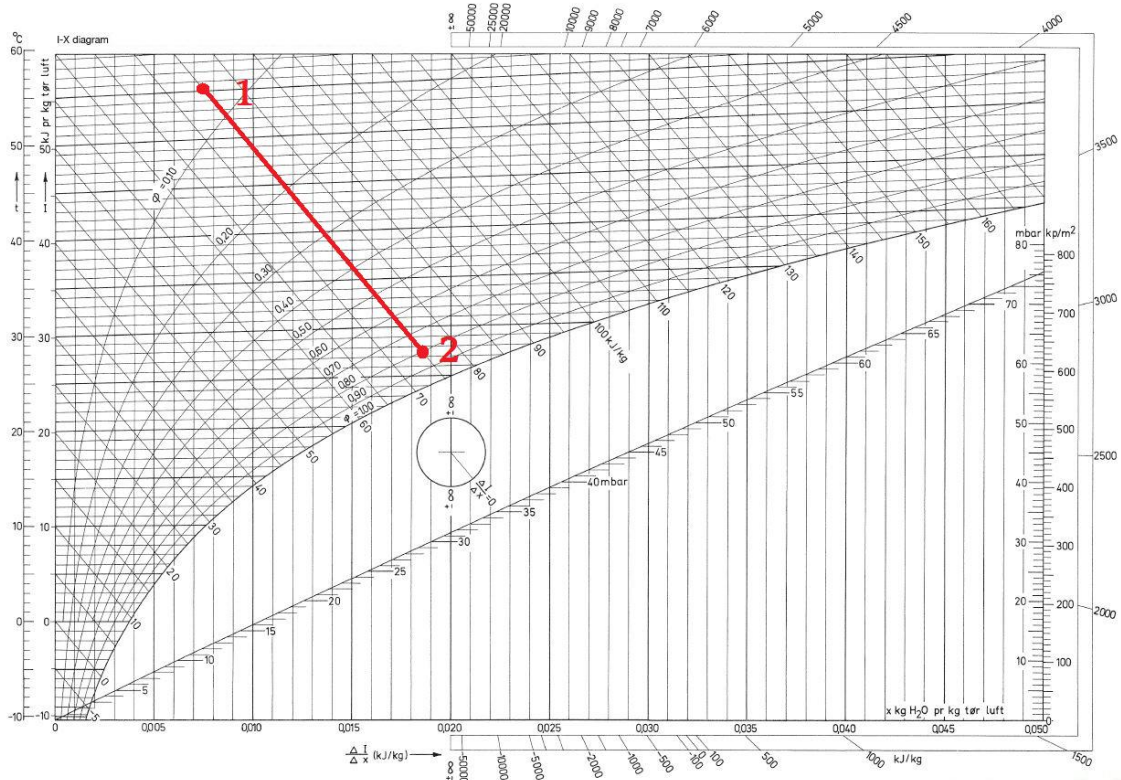
w_{2ch} – vlhkost usušeného chmele (%)

Z hmotnosti usušeného chmele a hmotnosti čerstvého chmele se určí množství odsušené vody (m_{vody}).

$$m_{vody} = m_{1ch} - m_{2ch}$$

4.2. Prostup sušícího vzduchu sušeným materiálem.

Zde se stanoví množství potřebného vzduchu pro pohlcení vlhkosti. Při zanedbání náhřevu materiálu a ostatních ztrát probíhá adiabatické vlhčení vzduchu (obr. 5).



Obr. 5 Adiabatické vlhčení sušícího vzduchu v i-x diagramu vlhkého vzduchu: 1 – ohřátý vzduch před procesem sušení, 2 – vzduch po průchodu sušárnou.

Hmotnost potřebného vzduchu se stanoví z hmotnosti odsušené vody, měrné vlhkosti ohřátého vzduchu a měrné vlhkosti výstupního vzduchu.

$$m_{vzd} = \frac{m_{vody}}{x_2 - x_1}$$

kde: x_1 – měrná vlhkost ohřátého vzduchu (g/kg s. v.)

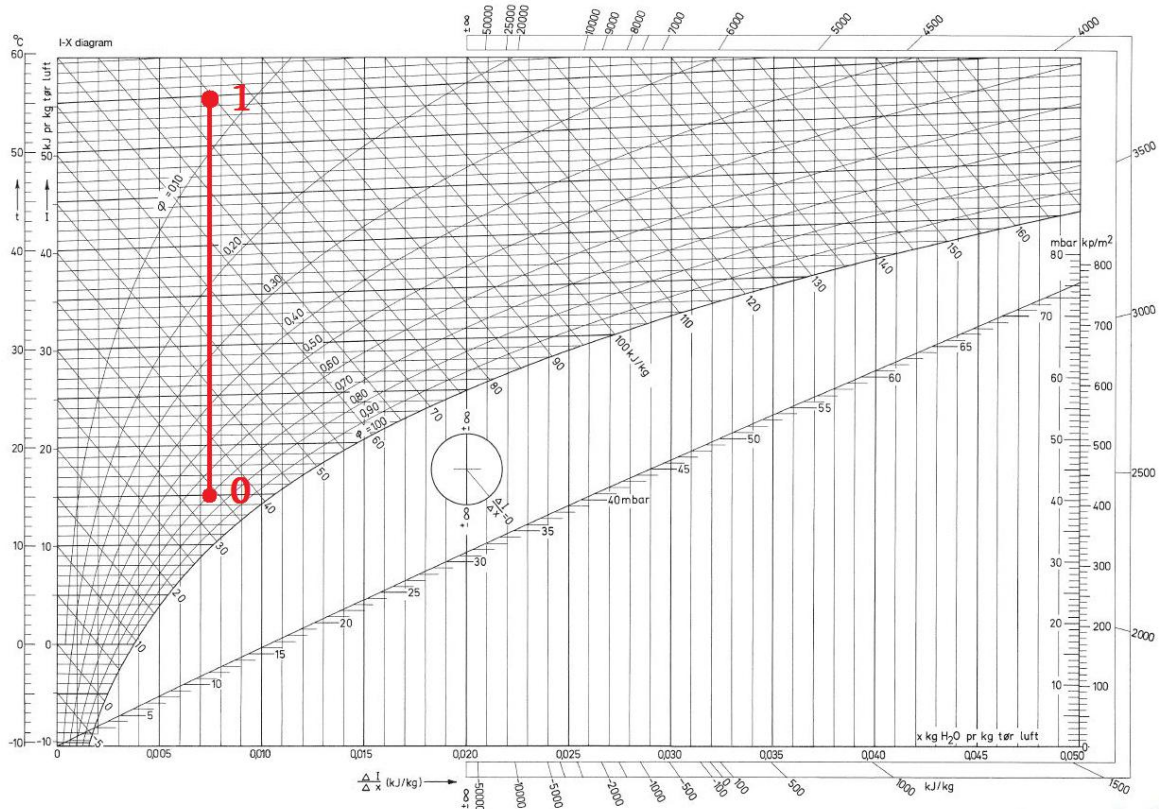
x_2 – měrná vlhkost výstupního vzduchu (g/kg s. v.)

m_{vzd} – hmotnost sušícího vzduchu (kg)

4.3. Ohřátí sušícího vzduchu

Při ohřívání sušícího vzduchu se zjišťuje potřebný výkon teplovzdušného agregátu.

Ohřátí probíhá izotermickou reakcí (obr. 6).



Obr. 6 Izotermický ohřev sušícího vzduchu v i-x diagramu vlhkého vzduchu: 0 – nasávaný vzduch teplovzdušným agregátem, 1 – ohřátý vzduch před procesem sušení.

Potřebné množství tepla se stanoví z hmotnosti ohřátého vzduchu, entalpie ohřátého vzduchu a entalpie studeného vzduchu.

$$Q_2 = m_{vzd} \times (i_1 - i_0)$$

kde: Q_2 – množství tepla potřebné při sušení (J)

i_0 – měrná entalpie nasávaného vzduchu (J/kg)

i_1 – měrná entalpie ohřátého vzduchu (J/kg)

5. Kvalitativní parametry sušeného chmele

Nákup chmele probíhá podle parametrů v tab. 1, která je dodatkem k výkupním smlouvám. Při prodeji chmele se odebrané vzorky hodnotí během bonitace chmele, kde se jednotlivé partie (dodávky chmele) zařadí do jakostních skupin.

Tab. 1 Kvalitativní znaky sušeného chmele – požadavky odběratelů (Tržní řád, 2015).

Ukazatel, jakostní znak	Standardní jakost
1. KH v originále	2,6 % a více – ŽPČ 4,0 % a více – Sládek 6,5 % a více – Bor 7,0 % a více – Premiant
2. Rozplevení	Do 30 %
3. Otluky	Do 15 %
4. Poškození škůdci, chorobami	Do 15 % (nepřipouští se zbytky mšice)
5. Barva hlávek	Zlato až žlutozelená
6. Barva lupulinu	Světle žlutá až žlutá lesklá
7. Biologický vzrůst hlávek	Dobře vzrostlý, vyzrálý, vyrovnaný
8. Vlhkost	Do 12 %
9. Chmelové příměsi	Do 3 %
10. Cizí příměsi	Bez cizích příměsí

KH – konduktometrická hodnota se stanoví dle ČSN 462520 – 15

6. Výchozí charakteristiky

6.1. Charakteristika sklizně

Pěstitelský ročník 2015 byl velmi atypický. Po mírné zimě přišlo pozvolné suché jaro, při kterém práce na chmelnicích probíhaly bez problémů. Při teplém jaru chmelové révy většinou dobře rostly. Na mladých chmelnicích se začal projevovat nedostatek srážek jako první. Suché léto s tropickými teplotami s nedostatkem srážek způsobilo, že révy zastavily růst a začaly podsychat. To mělo neblahé následky na sklizeň. Hlávky byly velmi malé a celkové množství sklizeného chmele se pohybovalo okolo 70 % dlouhodobého průměru.

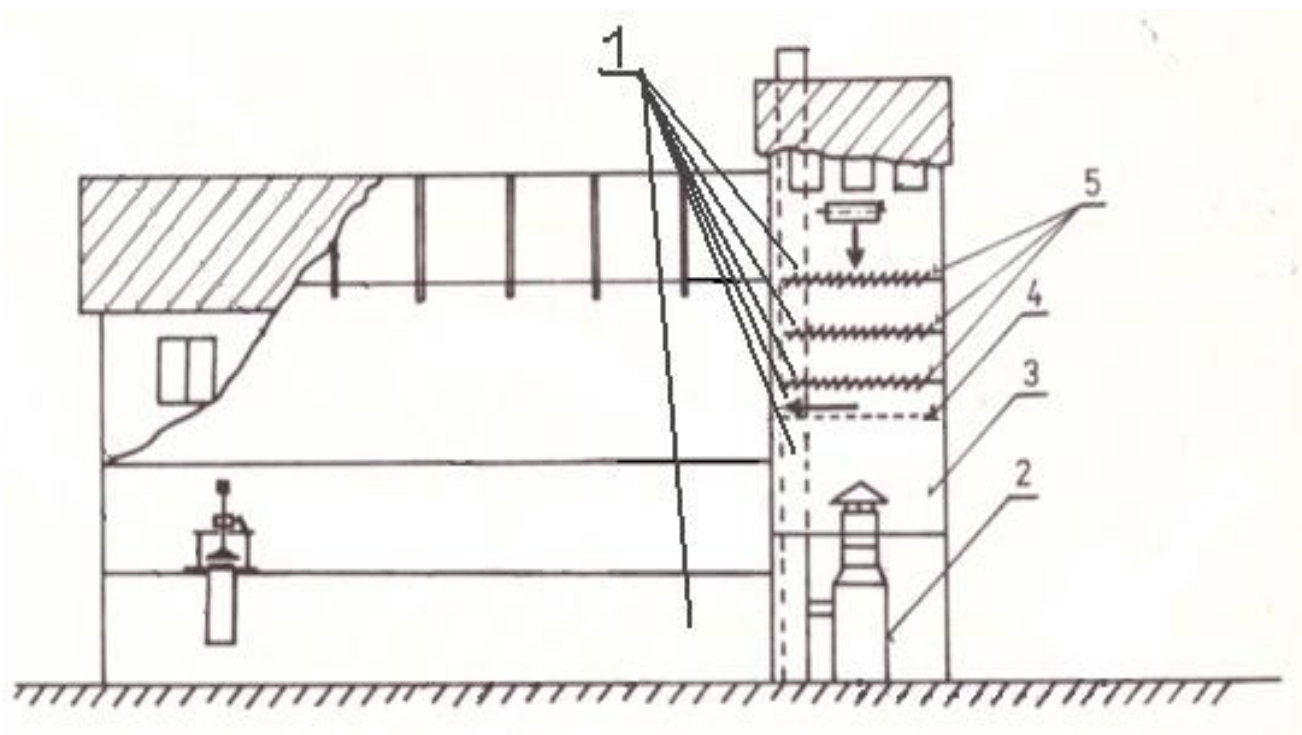
V tomto roce česací linky nedostatečně zásobovaly sušárny chmele, které nemohly pracovat na optimální výkonnosti. Dalším problémem při sušení byla velikost hlávek. Malé hlávky se více sléhávaly a hůře mezi nimi proudil vzduch. Také objemová hmotnost byla vyšší.

Pro dosažení kontinuálnějšího provozu komorové sušárny bylo nasypáváno pouze 8 žoků (cca 216 kg) místo původních 10 žoků (cca 270 kg). To se ukázalo jako vhodné. Po změření hmotnosti suchého chmele se ukázalo, že množství jednoho výsypu (výkonnost sušárny), se změnilo pouze nepatrně (z původních cca 60 kg na 58 kg). To bylo zapříčiněno nižší vlhkostí čerstvého chmele.

Pásová sušárna se často musela zastavovat z důvodu nedostatku hlávek. Z tohoto důvodu některá měření na pásové sušárně nemohla objektivně proběhnout.

6.2. Charakteristika měřené komorové sušárny

Měření probíhalo na jednokomorové lískové sušárně (obr. 7) u pěstitele p. Karla Lebedy. Sušárna je v Žatecké pěstitelské oblasti v obci Tuchořice na statku s čp. 161. Sušárna má tři patra a je součástí komplexu dalších budov. Komora sušárny je z roku 1926 se třemi sklopnými žaluziovými sítmi umístěnými nad sebou a výsypnými vozíky pod sítmi. Vnitřní rozměr komory (sušicí plochy) je cca 4,5 m x 5 m. Sušicím médiem je teplý vzduch bez spalin, který samovolně proudí proti sesypání sušených hlávek. Teplovzdušný agregát je na pevná paliva s manuálním přikládáním. Na sušárně byla sušena pouze odrůda Žatecký poloraný červeňák a hlavně z tohoto důvodu se všechna měření a úvahy vztahují k této odrůdě.



Obr. 7 Komorová sušárna chmele, na které proběhlo měření: 1 – umístění měřících sond, 2 – teplovzdušný agregát 3 – sušicí komora, 4 – vyprazdňovací vozíky, 5 – žaluziová souprava.

6.3. Charakteristika měřené pásové sušárny

Měření probíhalo na pásové sušárně PS 750 (obr. 1) u p. Jaroslava Šůmy. Sušárna je v Žatecké pěstitelské oblasti v obci Tuchořice ve sklizňovém středisku bývalého JZD. Celé sklizňové středisko bylo postaveno na zelené louce v 70. a 80. letech 20. století. Sušárna navazuje na zásobník a dvě česací linky chmele. Budova sušárny je postavena z ocelové konstrukce, která je pokrytá plechy. Sušicím médiem je teplý vzduch bez spalin, který je vháněn pod sušicí pásy. Teplovzdušný agregát je na LTO (lehký topný olej). Bližší popis pásové sušárny je v kapitole 3.2.1.

7. Metodika měření

7.1. Vlhkost chmele

Vlhkost chmele byla měřena po odběru vzorku, který byl stlačen pomocí ručního lisu. Do otvoru v lisu byl vložen hrot měřicí sondy vlhkoměru (G-won GMK 310) a dále byla 3x změřena vlhkost vzorku chmele. Odebírání vzorků a celé měření se 3x opakovalo během jednoho dne na komorové i pásové sušárně.

7.1.1. Vlhkost chmele – komorová sušárna

Na komorové sušárně probíhal odběr vzorků během výsypu chmele z vyprazdňovacích vozíků (obr. 7 – 4). Odběr vzorku byl ze třech po sobě jdoucích výsypech chmele, které byly každé 2 hodiny. Pro nezkrivenost výsledků byly odběry při kontinuálním provozu sušárny po ukončení nepřetržitého cyklu a to v době po 16., 18. a 20. hodině. Dále se zaznamenávaly doby násypů a výsypů pro zjištění doby sušení.

7.1.2. Vlhkost chmele – pásová sušárna

Na pásové sušárně probíhal odběr vzorku z dopravníku (obr. 1 – 10) mezi sušárnou a klimatizací chmele. Odběry byly opakovány každé dvě hodiny. Odběry proběhly v době mezi odběry komorové sušárny stejného dne a to v době 15:00, 17:00 a 19:00. Dále se zaznamenával čas, po který byl chmel sušen. A to za pomoci kovového předmětu, který byl vložen do sušárny a sledován při průchodu sušárnou.

7.2. Barva hlávek

Barva hlávek byla určována ze stejných vzorků jako vlhkost chmele. Odběr vzorků na komorové sušárně je popsán v kap. 7.1.1 a odběr na pásové sušárně je popsán v kap. 7.1.2.

Barva hlávek je subjektivní parametr, proto se hodnotí porovnáváním vzorků mezi sebou. Z odebraných vzorků bylo odměřeno stejné množství cca 0,5 l, ze kterého byl pro každou sušárnu vytvořen jeden směsný vzorek. Tyto vzorky byly porovnávány mezi sebou.

7.3. Spotřeba paliva

7.3.1. Spotřeba paliva – komorová sušárna

Pro zjištění spotřeby paliva byla sledována hmotnost spotřebovaného hnědého uhlí při osmihodinovém sušicím cyklu. Byla zjišťována hmotnost ručně dopravovaného uhlí k teplovzdušnému agregátu, které bylo následně přikládáno do agregátu po dobu 8 hodin.

7.3.2. Spotřeba paliva – pásová sušárna

Zjišťování spotřeby LTO z bezpečnostních důvodů nebylo možné. Proto byla spotřeba převzata z vnitropodnikové dokumentace ze dne měření.

7.4. Výkonnost sušárny

7.4.1. Výkonnost komorové sušárny

Výkonnost komorové sušárny byla zaznamenána v žočcích na násyp. Po zjištění hmotnosti jedné partie byla přepočítána na hmotnost suchého chmele.

7.4.2. Výkonnost pásové sušárny

Měření hmotnosti suchého chmele na pásové sušárně probíhalo ihned po sušení, klimatizaci a lisování. Byla zaznamenána hmotnost slisovaného chmele po dobu 8 hodin.

7.5. Výška chmelové vrstvy

7.5.1. Výška chmelové vrstvy – komorová sušárna

Měření výšky první chmelové vrstvy bylo realizováno z lávek, určených pro násyp chmele. 2. a 3. vrstva byla měřena přístupovými otvory ve stěně sušárny (obr. 8 – 1). Výška chmelové vrstvy ve vyprazdňovacích vozících (obr. 7 – 4) byla měřena po vysunutí vozíku.

Zaznamenávány byly maximální hodnoty, minimální hodnoty a hodnoty po urovnání (charakterizují výšku vrstvy při ideálním urovnání). Měření bylo 3x opakováno a naměřené hodnoty byly zprůměrovány. Každé opakování se provádělo po sesypání vrstvy chmele.



Obr. 8 Pohled na stěnu sušící komory: 1 – přístupové otvory, 2 – snímače teploty a relativní vlhkosti vzduchu, 3 – měřící sondy.

7.5.2. Výška sušicí vrstvy – pásová sušárna

Měření výšky sušicí vrstvy neproběhlo z důvodů nekontinuálního provozu a krátké sklizně. Získané informace o výšce chmelové vrstvy v sušárně jsou z vnitropodnikové dokumentace pěstitele.

7.6. Měření průběhu sušení

7.6.1. Měření průběhu sušení – komorová sušárna

Byly sledovány tři hlavní parametry sušení. Těmi jsou teplota a relativní vlhkost vzduchu těsně nad sušicí vrstvou a vlhkost sušeného chmele.

Vzorky chmele byly odebírány ze všech sušicích sít i výprazdňovacích vozíků. Z prvního síta probíhal odběr vzorku z lávek, určených pro násyp chmele. Z 2. a 3. vrstvy probíhal odběr vzorku přístupovými otvory ve stěně sušárny (obr. 8 – 1). Z vyprazdňovacích vozíků byly odebírány vzorky po jejich vysunutí.

Měření vlhkosti chmele proběhlo ihned po odebrání každého vzorku metodou popsanou v kapitole 7.1. Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu probíhalo pomocí dvou bezdrátových sond (Sencor SWS THS) meteostanice (Sencor SWS 51 W) a třech sond snímače teploty a relativní vlhkosti vzduchu (Comet H3021). První sonda byla zavěšena nad nejvyšším sušicím žaluziovým sítem. Další 2 sondy byly umístěny do kontrolních otvorů nad sušicí vrstvou (obr. 8 – 3). Pod nejnižším žaluziovým sítem nad bočními okraji výsypných vozíků byla bezdrátová sonda. Pod vozíky byla další bezdrátová sonda měřící vlastnosti ohřátého vzduchu. Poslední měřící místo bylo v přízemí sušárny před vstupem vzduchu do teplovzdušného agregátu. Zde byla umístěna meteostanice.

Měření se pravidelně opakovalo po 1 hodině a trvalo cca 20 minut. Měření probíhalo po dobu celého osmihodinového cyklu. Začátek měření byl ovlivněn násypy (začátek byl ihned po násypu). Uváděné hodnoty nejsou z doby, kdy byla sušárna v začátku/konci provozu. Při měření byly zaplněny minimálně 3 ze 4 sušicích vrstev.

7.6.2. Měření průběhu sušení – pásová sušárna

Měření průběhu sušení na pásové sušárně neproběhlo z důvodů nekontinuálního provozu a krátké sklizně. Získané informace o průběhu sušení jsou převzaty z odborné literatury.

8. Výsledky měření a jejich analýza

8.1. Vlhkost chmele

Sušárny byly nastaveny na vlhkost chmele 8 %. Tento kvalitativní parametr obě sušárny měly splňovat při 8 hodinovém procesu kontinuálního provozu.

8.1.1. Vlhkost chmele – komorová sušárna

Při kontinuálním provozu byla vlhkost 8 %. Při sníženém množství sušicího vzduchu v komorové sušárně (z důvodu snížené výkonnosti) docházelo k tvoření tzv. „hnízd“, kde byla zvýšená vlhkost chmele až na 18 %.

8.1.2. Vlhkost chmele – pásová sušárna

Při kontinuálním provozu byla vlhkost 8 %. Při krátkodobém přerušení provozu z nedostatku chmele docházelo ke krátkodobé změně vlhkosti sušeného chmele. Tyto změny vlhkosti byly do 5 %.

8.1.3. Vlhkost chmele – zhodnocení

Nastavená vlhkost chmele byla dodržena u obou sušáren za stanovenou dobu. Při snížené výkonnosti sušáren nastaly drobné problémy u obou sušáren. Tyto problémy neměly znatelný ekonomický dopad.

8.2. Barva hlávek

Barva hlávek z obou sušáren je ilustrována na obr. 9. U komorové sušárny nezpůsobovalo snížení výkonnosti problémy se změnou barvy hlávek. Při zastavování pásové sušárny docházelo k zhoršení barvy hlávek na prvním pásu.



Obr. 9 Vzorčky chmele při porovnávání barvy hlávek: 1 – komorová sušárna, 2- pásová sušárna.

Barva hlávek - zhodnocení

Barva chmelových hlávek byla srovnatelná z obou sušáren během kontinuálního provozu. Při snížení výkonnosti pásové sušárny vznikly pouze drobné problémy bez znatelného ekonomického dopadu.

8.3. Měrná cena paliva

8.3.1. Měrná cena paliva – komorová sušárna

Pro zjištění měrné spotřeby paliva byla měřena hodinová výkonnost a spotřeba paliva komorové a pásové sušárny (tab. 2).

Tab. 2 Naměřené hodnoty spotřeby paliva a výkonnosti sušárny.

	Komorová sušárna	Pásová sušárna
Spotřeba paliva	310 kg hnědého uhlí/8 h	0,53 l LTO/kg suchého chmele
	1,3 kg paliva/kg suchého chmele	
Výkonnost sušárny	8 žočků/2 h	1195 kg suchého chmele/8 h
	28 kg suchého chmele/h	149 kg suchého chmele/h

U komorové sušárny je stejné množství každého násypu, proto zjištění výkonnosti mohlo být provedeno až po zjištění hmotnosti jedné partie a přepočítání hmotnosti suchého chmele na jeden násyp.

$$W_k = \frac{n_z}{t_n} \times m_{2z} = \frac{8}{2} \times 7 = 28 \text{ kg suchého chmele/h}$$

kde: W_k – výkonnost komorové sušárny (kg suchého chmele/h)

n_z – počet žočků jednoho násypu (kusy)

t_n – čas mezi násypy (h)

m_{2z} – hmotnost chmele jednoho žočku po usušení (kg)

Dále bylo zaznamenáváno množství spotřebovaného paliva během osmihodinového sušicího cyklu, z kterého byla stanovena hodinová spotřeba paliva.

$$Q_p = \frac{m_{pc}}{t_c} = \frac{290}{8} = 36,25 \text{ kg paliva/h}$$

kde: Q_p – hodinová spotřeba paliva (kg paliva/h)

m_{pc} – hmotnost paliva spotřebovaného během jednoho cyklu (kg)

t_c – čas trvání jednoho cyklu (h)

Podílem průměrných hodnot byla stanovena měrná spotřeba paliva.

$$q_{pk} = \frac{Q_p}{W} = \frac{36,25}{28} = 1,3 \frac{\text{kg paliva}}{\text{kg chmele}}$$

kde: q_{pk} – měrná spotřeba paliva komorové sušárny (kg paliva/kg chmele)

Z důvodu vyjádření měrné spotřeby paliva ve stejných jednotkách byla zjištěná hodnota spotřeby paliva přepočítána na měrnou spotřebu energie. Pro přepočet byla použita výhřevnost hnědého uhlí 17,8 MJ/kg. (Výhřevnost paliva, 2015)

$$e_k = q_{pk} \times H_u = 1,3 \times 17,8 = 23 \frac{\text{MJ}}{\text{kg chmele}}$$

kde: e_k – měrná spotřeba energie komorové sušárny (MJ/kg chmele)

H_u – výhřevnost hnědého uhlí (MJ/kg)

Pro komplexní pohled byla dále přepočtena měrná spotřeba na měrnou cenu energie. Hnědé uhlí bylo v roce 2015 nakoupeno za 3 Kč/kg.

$$c_{pk} = q_{pk} \times C_u = 1,3 \times 3 = 3,9 \frac{\text{Kč}}{\text{kg chmele}}$$

kde: c_{pk} – měrná cena paliva komorové sušárny (Kč/kg chmele)

C_u – cena hnědého uhlí (Kč/kg uhlí)

8.3.2. Měrná cena paliva – pásová sušárna

Měrná spotřeba paliva u pásové sušárny byla 0,53 l LTO/kg chmele. Z důvodu vyjádření měrné spotřeby paliva ve stejných jednotkách byla zjištěná hodnota přepočítána na měrnou spotřebu energie. Pro přepočet byla použita výhřevnost LTO 42,3 MJ/kg. Dále pro přepočet LTO z litrů na kilogramy byla použita hustota LTO 0,89 kg/l. (Výhřevnost paliva, 2015)

$$e_p = q_{pp} \times r_{LTO} \times H_{LTO} \quad M = 0,53 \times 0,89 \times 42,3 = 20 \frac{\text{MJ}}{\text{kg chmele}}$$

kde: e_p – měrná spotřeba energie pásové sušárny (MJ/kg chmele)

q_{pp} – měrná spotřeba paliva pásové sušárny (l/kg chmele)

r_{LTO} – hustota LTO (kg/l)

H_{LTO} – Výhřevnost LTO (MJ/kg)

Pro komplexní pohled byla dále přepočtena měrná spotřeba na měrnou cenu energie. LTO bylo v roce 2015 nakoupeno za 19,5 Kč/l. Při nákupu LTO bylo třeba ještě zaplatit spotřební daň, která byla vrácena pěstiteli po době cca 2 měsíců a administrativní náklady spojené s používáním LTO (pro přehlednost jsou tyto náklady zanedbány).

$$c_{pp} = q_{pp} \times C_{LTO} = 0,53 \times 19,5 = 10,3 \frac{\text{Kč}}{\text{kg chmele}}$$

kde: c_{pp} – měrná cena paliva pásové sušárny (Kč/kg chmele)

C_{LTO} – cena LTO (Kč/l)

8.3.3. Měrná cena paliva - zhodnocení

Měrná cena paliva komorové sušárny je 3,9 Kč/kg chmele. Měrná cena paliva pásové sušárny je 10,3 Kč/kg chmele. Měrná cena paliva komorové sušárny je o 6,4 Kč/kg chmele nižší (o 160 %), i přes to, že měrná spotřeba energie komorové sušárny je o 3 MJ/kg chmele vyšší (o 15 %).

Vyšší měrná spotřeba energie u komorové sušárny může být způsobena zastaralou technologií, zejména teplovzdušného agregátu s vysokými ztrátami způsobenými nedokonalým spalováním a nedostatečnou kapacitou výměníku.

Nižší měrná cena energie je způsobena několikrát nižší cenou paliva u komorové sušárny, zatímco spotřeba energie komorové sušárny je nepatrně vyšší.

8.4. Měrné mzdové náklady

8.4.1. Měrné mzdové náklady – komorová sušárna

Měrná potřeba lidské práce se stanovuje jako počet zaměstnanců na směnu dělen výkonností sušárny (převzato z kap. 8.3.1.). Pro vyjádření nevýrobních časů (příprava před sklizní a doba úklidu) byl zvolen koeficient 1,2, kterým je potřeba měrnou spotřebu lidské práce navýšit (vynásobit).

$$a_k = \frac{n_{zk}}{W_k} \times k_n = \frac{2}{28} \times 1,2 = 0,085 \frac{\text{h lidské práce}}{\text{kg chmele}}$$

kde: a_k – měrná potřeba lidské práce komorové sušárny (h lidské práce/kg chmele)

n_{zk} – počet zaměstnanců na směně komorové sušárny (zaměstnanců)

k_n – koeficient nevýrobních časů (-)

Hodinová taxa mzdových nákladů může být různá podle dostupnosti, odbornosti a zodpovědnosti pracovníků. Pro pracovníky na sušárně je průměrná hodinová taxa mzdových nákladů 100 Kč. Měrné mzdové náklady jsou násobkem měrné potřeby lidské práce navýšené o koeficient nepracovních časů a hodinové taxy mzdových nákladů.

$$N_{mk} = a_k \times N_{mt} = 0,085 \times 100 = 8,5 \frac{\text{Kč}}{\text{kg chmele}}$$

kde: N_{mk} – měrné mzdové náklady komorové sušárny (Kč/kg chmele)

N_{mt} – taxa mzdových nákladů (Kč/h)

8.4.2. Měrné mzdové náklady – pásová sušárna

Výkonnost pásové sušárny je stanovena z hmotnosti usušeného chmele a doby měření.

$$W_p = \frac{m_{2chp}}{t_c} = \frac{1195}{8} = 149 \frac{\text{kg chmele}}{\text{h}}$$

Kde: W_p – výkonnost pásové sušárny (kg suchého chmele/h)

m_{2chp} – hmotnost usušeného chmele pásovou sušárnou (kg)

Měrná potřeba lidské práce se stanoví obdobně jako u komorové sušárny.

$$a_p = \frac{n_{zp}}{W_p} \times k_n = \frac{3}{149} \times 1,2 = 0,024 \frac{\text{h lidské práce}}{\text{kg chmele}}$$

kde: a_p – měrná potřeba lidské práce pásové sušárny (h lidské práce/kg chmele)

n_{zp} – počet zaměstnanců na směně pásové sušárny (zaměstnanců)

Hodinová taxa mzdových nákladů pro pásovou sušárnu je podobná jako pro komorovou sušárnu. Měrné mzdové náklady jsou násobkem měrné potřeby lidské práce navýšené o koeficient nepracovních časů a hodinové taxy mzdových nákladů (obdobně jako v kap. 8.4.1.).

$$N_{mp} = a_p \times N_{mt} = 0,024 \times 100 = 2,4 \frac{\text{Kč}}{\text{kg chmele}}$$

Kde: N_{mp} – měrné mzdové náklady pásové sušárny (Kč/kg chmele)

8.4.3. Měrné mzdové náklady - zhodnocení

Měrné mzdové náklady u komorové sušárny jsou 8,5 Kč/kg chmele a u pásové sušárny 2,4 Kč/kg chmele.

Vysoké mzdové náklady u komorové sušárny (o více než 250 % pásové sušárny) jsou způsobeny zastaralou technologií násypu a výsypu chmele, ručním přikládáním a nízkou výkonností sušárny.

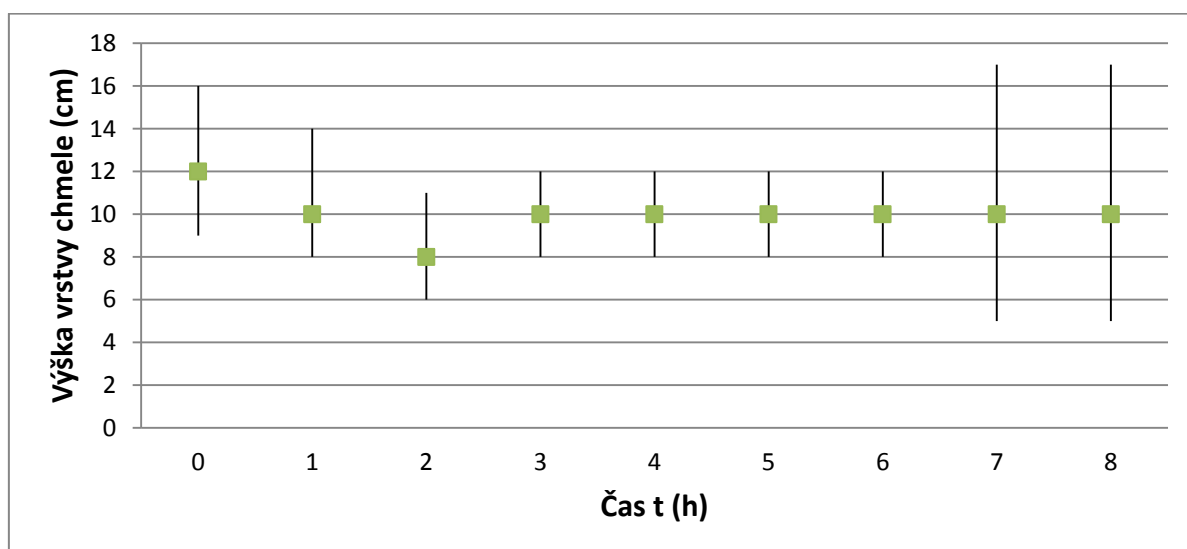
8.5. Výška sušící vrstvy

8.5.1. Výška sušící vrstvy – komorová sušárna

V tab. 3 jsou zaznamenané hodnoty z měření výšky chmelové vrstvy. Tyto hodnoty jsou průměry ze tří měření a jsou graficky zobrazeny na obr. 10.

Tab. 3 Výška chmelové vrstvy.

	1. síto			2. síto		3. síto		vozíky	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Doba sušení (h)									
Max. výška (cm)	16	14	11	12	12	12	12	17	17
Min. výška (cm)	9	8	6	8	8	8	8	5	5
Výška po urovnání (cm)	12	10	8	10	10	10	10	10	10



Obr. 10 Výška sušící vrstvy (sesypání chmele probíhalo po 2., 4. a 6. hodině).

Z obr. 10 je patrná klesající tendence výšky chmelové vrstvy na prvním sítu z 12 cm na 8 cm. Po sesypání na další síta byla chmelová vrstva vysoká 10 cm. Na dalších sítech byla výška sušící vrstvy konstantní (10 cm).

Vysoké variační rozpětí výšky chmelové vrstvy na 1. sítu je způsobeno nedokonalostí ručního rozvrstvení. V této vrstvě probíhá nejintenzivnější odpar vody, proto variační rozpětí nejvíce ovlivňuje sušení. Na 2. a na 3. sítu je to způsobeno překlápěním sít, která se překlápějí proti sobě. Proto zde má vysoké variační rozpětí minimální vliv na proces sušení. Ve vozíkách probíhá minimální odpar. Dále část vzduchu proudí mezi vozíky. Z těchto důvodů má i zde variační rozpětí minimální vliv na proces sušení.

8.5.2. Výška sušicí vrstvy – pásová sušárna

Výška chmelové vrstvy pásové sušárny byla převzata z vnitropodnikové literatury pěstitele. Vrstva chmele na prvním pásu klesá z 25 cm na 17 cm. Výška chmelové vrstvy na 2. pásu není známa. Na třetím pásu je vrstva konstantní s hodnotou 50 cm. Zvýšení vrstvy je způsobeno rozdílnou rychlostí jednotlivých pásů.

Variabilita výšky chmelové vrstvy na pásové sušárně je do 4 cm na všech pásech. Tato drobná nerovnoměrnost je způsobena velikostí chmelových hlávek. Z tohoto důvodu nemůže být variabilita chmelové vrstvy nižší.

8.5.3. Výška chmelové vrstvy – zhodnocení

Vysoká variabilita chmelové vrstvy komorové sušárny může mít vliv na lokální zvýšení vlhkosti při snížené výkonnosti. Tento problém je u pásové sušárny eliminován použitím vrstvicího ježka (obr. 1 – 12) a vyšší chmelovou vrstvou.

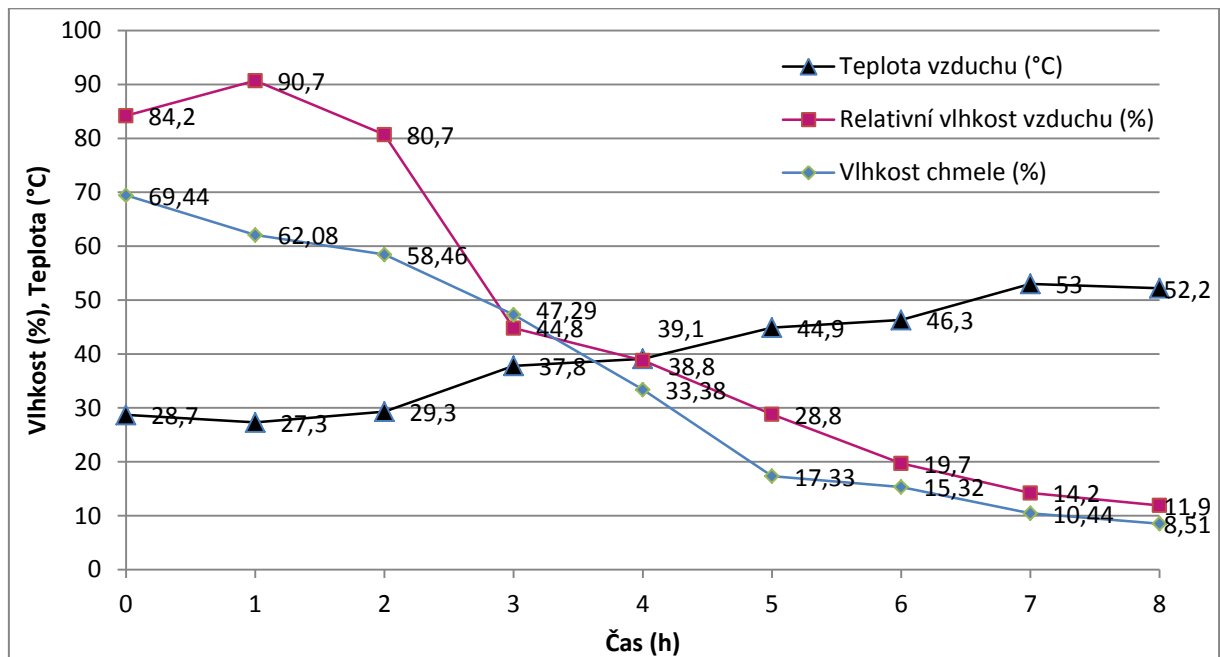
8.6. Sušicí křivka

8.6.1. Sušicí křivka – komorová sušárna

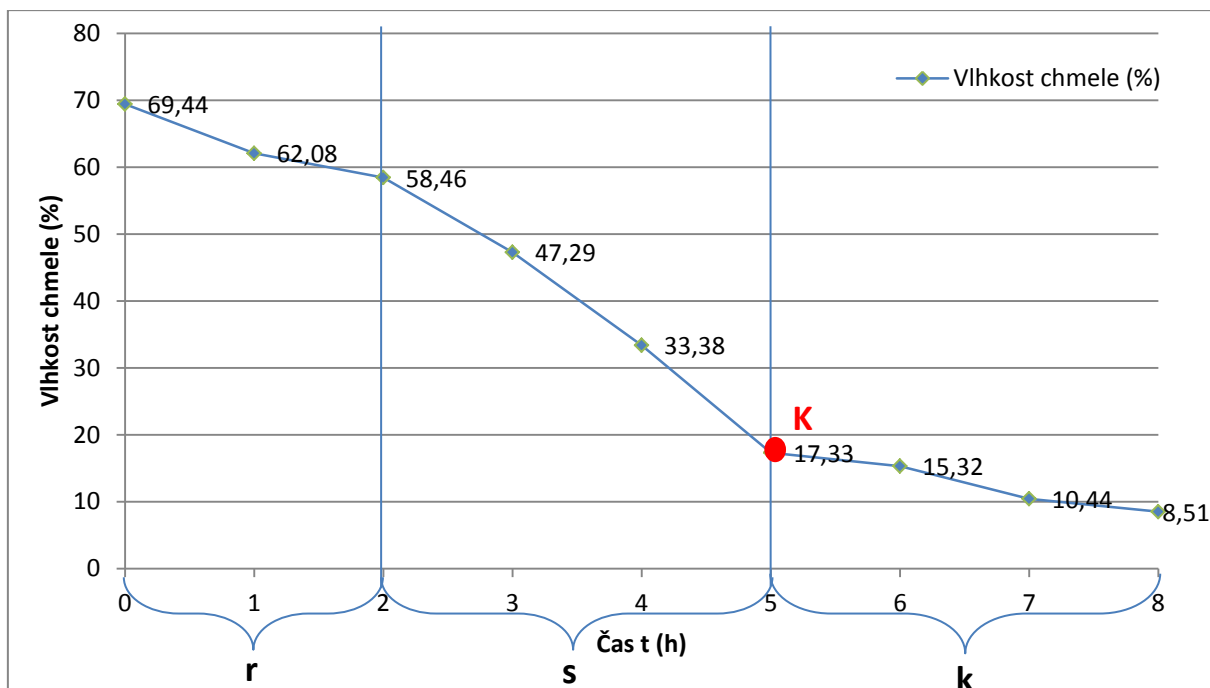
V tab. 4 jsou naměřené hodnoty průběhu sušení komorové sušárny, jsou to hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele v závislosti na čase sušení. Tyto hodnoty jsou graficky zobrazeny na obr. 11.

Tab. 4 Naměřené hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele v závislosti na čase sušení.

Čas (h)	1. síto			2. síto		3. síto		vozíky	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Teplota vzduchu (°C)	28,7	27,3	29,3	37,8	39,1	44,9	46,3	53	52,2
Relativní vlhkost vzduchu (%)	84,2	90,7	80,7	44,8	38,8	28,8	19,7	14,2	11,9
Vlhkost chmele (%)	69,44	62,08	58,46	47,29	33,38	17,33	15,32	10,44	8,51



Obr. 11 Naměřené hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele v závislosti na čase sušení (sesypání chmele probíhalo po 2., 4. a 6. hodině). Tuchořice 27. 8. 2015, začátek sušení v 15:30. ŽPČ



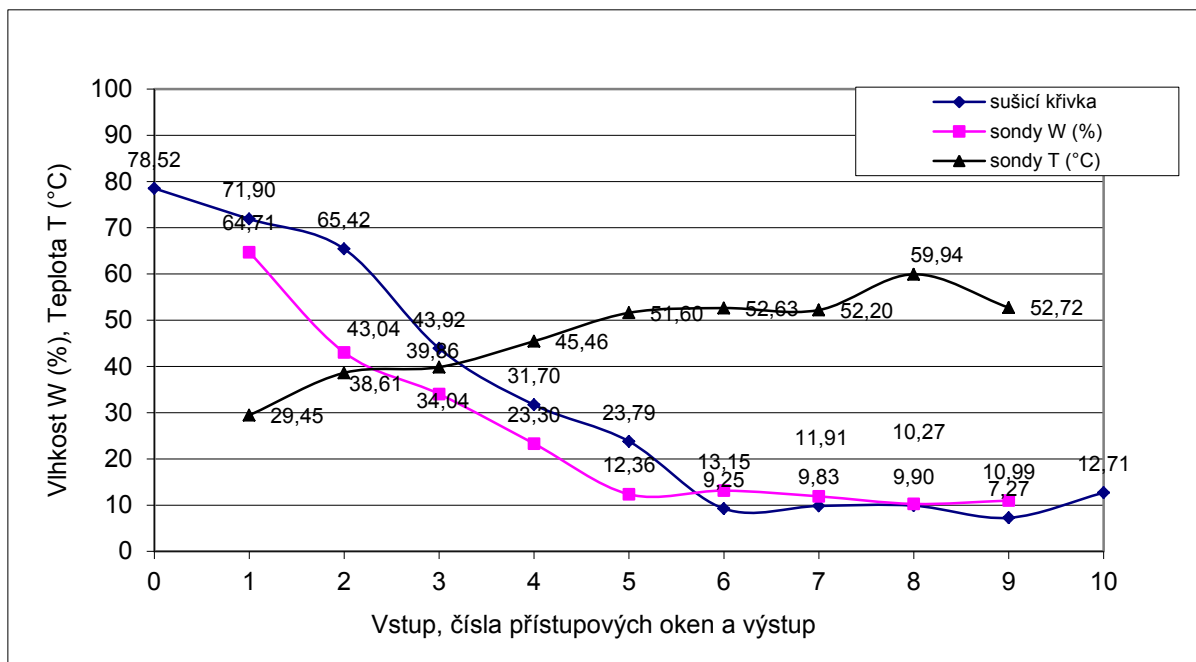
Obr. 12 Průběh vlhkosti chmele v závislosti na době sušení: r – doba náhřevu, s – doba povrchového odpařování, k – doba kapilárního odpařování, K – kritický bod (sesypání chmele probíhalo po 2., 4. a 6. hodině).

Na obr. 12 je průběh vlhkosti chmele v závislosti na době sušení s vyznačeným kritickým bodem. Čas sušení je rozdělen na dobu náhřevu, dobu povrchového odpařování a dobu kapilárního odpařování.

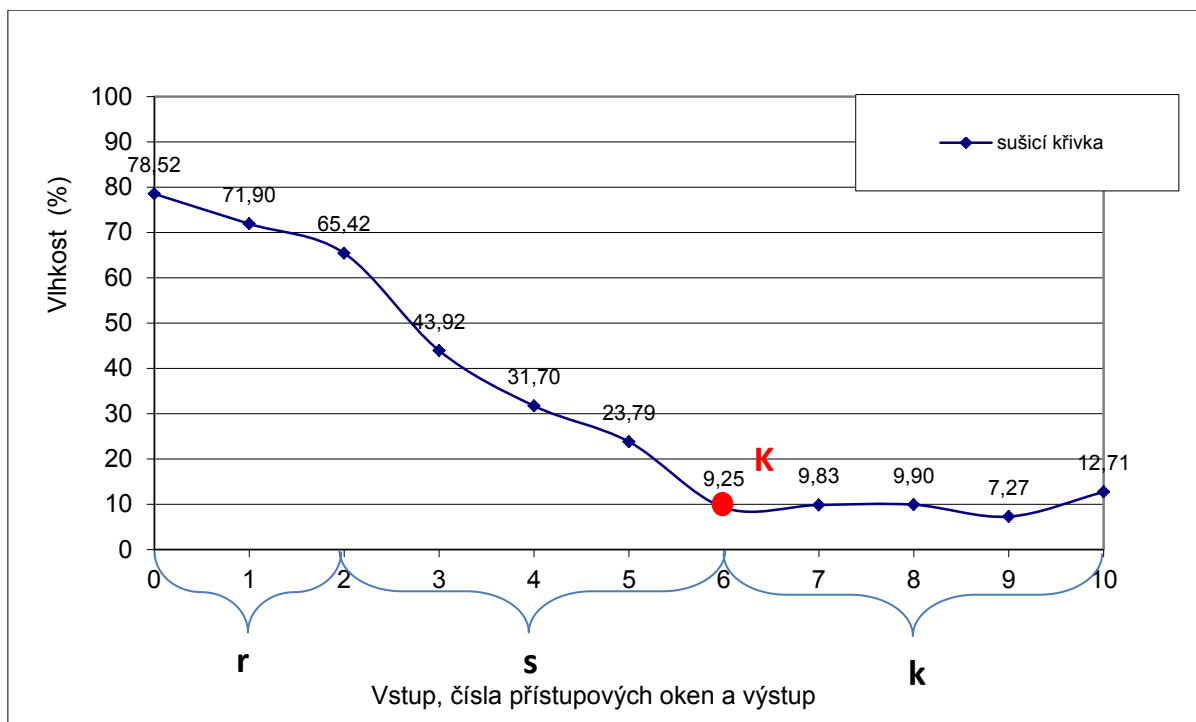
Doba náhřevu je počáteční interval, ve kterém se materiál přizpůsobuje tepelné rovnováze při procesu sušení. Doba náhřevu u komorové sušárny probíhala na prvním sítu. Po náhřevu byl chmel sesypán na další síta, kde probíhalo povrchové odpařování. Během doby povrchového odpařování je úbytek vlhkosti přímo úměrný času. Po odpaření většiny povrchové vlhkosti (na třetím sítu) nastává kritický bod a začne převažovat kapilární odpařování.

8.6.2. Sušicí křivka – pásová sušárna

Na obr. 13 jsou závislosti relativní vlhkosti a teploty vzduchu i vlhkosti chmele na průchodu pásovou sušárnou. Tyto hodnoty jsou převzaty z odborné literatury a jsou dále upraveny na obr. 14.



Obr. 13 Závislost relativní vlhkosti W (%) a teploty T (°C) sušícího vzduchu i vlhkosti chmele na čísle přístupového okna pásové sušárny PSCH-325 (sesypání chmele po 3. a 6. okně). Stekník 22. - 23. 8. 2007. ŽPČ. (Hanousek a kol., 2008)



Obr. 14 Průběh vlhkosti chmele v závislosti na čísle přístupového okna: r – doba náhřevu, s – doba povrchového odpařování, k – doba kapilárního odpařování, K – kritický bod (sesypání chmele po 3. a 6. okně). (po úpravě Hanousek a kol., 2008)

Doba náhřevu je počáteční interval, ve kterém se materiál přizpůsobuje tepelné rovnováze při procesu sušení. Doba náhřevu u pásové sušárny probíhala na prvním pásu. Na prvním pásu začalo také povrchové odpařování. Během doby povrchového odpařování je úbytek vlhkosti přímo úměrný času. Po odpaření většiny povrchové vlhkosti (na druhém pásu) nastává kritický bod (obr. 14 – K) a začne převažovat kapilární odpařování.

8.6.3. Sušicí křivka – zhodnocení

Základním rozdílem při procesu sušení je, že u komorové žaluziové sušárny dochází k vysypání celého objemu sušeného materiálu najednou, tím se dá lépe regulovat doba a průběh sušení. Jednoduše se vysype celý objem vozíků. Naproti tomu u pásové sušárny se upravuje doba sušení změnou rychlosti dopravníků, což má dlouhou odezvu a nelze flexibilně reagovat na změny v procesu sušení. Z tohoto důvodu dochází k většímu přesušení chmele a nižšímu nasycení vzduchu u pásových sušáren.

8.7. Vliv provozních parametrů na měrnou spotřebu energie

Pro zjištění vlivu provozních parametrů na měrnou spotřebu energie byl sestaven teoretický model sušárny. Tento model je shodný pro komorovou i pásovou sušárnu. Proto neslouží k porovnání sušáren, ale k optimalizaci provozu obou technologií. Teoretický model sušárny byl sestaven podle kap. 4. Výhodou modelu jsou (náhodně nebo neúmyslně) neměnné provozní parametry sušárny. Hlavní nevýhodou je, že nepokrývá veškeré aspekty procesu sušení. Tento model nepočítá s žádnou ztrátou, jako je teplo odvedené materiálem, úniky tepla stěnami sušárny do okolí a ztráty tepelného agregátu. Dále počítá s konstantními parametry během sušení. Pohlíží na sušení pouze staticky (zanedbává pochody v hlávkách zejména fixaci vody).

Průměrné parametry pro sušení chmele slouží jako základní nastavení teoretického modelu. Jsou to:

- Teplota nasávaného vzduchu	15 °C
- Relativní vlhkost nasávaného vzduchu	70 %
- Vstupní vlhkost chmele	80 %
- Výstupní vlhkost chmele	10 %
- Sušicí teplota	55 °C
- Relativní vlhkost výstupního vzduchu	80 %

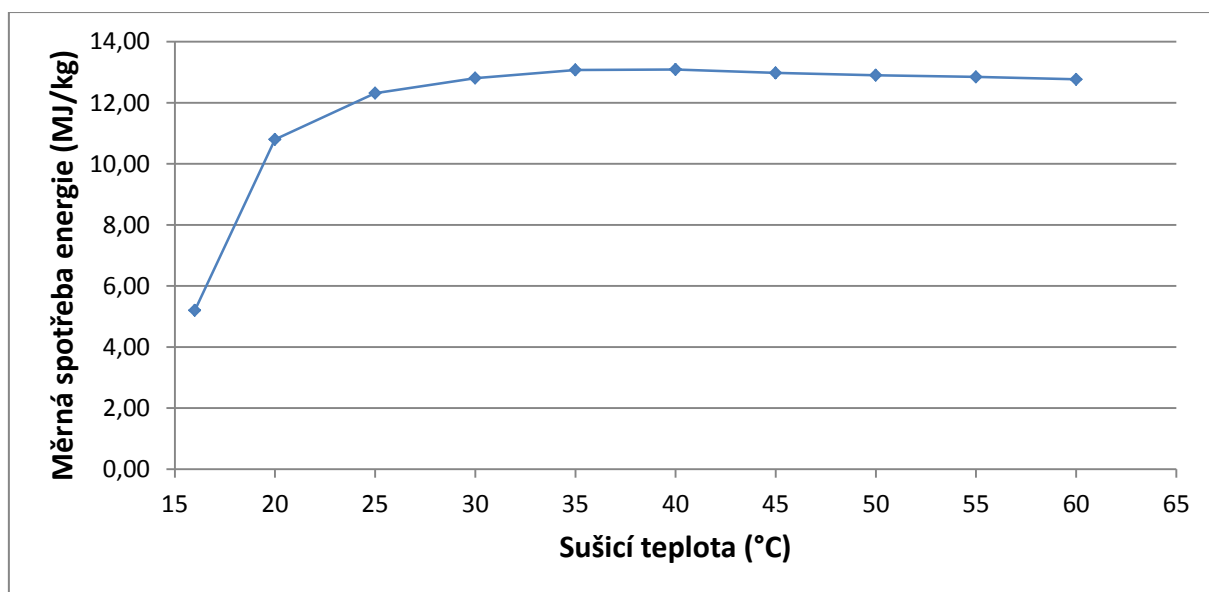
8.7.1. Vliv sušicí teploty na měrnou spotřebu energie

Základním nastavitelným parametrem je sušicí teplota. Ta při protiproudém sušení chmele má zjištěnou maximální hranici 60°C. Nad teplotou 60°C dochází ke snižování kvalitativních parametrů, proto tvoří maximální hodnotu při výpočtu. Minimální hodnota sušicího vzduchu musí být vyšší než teplota nasávaného vzduchu (jinak by se nejednalo o teplotovzdušné sušení) a byla stanovena na 16 °C (Horejsek – Zich, 1990).

V tab. 5 je zjištěný vliv sušící teploty na měrnou spotřebu energie. Tato závislost je graficky zobrazena na obr. 15.

Tab. 5 Vliv sušící teploty na měrnou spotřebu energie.

Vlhkost čerstvého chmele	Požadovaná vlhkost usušeného chmele	Teplota nasávaného vzduchu	Relativní vlhkost n. vzduchu	Sušící teplota	Relativní vlhkost výstupního vzduchu	Rychlost proudění vzduchu sušárnou	Měrná spotřeba energie
%	%	°C	%	°C	%	m/s	MJ/kg
80	10	15	70	60	80	0,100	12,77
80	10	15	70	55	80	0,111	12,85
80	10	15	70	50	80	0,125	12,90
80	10	15	70	45	80	0,145	12,98
80	10	15	70	40	80	0,173	13,09
80	10	15	70	35	80	0,212	13,07
80	10	15	70	30	80	0,273	12,81
80	10	15	70	25	80	0,387	12,31
80	10	15	70	20	80	0,667	10,80
80	10	15	70	16	80	1,584	5,20



Obr. 15 Vliv sušící teploty na měrnou spotřebu energie.

Poslední dvě sušící teploty 20 °C a 16 °C jsou v praxi neuskutečnitelné. Dle mého názoru by nedocházelo k dostatečnému odpařování vody a rychlost proudění vzduchu by zapříčinila, že usušený chmel by byl odnášen proudem vzduchu. Ostatní hodnoty jsou téměř konstantní a drobné rozdíly hodnot jsou nepodstatné (mohou být způsobeny pouze nepřesností výpočtu).

Snížení sušicí teploty má také vliv na snížení tepelných ztrát, a tím i na spotřebu energie. Většina ztrát se vypočítá jako:

$$Z = k \times (t_s - t_o)$$

kde: Z – tepelné ztráty procesu sušení (W)

k – neměnný koeficient představující například tepelnou vodivost stěn sušárny nebo tepelnou kapacitu hmotnosti nahřivaného chmele (W/K)

t_s – sušicí teplota (°C)

t_o – teplota okolí (případně čerstvého chmele) (°C)

Poměr ztrát snížené a původní teploty je vyjádřen vztahem:

$$P_z = \frac{Z_1}{Z_2}$$

kde: P_z – poměr ztrát (-)

Z_1 – ztráty nesnížené sušicí teploty (W)

Z_2 – ztráty snížené sušicí teploty (W)

Po dosazení vzorce ztrát a sušicí teploty snížené na 30°C dostaneme:

$$P_z = \frac{k \times (t_{s1} - t_o)}{k \times (t_{s2} - t_o)} = \frac{\cancel{k} \times (t_{s1} - t_o)}{\cancel{k} \times (t_{s2} - t_o)} = \frac{60 - 15}{30 - 15} = \frac{45}{15} = 3$$

kde: t_{s1} – nesnížená sušicí teplota (°C)

t_{s2} – snížená sušicí teplota (°C)

Měrné tepelné ztráty jsou stanoveny jako:

$$z_q = e_p \times \frac{\eta_A}{100} - e_t$$

kde: z_q – měrné tepelné ztráty (MJ/kg chmele)

η_A – účinnost spalování (%)

e_t – teoretická spotřeba energie (MJ/kg chmele)

Měrná spotřeba energie je převzata z kap. 8.3.2 (20 MJ/kg chmele). Účinnost spalování je 85 % (minimální účinnost dnes vyráběných agregátů) a teoretická spotřeba paliva je převzata z teoretického modelu sušení cca 13 MJ/kg chmele. Po dosazení:

$$z_q = 20 \times \frac{85}{100} - 13 = 4 \frac{\text{MJ}}{\text{kg chmele}}$$

Úspora energie snížením sušicí teploty je:

$$e_u = z_q - \frac{z_q}{P_z} = 4 - \frac{4}{3} = 2,7 \frac{\text{MJ}}{\text{kg chmele}}$$

kde: e_u – měrná úspora energie (MJ/kg chmele)

Relativní vyjádření ušetřené energie je:

$$e_{ur} = \frac{e_u}{e_p \times \frac{\eta_A}{100}} \times 100 = \frac{2,7}{20 \times \frac{85}{100}} \times 100 = 15,9 \%$$

kde: e_{ur} – relativní ušetřená energie (%)

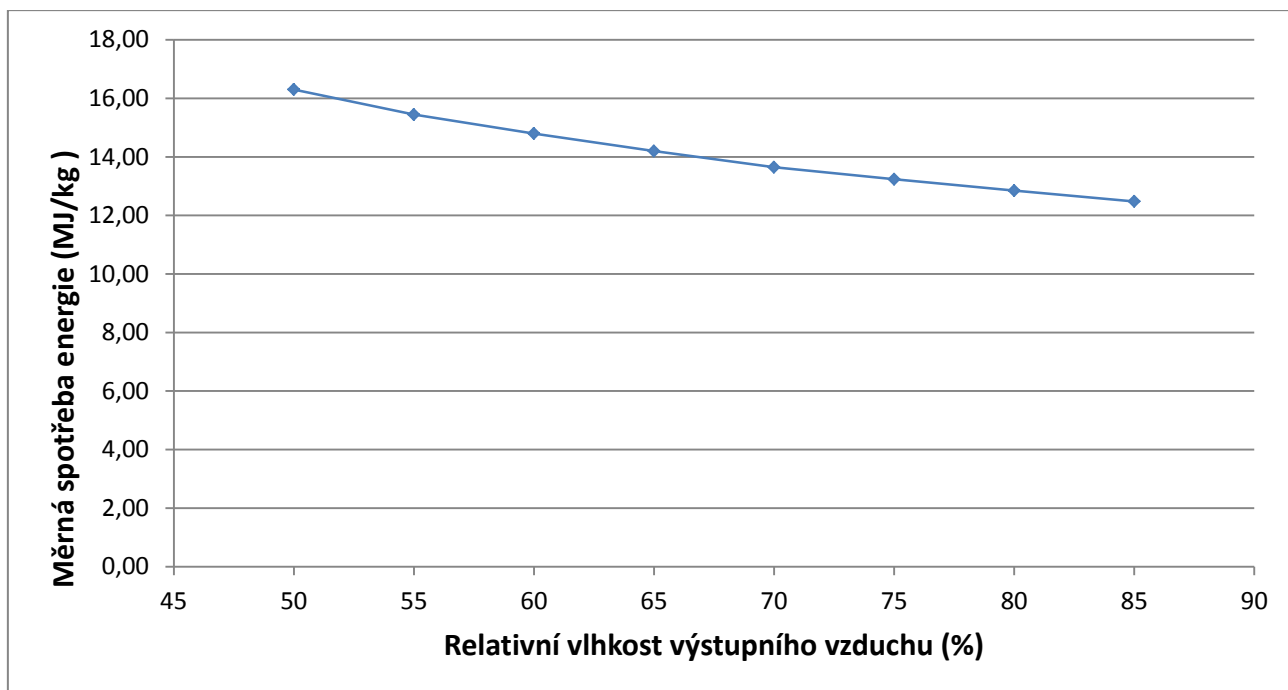
8.7.2. Vliv vlhkosti výstupního vzduchu na spotřebu energie

Dalším nastavitelným parametrem je relativní vlhkost výstupního vzduchu (stupeň nasycení vzduchu odpařenou vodou). Při sušení se nesmí v nejvrchnější sušící vrstvě srážet vlhkost, proto neuvažujeme relativní vlhkost vzduchu nad 85 %. Minimální relativní vlhkost vzduchu je teoreticky stejná jako má ohřátý vzduch, ale při tomto stavu vzduchu nedochází k sušení (odparu vody), proto uvažujeme minimální hranici relativní vlhkosti sušícího vzduchu 50 %.

V tab. 6 je zjištěný vliv relativní vlhkosti výstupního vzduchu na měrnou spotřebu energie. Tato závislost je graficky zobrazena na obr. 16.

Tab. 6 Vliv relativní vlhkosti výstupního vzduchu na měrnou spotřebu energie.

Vlhkost čerstvého chmele	Požadovaná vlhkost usušeného chmele	Teplota nasávaného vzduchu	Relativní vlhkost n. vzduchu	Sušící teplota	Relativní vlhkost výstupního vzduchu	Rychlost proudění vzduchu sušárnou	Měrná spotřeba energie
%	%	°C	%	°C	%	m/s	MJ/kg
80	10	15	70	55	85	0,108	12,48
80	10	15	70	55	80	0,111	12,85
80	10	15	70	55	75	0,114	13,23
80	10	15	70	55	70	0,118	13,65
80	10	15	70	55	65	0,123	14,20
80	10	15	70	55	60	0,128	14,80
80	10	15	70	55	55	0,133	15,45
80	10	15	70	55	50	0,141	16,30



Obr. 16 Vliv relativní vlhkosti výstupního vzduchu na měrnou spotřebu energie.

Z obr. 16 je patrné snížení měrné spotřeby energie v závislosti na relativní vlhkosti výstupního vzduchu.

8.7.3. Vliv sušících parametrů na spotřebu energie - zhodnocení

Z modelu je patrné, že snížení sušící teploty nemá přímý vliv na množství spotřebované energie, ale výpočty bylo dokázáno, že má vliv na množství vzniklých tepelných ztrát. Rozdíl ztrát mezi sušící teplotou 60°C a 30°C je 2,7 MJ/kg chmele, což znamená úsporu energie 15,9 %.

Ze zjištěných hodnot (tab. 6 a obr. 16) je patrný pokles měrné spotřeby energie se zvýšením relativní vlhkosti výstupního vzduchu. Rozdíl mezi 50% a 80% relativní vlhkosti výstupního vzduchu činí 3,82 MJ paliva/kg suchého chmele, což je cca 30% úspora energie.

8.8. Vliv použitého paliva na měrnou cenu energie

V dnešní době vlivem automatizace a regulace hoření je možné využívat netradiční paliva pro sušení chmele. Taková paliva mají příznivé ceny i vliv na životní prostředí. Dále se ceny paliv neustále mění, proto je třeba se jimi zabývat. Bylo vybráno 8 paliv, u kterých byla stanovena měrná cena energie. Vybraná paliva a jejich výhřevnost jsou v tab. 7. Tato paliva jsou použitelná pro pásovou i komorovou sušárnu.

Tab. 7 Výhřevnost a charakteristika vybraných druhů paliv (Výhřevnost paliva, 2015).

Palivo	Výhřevnost	Poznámka
LTO (lehký topný olej)	42,3 MJ/kg	Dnes nejpoužívanější palivo pro sušení chmele.
TTO (topný olej)	40,6 MJ/kg	Alternativa za LTO po úpravě agregátu.
Hnědé uhlí	17,8 MJ/kg	Nejpoužívanější palivo pro sušení chmele před tekutými palivy, ty byly dříve automatizovány. Při výpočtech bylo uvažováno s automatickým spalováním s vysokou účinností.
Obilní sláma	15,5 MJ/kg	Při výpočtech byl uvažován nákup válcových balíků v okolí sušárny.
Obilí	14,5 MJ/kg	Pro spalování lze použít i nekvalitní obilí nebo odpady z čištění obilí vlastní produkce.
Peletky A1	16,5 MJ/kg	Při výpočtech byl uvažován nákup dřevních peletek jakostní třídy A1.
Zemní plyn	33,8 MJ/m ³	Rozšířené palivo pro sušení chmele v místech s plynofikací.
Elektrina	3,6 MJ/kWh	Při výpočtech bylo uvažováno prosté vytápění elektrinou. Nebylo uvažováno využití tepelných čerpadel.

Pro výpočty byla stanovena měrná spotřeba energie 18 MJ/kg chmele. V této energii jsou zahrnuty ztráty při procesu sušení (zejména náhřev materiálu a únik tepla do okolí). Ztráty během spalování jsou uvažovány pro každé palivo zvlášť.

V první části výpočtu bylo stanoveno množství paliva z výhřevnosti paliva, účinnosti spalování a měrné spotřeby energie sušárny (18 MJ/kg).

$$m_p = \frac{H \times \frac{\eta_A}{100}}{e}$$

kde: m_p – množství paliva (kg/kg chmele)

H – výhřevnost paliva (MJ/kg paliva)

e – měrná spotřeba energie sušárny (MJ/kg chmele)

Měrná cena paliva je násobek množství paliva a jednotkové ceny paliva (tab. 8).

$$c_p = m_p \times C_p$$

kde: c_p – měrná cena paliva (Kč/kg chmele)

C_p – jednotková cena paliva (Kč/kg paliva)

Tab. 8 Jednotková cena paliv.

Palivo	Jednotková cena paliva	Poznámka
LTO (leh. topný olej)	21,91 Kč/kg	Cena 1 litru (19,5 Kč) dělená hustotou (0,89 kg/l).
TTO (topný olej)	18,13 Kč/kg	Cena 1 litru (16,5 Kč) dělená hustotou (0,91 kg/l).
Hnědé uhlí	3,00 Kč/kg	Cena uhlí včetně dopravy a manipulace.
Obilní sláma	1,00 Kč/kg	Tržní cena lisované slámy (ve válcovém balíku).
Obilí	3,00 Kč/kg	Výkupní cena krmného obilí.
Peletky A1	5,00 Kč/kg	Nabízená cena od dodavatele.
Zemní plyn	9,80 Kč/m ³	Nabízená cena od dodavatele.
Elektřina	2,50 Kč/kWh	Tarifní cena dodávané energie.

Měrná cena paliva pro vybrané druhy je uvedena v tab. 9, včetně spotřeby jednotlivých paliv.

Tab. 9 Vliv použitého paliva na měrnou cenu energie.

Palivo	Výhřevnost	Spotřeba paliva	Jednotková cena paliva	Účinnost spalování	Měrná cena paliva
	MJ/kg	kg/kg suchého chmele	Kč/kg (m ³ , kWh) paliva	%	Kč/kg suchého chmele
LTO (lehký topný olej)	42,3	0,50	21,91	85	10,97
TTO (topný olej)	40,6	0,52	18,13	85	9,46
Hnědé uhlí	17,8	1,19	3,00	85	3,57
Obilní sláma	15,5	1,37	1,00	85	1,37
Obilí	14,5	1,46	3,00	85	4,38
Peletky A1	16,5	1,28	5,00	85	6,42
Zemní plyn (m ³)	33,8	0,56	9,80	95	5,49
Elektrina (kWh)	3,6	5,00	2,50	100	12,50

Vliv použitého paliva na cenu energie – zhodnocení

Z tab. 9 je patrné, že nejlevnějším palivem pro sušení chmele je obilní sláma, která je pro většinu podniků pěstující chmel dostupná z vlastní výroby v minimální dopravní vzdálenosti od sušáren chmele. Dalším vhodným palivem je hnědé uhlí, obilí a zemní plyn.

Nejdražším palivem pro sušení chmele je elektrina, která není vhodná i z důvodu nízké stability elektrické sítě v době sklizně. Další velmi drahá paliva jsou LTO a TTO.

9. Doporučení

Parametr vlhkost chmele a barva hlávek jsou na srovnatelné úrovni u komorové i pásové sušárny a jejich rozdíl nemá významný ekonomický dopad na proces sušení. Naopak měrná cena paliva, měrné mzdové náklady a variabilita výšky sušicí vrstvy jsou velmi rozdílené. Měrná cena paliva byla o 160% vyšší u pásové sušárny. Měrné mzdové náklady byly o 250 % vyšší u komorové sušárny a variabilita výšky sušicí vrstvy byla o 190 % vyšší u komorové sušárny. Tento rozdíl je ekonomicky podstatný.

U pásové sušárny se nepovedl objektivně zjistit průběh sušicí křivky. U komorové sušárny nedochází k přesušování chmele a dochází k vysokému nasycení vzduchu odsušenou vodou.

Nastavení sušicí teploty a relativní vlhkosti výstupního vzduchu má vliv nejen na spotřebu energie, ale i na výkonnost sušárny. Proto je vhodné nastavení těchto parametrů na ekonomicky optimální hodnoty, při kterých by byla požadovaná výkonnost sušárny.

9.1. Doporučení – komorová sušárna

Komorová sušárna měla o 250 % vyšší měrné mzdové náklady. V jejich snížení má velké rezervy. Snížení mzdových nákladů je možné zvýšením výkonnosti, snížením počtu zaměstnanců a snížením taxy mzdových nákladů.

Snížení taxy mzdových nákladů může mít negativní vliv na kvalitu práce a na zajištění sezonních pracovníků. Z těchto důvodů snížení taxy mzdových nákladů nedoporučuji.

Vhodné a kapacitně možné je zvýšení výkonnosti sušárny až o cca 50% na 45 kg chmele/h. Zvýšení výkonnosti sušárny zvýšením sušicí vrstvy (zvětšením násypu) má pozitivní vliv na variabilitu sušicí vrstvy chmele a tím i na rovnoměrnost vlhkosti usušeného chmele.

I snížení počtu zaměstnanců je vhodné po automatizaci teplovzdušného agregátu a modernizaci výsypu chmele. Modernizace je třeba zaměřit na to, aby výsyp chmele mohl provádět pouze jeden pracovník za minimální čas. Při automatizaci teplovzdušného agregátu je vhodné dbát na možnost spalování alternativních paliv při změně jejich cen.

Měrné mzdové náklady komorové sušárny po aplikaci doporučení jsou:

$$N_{mk} = \frac{n_{zk}}{W_k} \times k_n \times N_{mt} = \frac{1}{45} \times 1,2 \times 100 = 2,7 \frac{\text{Kč}}{\text{kg chmele}}$$

Tato hodnota se velmi přiblížila hodnotě pásové sušárny (2,4 Kč/kg chmele) a vzniklá úspora činí 5,8 Kč/kg chmele.

9.2. Doporučení – pásová sušárna

Pásová sušárna má o 160 % vyšší měrnou cenu paliva. V jejím snížení má velké rezervy. Snížení měrné ceny paliva je možné snížením měrné spotřeby energie a ceny paliva.

Snížení měrné spotřeby energie je možné snížením tepelných ztrát a zvýšením nasycení vlhkosti výstupního vzduchu. Tato opatření nemohou být tak účinná, aby se měrná cena paliva vyrovnala komorové sušárně. Proto je vhodnější snížit cenu paliva.

Cenu LTO nemůže pěstitel výrazně ovlivnit. Proto při snižování měrné ceny paliva se musí změnit druh paliva. Nejlevnějším z vybraných paliv je obilní sláma, kterou pěstitel sám produkuje a prodává do spalovny. Při změně paliva z LTO na obilní slámu dojde k úspoře na palivu 9,6 Kč/kg chmele.

Další alternativou za LTO výhodnou pro pěstitele je samotné obilí z vlastní produkce. Při změně paliva z LTO na obilí dojde k úspoře na palivu 6,59 Kč/kg chmele.

10. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na porovnání komorové a pásové sušárny. Zjištěné hodnoty byly dále zpracovány a u rozdílných výsledků byly navrženy opatření směřující k zefektivnění procesu sušení. Porovnání se soustředilo na vlhkost a barvu usušeného chmele, cenu paliva a mzdových nákladů, výšku sušicí vrstvy a její rovnoměrnost a sušicí křivku.

Kvalitativní parametry sušeného chmele byly téměř shodné u obou typů sušáren. Naopak tomu bylo u ceny paliv a mzdových nákladů, které se velmi lišily. Měrná cena paliva byla o 160 % vyšší u pásové sušárny a měrné mzdové náklady byly o 250 % vyšší u komorové sušárny

Pro další zefektivnění procesu sušení byl zkoumán vliv vybraných parametrů na proces sušení a vliv vybraných paliv na cenu energie. U zkoumaných parametrů byly zjištěny úspory až několik desítek procent. Zjišťované měrné ceny paliv se velmi výrazně lišily v závislosti na druhu paliva. Z výpočtů vyplývá jako nejvhodnější palivo obilní sláma, kterou si většina pěstitelů produkuje a někteří ji dokonce prodávají do spaloven, kam se intenzivněji zpracovává a dopravuje se na větší vzdálenosti. Z těchto důvodů si myslím, že využívání obilní slámy a podobných paliv brzy částečně nahradí LTO.

Prověření vlivu provozních parametrů na spotřebu energie v provozních podmínkách z časových důvodů neproběhlo, ale bylo by to velmi vhodné i s ohlednutím na výkonnost sušárny. Dále by bylo vhodné provést podobné porovnání sušení po aplikaci doporučení a s více sušárnami.

Tato práce má poukázat na rozdílnost procesu sušení chmele na komorové a pásové sušárny a najít určitá optima během sušicího procesu.

Zdroje informací

- HANOUSEK, B – RYBKA, A – BERNÁŠEK, K.: Hodnocení práce česačky chmele PT 30/15 a sušení chmele v pásové a komorových sušárnách v r. 2007. Ekonomicko-technologický seminář k problematice pěstování chmele. 2008, ISBN 978-80-86836-39-3.
- HOREJSEK, J. – ZICH, M.: Chmelařství. 1. vyd. Praha: SZN, 1990, 285 s. Rostlinná výroba (Státní zemědělské nakladatelství). ISBN 80-209-0125-6.
- JECH, J. et al. Stroje pre rastlinnú výrobu 3: stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie. Vyd. 1. Praha: Profi Press ve spolupráci so Slovenskou poľnohospodárskou univerzitou v Nitre, 2011, 359 s. ISBN 978-80-86726-41-0.
- KROFTA, K. – RYBKA, A.: Inovace sušení chmele je předmětem řešení nového výzkumného projektu. Chmelařství. 2015, 3, 31-33. ISSN 0373-403x.
- Tržní řád. Svaz pěstitelů chmele, [online]. [cit. 2015-5-11] dostupné z http://www.czhops.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=69&Itemid=69&lang=cs
- Výhřevnost paliva. TZB – info, [online]. [cit. 2015-5-11] dostupné z <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>

Seznam obrázků

Obr. 1 Technologické schéma pásové sušárny chmele s klimatizací	4
Obr. 2 Modernizovaná komorová lísková sušárna s klimatizací.....	6
Obr. 3 Komorová vsázková sušárna	7
Obr. 4 Hmotnostní toky v procesu sušení.	8
Obr. 5 Adiabatické vlhčení sušícího vzduchu v i-x diagramu vlhkého vzduchu	9
Obr. 6 Izotermický ohřev sušícího vzduchu v i-x diagramu vlhkého vzduchu.....	10
Obr. 7 Komorová sušárna chmele, na které proběhlo měření	13
Obr. 8 Pohled na stěnu sušící komory	16
Obr. 9 Vzorky chmele při porovnávání barvy hlávek	19
Obr. 10 Výška sušící vrstvy.....	25
Obr. 11 Naměřené hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele v závislosti na čase sušení	27
Obr. 12 Průběh vlhkosti chmele v závislosti na době sušení	28
Obr. 13 Závislost relativní vlhkosti W (%) a teploty T (°C) sušícího vzduchu i vlhkosti chmele na čísle přístupového okna pásové sušárny PSCH-325	29
Obr. 14 Průběh vlhkosti chmele v závislosti na čísle přístupového okna	30
Obr. 15 Vliv sušící teploty na měrnou spotřebu energie.	32
Obr. 16 Vliv relativní vlhkosti výstupního vzduchu na měrnou spotřebu energie.....	36

Seznam tabulek

Tab. 1 Kvalitativní znaky sušeného chmele – požadavky odběratelů (Tržní řád, 2015).	11
Tab. 2 Naměřené hodnoty spotřeby paliva a výkonnosti sušárny.	20
Tab. 3 Výška chmelové vrstvy.	25
Tab. 4 Naměřené hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu a vlhkosti chmele v závislosti na čase sušení.	27
Tab. 5 Vliv sušící teploty na měrnou spotřebu energie.	32
Tab. 6 Vliv relativní vlhkosti výstupního vzduchu na měrnou spotřebu energie.....	35
Tab. 7 Výhřevnost a charakteristika vybraných druhů paliv (Výhřevnost paliva, 2015).....	37
Tab. 8 Jednotková cena paliv.	38
Tab. 9 Vliv použitého paliva na měrnou cenu energie.	39