



Chmelařský institut s. r. o.

SUŠENÍ CHMELE NA PÁSOVÝCH SUŠÁRNÁCH

Jiří Kořen a kol.



METODIKA PRO PRAXI

9/08



Chmelařský institut s. r. o.



SUŠENÍ CHMELE NA PÁSOVÝCH SUŠÁRNÁCH

METODIKA PRO PRAXI 9/2008

Jiří Kořen a kol.

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



SUŠENÍ CHMELE NA PÁSOVÝCH SUŠÁRNÁCH

Metodika pro praxi 9/2008

VEDOUcí AUTORSKÉHO KOLEKTIVU

Ing. Jiří Kořen, Ph.D.

AUTOŘI:

Ing. Václav Ciniburk

Ing. Jiří Kořen, Ph.D.

Ing. Jan Podsedník

Doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Ing. František Veselý, CSc.

RECENZENTI:

Prof. Ing. Václav Fric, DrSc.

Ing. Markéta Altová, Ministerstvo zemědělství ČR

JAZYKOVÁ ÚPRAVA:

Patricie Buchtová

© Chmelařský institut s.r.o., 2008

ZPRACOVAL: Petr Stuna

VYDAVATEL: Časopis Chmelařství
Petr Svoboda

ISBN 978-80-86836-54-6



OBSAH

SUŠENÍ CHMELE NA PÁSOVÝCH SUŠÁRNÁCH

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Cíl metodiky a dedikace | 4 |
| 2. | Vlastní popis metodiky | 4 |
| 2.1. | Přehled vývoje pásových sušáren | 5 |
| 2.2. | Sušení chmele v pásových sušárnách | 11 |
| 2.3. | Klimatizace chmelových hlávek | 26 |
| 3. | Srovnání novosti postupů | 28 |
| 4. | Závěr a popis uplatnění metodiky | 29 |
| 5. | Seznam použité související literatury | 29 |
| 6. | Seznam publikací, které předcházely metodice | 30 |
| 7. | Souhrn | 30 |
| 8. | Abstract | 30 |
| 9. | Přílohy | 31 |
| 10. | Slovník pojmů | 37 |



1. CÍL METODIKY A DEDIKACE

Metodika byla zpracována a realizována v rámci řešení projektu v programu MPO – IMPULS, číslo projektu FI-IM2/152, název projektu „Výzkum a vývoj techniky a technologie sklizňového procesu a posklizňové úpravy chmele“.

Horkovzdušné sušení, které bylo realizováno na komorových sušárnách od druhé poloviny 19. století, mělo vedle pozitivního dopadu na proces sklizně i jisté nevýhody. Hlavní nevýhodou bylo to, že se jednalo o tzv. rázové sušárny, kdy jejich zaplňování mohlo být realizováno až v určitém časovém odstupu po očesání. Předpokládalo to hromadění očesaného chmele. Minimální doba skladování chmele v čerstvém stavu byla dána kapacitou komorových sušáren a pohybovala se na hranici od dvou hodin často až po vytvoření celonoční zásoby. Očesaný chmel byl stále živým rostlinným organismem provázeným základními životními pochody, především intenzivním dýcháním, jehož důsledkem bylo zvyšování teploty, a hromaděním uvolněné vlhkosti v mase skladovaného chmele. Při ručním česání bylo poškození chmelových hlávek relativně malé, avšak při prodlužující se době skladování nastávalo znehodnocování kvality jevem, který byl označován jako zapařování. Tato situace se velice zvýraznila zavedením strojního česání, kdy stupeň poškození chmelových hlávek byl několikanásobně vyšší a takto očesaný chmel si vyžádal rychlý proces sušení.

Projekt byl řešen ve Chmelařském institutu s.r.o. v Žatci, spoluřešitelská pracoviště: ČZU Praha – Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů a Chmelařství, družstvo Žatec – závod Mechanizace.

2. VLASTNÍ POPIS METODIKY

Snaha o zavedení kontinuálně zaplňovaných sušáren se objevila v období mezi oběma světovými válkami. V našich podmínkách to byla především tunelová sušárna vybudovaná na statku v Tuchořicích u Žatce (Blaskeova sušárna).

Princip této sušárny spočíval v naplňování mobilních lísek, postupujících vytápěným tunelem. Za dobu průchodu byl chmel vysušen. Tato sušárna byla zlikvidována začátkem padesátých let minulého století.

Dalším typem kontinuálně pracující sušárny byla firmou Janka Radotín navržená jedenáctipásová sušárna, která byla instalována na hospodářství pana Pihrta v Pnětlukách u Loun. Provozní zkoušky této sušárny vyzněly negativně, a proto bylo od dalšího vývoje kontinuálně pracujících sušáren upuštěno.



2.1. PŘEHLED VÝVOJE PÁSOVÝCH SUŠÁREN

2.1.1. První etapa budování pásových sušáren

Mechanizované, tzv. strojní česání bylo nezbytností v poválečném období a vyústilo v dovoz česacích strojů anglické výroby v roce 1956 a v následnou výrobu česacích strojů tuzemské provenience. V této etapě se znovu objevil požadavek na kontinuálně pracující sušárnu.

Na světovém trhu se objevila nabídka pásové sušárny od německé firmy Binder & Bürgmayer, inzerovaná pro sušení listové zeleniny a také vhodná pro sušení chmele, která byla instalována na farmě Státního statku v Břežanech u Žatce v roce 1959. Po dvou letech zkušebního provozu bylo rozhodnuto o vhodnosti tohoto typu sušárny pro sušení chmele. Pro některé nevýhody této sušárny (topeniště na naftu) bylo přistoupeno k tuzemské výrobě pásových sušáren v závodě na výrobu vzduchotechnických zařízení v Milevsku, odkud byly první sušárny dodány pro sklizeň chmele v roce 1961 (bylo vyrobeno 10 kusů).

Od uvedeného termínu se datuje tuzemská výroba pásových sušáren. První série byla poznamenána vážnými technickými problémy. Především to byly nedostupné základní technické prvky v konstrukci těchto sušáren. Jednalo se o šíři pásů potřebných pro tento typ sušáren (šíře 300 cm) a typ vhodného topeniště. Bylo rozhodnuto použít dostupné šíře pásů na domácím trhu 150 cm a jejich zdvojení v každém patře sušárny. Jako vhodné topeniště byl zvolen typ Roučkova kotle na hnědé uhlí.

Vzhledem k akutní potřebě budování kontinuálně pracujících sušáren bylo rozhodnuto vyrobit 10 kusů prototypových sušáren, které měly být dodány do provozu v roce 1961.

Po zkouškách v prvním roce provozu se projevíly některé vážné konstrukční nedostatky, které si vyžádaly zásadní řešení (náhrada dělených pásů, jiné řešení topeniště). Zvláštností konstrukce těchto sušáren bylo vybavení tzv. recirkulací vzduchu, umožňující část odváděného vzduchu ze sušárny vyznačujícího se teplotou 40–45 °C vracet do sušicího procesu. Výkon těchto sušáren dle prvních provozních zkoušek, které byly realizovány ve Svojetíně, Ročově a částečně ve Stekníku, byl stanoven na 325 kg čerstvého chmele. Sušárny dostaly označení PSCH 325.

Další vývoj těchto sušáren pokračoval vybavením dováženými pásy o šíři 300 cm a novým topeništěm na naftu a LTO (Strojírny Kolín), instalovaným v roce 1962 v Očihově a v roce 1963 v Čítolibeč. Tyto sušárny byly zkoušeny i pro sušení jiných plodin (vojtěška, osiva, cukrovarské rízky).



2.1.2. Přechodná etapa budování pásových sušáren

Další tuzemská výroba těchto sušáren byla pozdržena a jako náhradní typ k nám byly dovezeny kontinuálně pracující sušárny jugoslávské výroby Vojvodianka SH 200, které se u nás ujaly pod označením dle místa výroby Čačak. Jejich předností bylo, že nepotřebovaly instalaci do zastřešené budovy a byly vybaveny topeništěm na LTO.

Požadavky na kontinuálně pracující sušárny stále narůstaly a vyústily v nový typ původně označený PCHA 375. Úpravou se zvýšila výkonnost na $500 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$. Podstatnou odlišností byla náhrada tří odsávacích ventilátorů jedním radiálním odsávacím ventilátorem a zrušení recirkulace vzduchu, která se projevila škodlivými účinky na kvalitu sušení.

Dalším inovačním prvkem byla instalace kontinuálně pracující klimatizační komory. Tímto typem sušárny, který se ukázal jako velice úspěšný, končí první etapa budování pásových sušáren. V této konkurenci neobstály sušárny Vojvodianka SH 200, jejichž dovoz byl zastaven.

2.1.3. Druhá etapa v budování pásových sušáren

Další, druhá generace pásových sušáren byla koncipována výkonnostními typy PCHB 375 K, PCHB 500 K a PCHB 750 K. Z této řady byla nejvíce zastoupena sušárna PCHB 750 K, která se nejlépe osvědčila a byla vyvážena i do zahraničí.

V této době také byla zastavena výstavba komorových sušáren a pásové sušárny se staly dominantním zařízením při sklizni chmele. Během jejich výroby byly uplatněny drobné inovační prvky.

Tato etapa je v současné době označována jako druhá etapa pásových sušáren.

2.1.4. Třetí etapa budování pásových sušáren

Třetí generace pásových sušáren je odvozena od výsledku experimentálních zkoušek prototypu sušárny s klimatizací PCHC 750 K v roce 1976 v Kněževsi u Rakovníka. Jedná se o typ sušárny zkrácený o tři články.

V této době výrobce česacích strojů deklaroval zvýšenou výkonnost česacích linek, což se projevilo i v požadavku na zvýšenou výkonnost sušáren. Byla vyprojektována sušárna PCHC 900 K.

U těchto typů sušáren bylo využito intenzifikačních výkonnostních prvků. To se dotýkalo zvýšení vrstvy sušeného chmele na všech pásech, zejména však na prvním. Zvýšenou vrstvu umožnilo zavedení tzv. obchozu přívodu teplého vzduchu z topeniště,



dovolující použití vyšší teploty sušení na prvním pásu. Intenzifikace těchto sušáren byla provázena konstrukčními úpravami teplovzdušného agregátu vložení turbulентních vložek do výměníku, snížením teploty spalin odváděných do komína a doprovázených kontrolním systémem.

Do třetí etapy nutno řadit rekonstrukce dříve vybudovaných sušáren, spočívající v intenzifikaci sušení především na prvním pásu. V průběhu doby používání pásových sušáren se potvrdily limitní teploty sušení obdobné i pro komorové sušárny. Určité zvýšení teploty (o 3–5 °C) bylo možné využít za určitých kontrolních podmínek u prvního pásu a šlo ho realizovat pouze u sušáren vybavených tzv. obchozem.

Další možnosti intenzifikace byly dány promícháním vrstvy sušeného chmele průchodem na prvním pásu. Byly zkoušeny instalace různých typů pohrabovačů, které nebyly úspěšné. Nejúčinněji se uplatnilo dělení prvního pásu umožňující dokonalé promíchání a převrácení vrstvy sušeného chmele, a tím zvýšený odvod uvolněné vlhkosti chmele.

Tyto úpravy byly realizovány na pásových sušárnách v Liběšicích, Chotiněvsi, Lubenci a Drahonicích. Lze uvést, že tímto řešením byl docílen výkon ze 750 kg.h⁻¹ bezpečně nejméně na 900 kg.h⁻¹.

2.1.5. Čtvrtá etapa budování pásových sušáren

Čtvrtou etapu pásových sušáren označujeme jako TPD – K. Jedná se o typ sušárny určené pro velká sklizňová střediska, která byla vybudována v jediném exempláři v roce 1983 a 1984 na účelovém hospodářství ve Stekníku. Má dvakrát dělený první pás a specifickou úpravu vzduchotechniky.

Byla projektována pro výkon 1500 kg.h⁻¹ a má řadu intenzifikačních možností. Projektovaný výkon výrazně převyšuje a lze uvést, že naplňuje představy moderního sušárenství, včetně inovačních představ a ekonomických parametrů.



2.1.6. Přehled typů pásových sušáren v jednotlivých etapách

Na závěr této části uvádíme přehledné shrnutí odlišností a technologických parametrů jednotlivých typů pásových sušáren:

| 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: 12 – 18 – 27 cm/ ^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: 15 – 22 – 34 cm |
| 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: 25–30/37–45/56–67 cm. |
| IV. | Od roku 1983 | TPD – K | Určeno pro velká sklizňová střediska, dvakrát dělený první pás, specifické řešení vzduchotechniky, výška vrstvy na pásech: 35–40/52–60/78–90 cm |

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



2.1.7. Společné znaky těchto sušáren:

Šíře sušicího tunelu byla dimenzována na šíři pásů 300 cm.

- Rozdílná rychlost posunu pásů. Nejvyšší rychlost je u prvního nejvýše instalovaného pásu, snižuje se u druhého a třetího. Tímto způsobem se řeší zvýšená vrstva chmele u druhého a třetího pásu. Původně závislý pohon všech tří pásů je nahrazen samostatným posunem pro podávací a první pás a společným posunem pro druhý a třetí pás. Odkoušeny byly i další varianty (samostatný posun každého pásu, společný posun podávacího, prvního a druhého pásu).
- Limitujícím parametrem byla výška vrstvy a doba sušení na prvním páse. Minimální doba sušení na tomto páse, zabezpečující dostatečný odsušek 30 % vlhkosti, byla 60 minut.
- Základním parametrem u dobře vyzrálého chmele je maximální přípustná teplota vzduchu přiváděného do sušárny od teplovzdušného výměníku 60–65 °C. Začátkem sklizně (začátek technologické zralosti) je doporučena teplota 55 °C.
- Řešením bočního přivodu teplého vzduchu do sušárny je docíleno rovnoměrné teploty sušení v celém prostoru sušicího tunelu.
- Zařazením klimatizačního tunelu za sušárnu je docíleno kontinuálního procesu celé sklizně, umožňujícího přímé lisování do pěstitelských obalů a odstraňujícího skladování volně loženého suchého chmele.

2.1.8. Současné problémy inovace procesu sušení na pásových sušárnách

Pásové sušárny chmele patří do skupiny tzv. křížových sušáren – směr pohybu chmelových hlávek sušárnou je kolmý na proudění sušicího vzduchu. Výhodou je, že sušený materiál je trvale v kontaktu s horkým sušicím vzduchem s nízkou relativní vlhkostí.

Rychlost sušení, a tím výkon sušáren, je v tomto případě nejvyšší ve srovnání s jinými typy sušáren. Lze dosáhnout velmi nízké konečné vlhkosti chmelových hlávek, které jsou přitom usušeny relativně rychle.

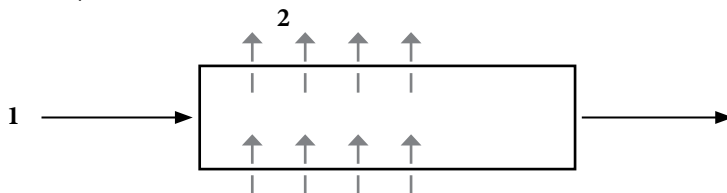


Schéma pásové křížové sušárny

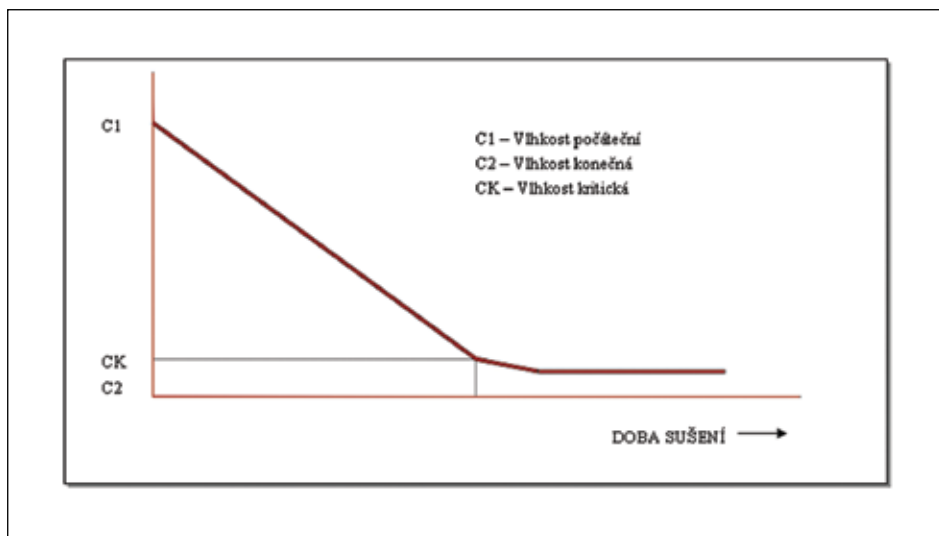
- 1 – směr pohybu sušeného materiálu
- 2 – směr proudění sušicího vzduchu



Při sušení chmele je prvotním cílem dosažení požadované vlhkosti a udržení kvality, zároveň jsou však kladeny požadavky na ekonomiku provozu, automatizaci a průběžnou kontrolu celého procesu. Při sušení v pásové sušárně, popř. i v klimatizační komoře, nemůže být průběžně měřena skutečná vlhkost chmele, je však možné použití teplotních a vlhkostních čidel nad vrstvou sušeného chmele.

Spolu s měřením vlhkosti kontrolních odebíraných vzorků chmele tak lze plynule sledovat celý sušicí proces.

Obecný průběh sušení chmelových hlávek



Z průběhu sušicí křivky je zřetelný nejrychlejší pokles vlhkosti na prvním pásu a nejnižší na třetím pásu. Na tomto principu byl také založen intenzifikační proces zdokonalování těchto sušáren. Pokud jde o 1. pás, byly hledány cesty rychlejšího odparu dokonalejším odvodem uvolněné vlhkosti (různé typy pohrabovačů). Jako nejvhodnější se projevil způsob děleného pásu, umožňující převrstvení zahřáté vrstvy sušeného chmele.

Druhá cesta intenzifikace sušení na prvním pásu vedla k využití vyšší teploty cca o 3–5 °C zařazením tzv. obchozu teplého vzduchu z topeniště. Obě řešení vedla ke zvýšenému výkonu sušáren až o 20 % tak, že u nejrozšířenějšího typu o výkonnosti 750 kg.h⁻¹ bylo docíleno výkonnosti až na úroveň 900 kg.h⁻¹.

Další problém ve zvyšování výkonnosti a intenzifikace sušicího procesu, úzce související s celou ekonomikou, se týká třetího pásu. Tam se dostává chmel o vlhkosti cca 10 % a za dobu přibližně 180 minut vlhkost chmele klesne na 5–7 %, tj. ze stupně



vysušení „na stopku“ postoupí vysušení „na věténko“. Objektivní důvody vedoucí k tomuto požadavku jsou v heterogenitě sklízeného materiálu, kde se setkáváme s velikostí chmelových hlávek od 1 do 5 cm. Nejsložitější součástí hlávky z hlediska sušárenského je věténko hlávky, které je vysušeno až na závěr celého procesu a je nositelem relativně vysoké vlhkosti.

Při vysušení na vyšší vlhkost („na stopku“) je tato zdrojem nežádoucích procesů ve slisovaném chmelu, které se projeví nejprve ztrátou lesku hlávek a mohou vést až k procesu samozahřívání (záleží na podílu různých velikostních skupin hlávek).

2.2. SUŠENÍ CHMELE V PÁSOVÝCH SUŠÁRNÁCH

2.2.1. Základy sušení

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

Rychlost proudění a teplotu sušícího vzduchu lze regulovat. Tím je regulována i vlhkost sušených hlávek. Pro přenos energie na povrch hlávek se používá zahřátý vzduch (konvekce). Přenos energie uvnitř hlávek probíhá kondukcí. Voda je desorbována sušícím vzduchem na povrchu, ustaví se gradient vlhkosti a molekuly kapalně vody difundují na povrch. Profily teploty a vlhkosti hlávek určují rychlost difuze kapalně vody na povrch.

Teplota vzduchu, vlhkost a koncentrace vody na povrchu hlávek určují rychlost desorpce vody. Jestliže rychlost odpařování vody z povrchu nepřekročí rychlost difuze kapalně vody k jejich povrchu, je rychlost celkově sušení konstantní. Jestliže rychlost difuze klesá pod hranici rychlosti desorpce, stává se hraničním dějem sušení difuze a nastupuje období klesající rychlosti sušení. Experimentální naměřené sušící křivky jsou důležité pro hodnocení kinetiky sušení.

Závislost rychlosti sušení na jeho době je možno rozdělit na dvě části – období s konstantní rychlostí sušení a období s klesající rychlostí sušení. U období s konstantní rychlostí je hnací silou výměny vodní páry mezi hlávkou a vzduchem rozdíl parciálních tlaků (tlak syté páry nad čistou kapalinou mínus parciální tlak páry v hlavním proudu vzduchu). Musí být v rovnováze pronikání vody na povrch sušeného chmele a vlhkost proudícího vzduchu. Během tohoto období sušení se uvnitř sušené hlávky vytvoří spád vlhkosti klesající směrem k povrchu. Po určité době klesne obsah vody natolik, že se nestačí dodávat k povrchu tolik vody, kolik je jí schopen vzduch odpařit. Rychlost odpařování začne klesat a teplota povrchu hlávky stoupat (dávka tepla ze



vzduchu zůstává stejná, ale na odpaření vlhkosti se jí spotřebuje méně). Tento okamžik nastává při poklesu vlhkosti na hodnotu CK (kritická vlhkost). Je potřeba, aby kritická vlhkost byla co nejmenší, po ní začíná rychlost sušení rychle klesat. Kritická vlhkost je tím větší, čím větší je rychlost sušení a čím menší je specifický povrch hlávek (hlavně dle odrůd).

Proto je zapotřebí pokusně zjistit sušicí závislost za stejných podmínek. Abychom dosáhli co nejmenší kritické vlhkosti, je třeba rychlost sušení během cyklu měnit (změnit vlastnosti sušícího vzduchu – teplotu a vlhkost). Rychlost sušení za kritickou vlhkostí (za klesající rychlosti sušení) závisí výhradně na toku kapaliny uvnitř sušeného chmele. Se zvýšením teploty sušícího vzduchu se zvyšuje rychlost desorpce vody z povrchu sušených hlávek a výsledkem toho je vyšší gradient vlhkosti uvnitř. Protože vysoký vnitřní gradient vlhkosti může způsobit praskliny nebo dokonce zlomky lupulinových zrn, je důležité znát hraniční teplotu sušení.

Celý průběh sušení lze rozdělit na tři základní časové úseky:

2.2.1.1. Počátek sušení

Jakmile vznikne gradient teploty, začne se chmelová hlávka ohřívat z počáteční teploty. Zároveň se z povrchu hlávek odpařuje vlhkost, neboť existuje gradient koncentrace vlhkosti na styku povrchu hlávek a vzduchu. Vlhkost povrchu hlávek klesá, ale odpařování vody zpomaluje jejich ohřev, protože na odpařování se spotřebovává teplo dodávané ze sušícího vzduchu.

Počáteční období je poměrně krátké. Rychlost sušení závisí na teplotě, vlhkosti a hmotnostním průtoku vzduchu.

2.2.1.2. Konstantní rychlost sušení

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



2.2.1.3. Klesající rychlost sušení

Po dosažení kritického bodu přestane být povrch hlávek vlhký, do styku se vzduchem se dostanou suché části jejich povrchu a rychlost sušení se začne snižovat. Obsah vlhkosti, při kterém nastává počátek poklesu rychlosti sušení, se nazývá kritická vlhkost. Na povrch listenů hlávky se musí vlhkost teprve dostávat difúzí zevnitř vřetenka.

Rychlost sušení závisí na tom, jakými silami je vlhkost v hlávkách vázána (ovlivněno velikostí pórů, hygroskopickým povrchem). Hlávky se začnou ohřívat nad teplotu vlhkého teploměru. Klesá rozdíl teplot mezi vzduchem a hlávkou, a tím i sdílení tepla.

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

Křivku sušení je nutné téměř vždy pro různé podmínky sušení stanovit experimentálně!

2.2.2. Faktory ovlivňující sušení chmele

Průběh sušení chmelových hlávek ovlivňují především tyto faktory:

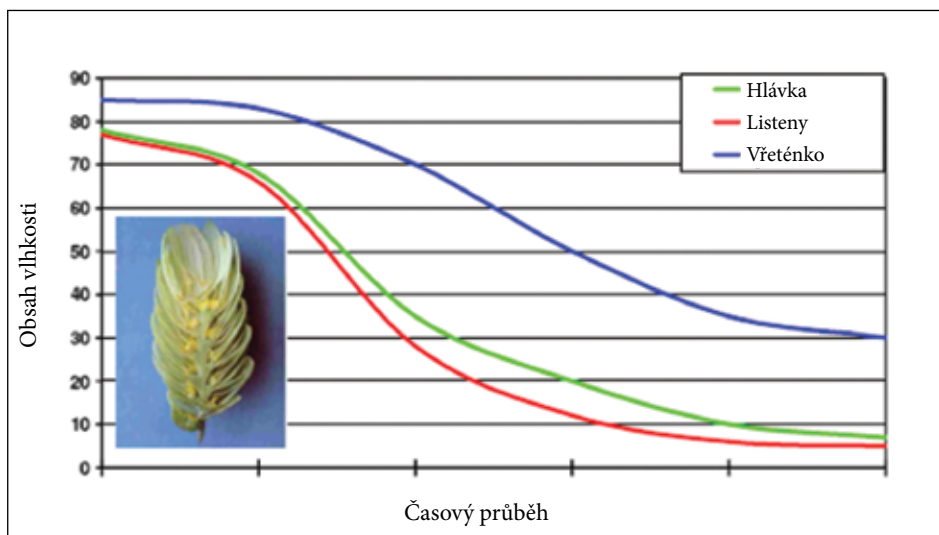
- a/ **Vlhkost chmelových hlávek** – mění se podle odrůdy chmele, vyzrálosti hlávek, denní doby stržení rév, případně navlhčení hlávek po deštových srážkách.
- b/ **Teplota a vlhkost vzduchu** – teplota vzduchu a relativní vlhkost významně ovlivňují průběh sušicího procesu. Je to velmi důležité při změně počasí v průběhu sklizně, kdy zvláště v závěru sklizňového období klesají ranní teploty a zvyšuje se relativní vlhkost vzduchu.
- c/ **Teplota sušicího vzduchu** – podle vstupních podmínek (z předchozích bodů) lze regulovat sušení korigováním teploty sušicího vzduchu, popř. u sušáren s možností regulace otáček ventilátoru i nastavením množství a rychlosti vzduchu. Nižší teplota by měla být v začátku sklizně, kdy ještě nejsou všechny hlávky v technologické zralosti.
- d/ **Rychlost pásů v sušárně** – lze tak regulovat celkovou dobu sušení hlávek (opět v závislosti podmínek podle předchozích bodů a, b).

ad a/ Vlhkost chmelových hlávek

Chmelové hlávky před sušením mají obsah vody v rozsahu 75–85 % s různým podílem vlhkosti vřetenka a listenů podle odrůdy a velikosti hlávek. Konečný obsah vlhkosti hlávek před klimatizací by měl být v rozsahu 7–9 %.



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



Je důležité sladit výkon česacích strojů tak, aby sklizené hlávky byly ihned přesunuty do násypky sušárny, nebo do tzv. mezizásobníků s provzdušňováním celého profilu hlávek. Zamezí se tak jejich zapaření s následkem ztráty barvy a lesku, popř. i silnějšího poškození. Stavba chmelové hlávky není pro průběh sušení právě příznivá. Listeny hlávky mají v poměru k jejich hmotnosti velký povrch a menší obsah vlhkosti. Vřeténko s vyšším obsahem vlhkosti má nepoměrně malou plochu, je navíc kryté listeny, a tím nemá sušící vzduch bezprostřední přístup pro odběr vlhkosti. Proto listeny vysychají značně rychleji než vřeténko. Při sušení musí vlhkost z vřeténka postupovat kapilárním systémem do listenů. Velké rozdíly ve stavbě a velikosti hlávky, včetně uspořádání listenů podle jednotlivých odrůd, tak ztěžují postup sušení.

Např. podíl vřeténka z celkové hmotnosti hlávky v technologické zralosti je u odrůd jemného aromatického chmele v průměru 8–12 % podle velikosti hlávek, kdežto u vysokoobsažných odrůd je tento podíl jen 6–8 %. Jestliže po usušení je obsah vlhkosti v celých hlávkách na úrovni 8–10 %, mají samotné listeny jen 5–6 % vlhkosti, ale vřeténko může mít ještě vlhkost až 30 %. Proto má hmotnostní podíl vřeténka velký vliv na následný prostup vlhkosti při klimatizaci hlávek.

ad b/ Teplota a vlhkost vzduchu

Obdobný vliv na průběh sušení má teplota a relativní vlhkost vzduchu – ovlivňují možnost odběru vlhkosti z hlávek sušícím vzduchem. Tyto hodnoty se výrazně mění



v průběhu dne, přesto i při nižší teplotě má vzduch nasávaný do výměníku po ohřátí dostatečnou schopnost odebrat vlhkost hlávek. Jak se může měnit možnost odebrání vlhkosti, ukazuje následující tabulka.

Vlhkost vzduchu – vliv na možnost odsušení vlhkosti

| 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 g |
| Nasávaný vzduch - odpoledne | 25 °C | 40 % | 9,3 g | 21,2 g |
| Nasávaný vzduch - před bouřkou | 25 °C | 80 % | 21,0 g | 9,5 g |
| Odsávaný vzduch ze sušárny | ≈ 30 °C | 100 % | 30 g | 0 g |

ad c/ Teplota sušicího vzduchu

Teplota sušicího vzduchu je nevhodnější v rozsahu cca 58–62 °C, krátkodobě (při vysoké vlhkosti hlávek po dešťových srážkách) lze teplotu zvýšit na 65 °C. Teplota je velmi důležitý parametr pro uchování vůně, barvy a lesku hlávek.

Při vyšších teplotách může dojít k praskání lupulinových zrn, a tím jejich znehodnocení!

Následující příklad uvádí vzor výpočtu množství sušicího vzduchu:

Parametry sušicího vzduchu – vstup do sušárny

Teplota $t_{A0} = 60 \text{ °C}$

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

(určeno z Mollierova h – x diagramu vlhkého vzduchu)



Parametry sušicího vzduchu – výstup ze sušárny

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

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

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

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

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

ad d/ Rychlost pásů v sušárně

Ovlivnění průběhu sušení regulací rychlosti pásů je náročné na znalosti konkrétního typu sušárny a průběhu sušicí křivky na jednotlivých pásích. Změna rychlosti může ovlivnit případné nedostatečné nebo naopak přílišné vysušení hlávek před jejich následnou klimatizací.

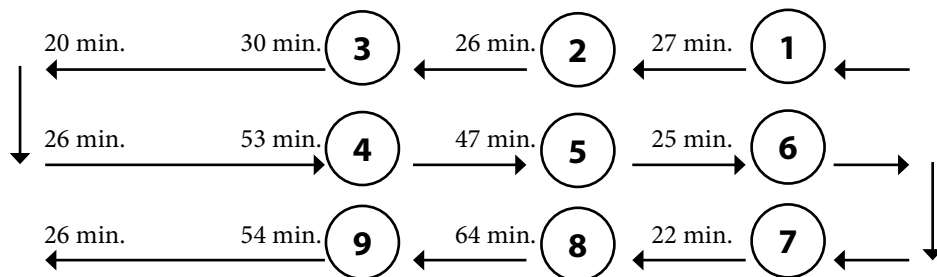
Obojí pak působí jak problémy při konečném vyrovnání vlhkosti v klimatizační komoře, tak i možnost poškození při lisování do pěstitelských obalů. Předpokladem pro regulaci rychlosti je především dlouhodobá změna klimatických podmínek – delší deštivé počasí nebo značné snížení nočních i denních teplot. Tím se zamezí použití příliš vysoké teploty sušicího vzduchu.

2.2.3. Sledování postupu sušení chmelových hlávek

Pro každý typ pásové sušárny je nutné znát časové intervaly postupu chmelových hlávek ke každému kontrolnímu okénku. Tyto intervaly pak mohou být upravovány podle potřeby nastavením rychlosti jednotlivých pásů. Celková doba sušení hlávek v závislosti na typu sušárny a podmínkách dle kap. 2.2.2. by měla být v rozmezí 420–560 minut. Následná klimatizace by obdobně měla proběhnout v rozmezí 90–120 minut. Následující příklad je schéma časového snímku sušárny PSCH 325 s celkovou dobou sušení hlávek 420 minut.



Sušárna PSCH 325 – celková doba sušení 420 minut (příklad)

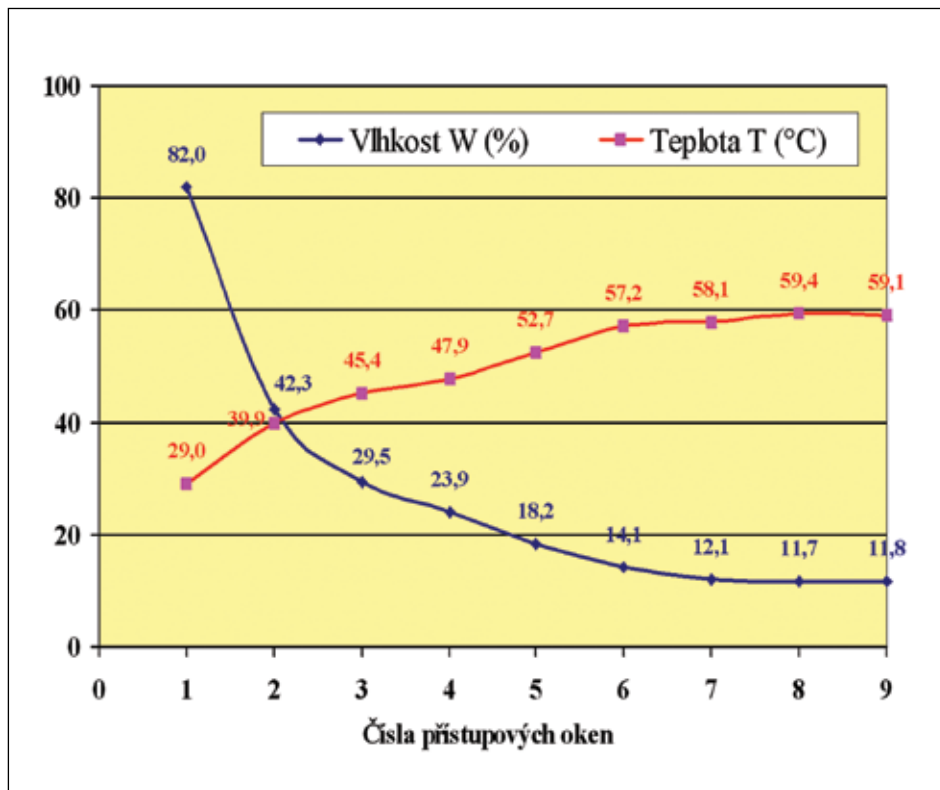


Sledování postupu sušení chmelových hlávek podle kontrolních okének je možné rozlišit dle následující tabulky:

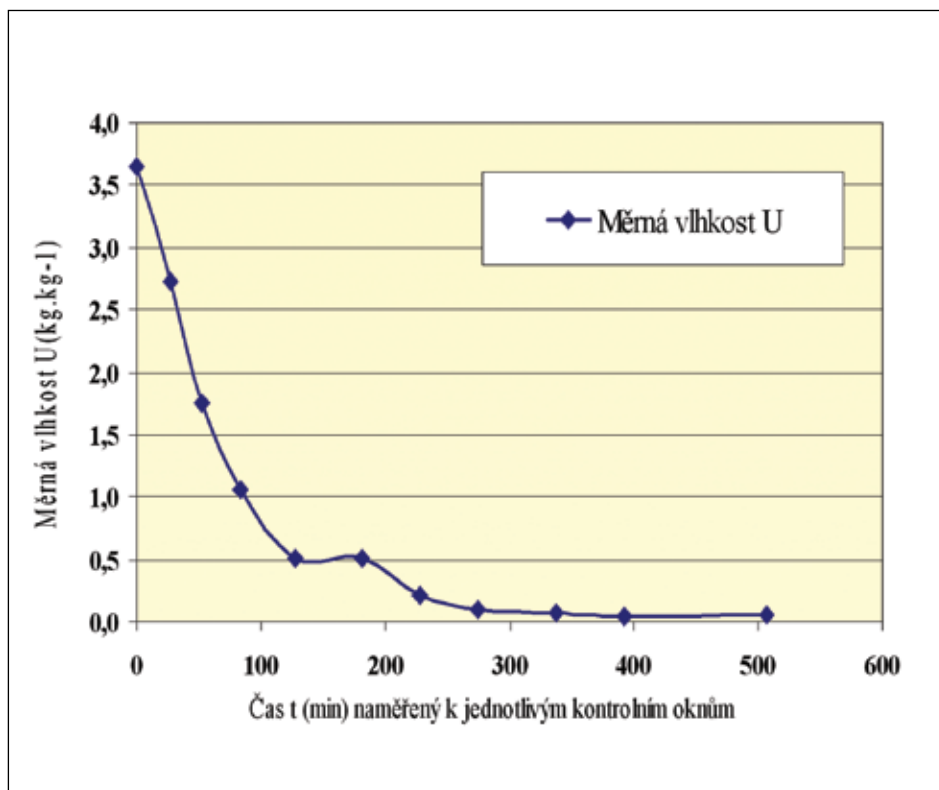
| Pás č. | Kontr. okénko | Stav sušených chmelových hlávek |
|--------|---------------|--|
| 1 | 1 | Kontrola výšky vrstvy chmele. |
| | 2 | Hlávky by měly být prohráté v celé vrstvě, zavadlé, ale neorosené. |
| | 3 | Povrchová část listenů zaschlá, chmel vypařený v celé vrstvě, při prohrábnutí již hlávky „šustí“. |
| 2 | 4 | Stejně jako u 3. okénka chmel ve vyšší vrstvě nesmí slehávat. |
| | 5 | Listeny hlávek jsou suché, u malých hlávek na vrcholu jdou odlomit, stopka se láme, spodní část věténka začíná drhnout mezi prsty. U velkých hlávek ztrácí stopka pružnost, věténko při promnutí nesmí „pouštět vodu“. |
| | 6 | Velké hlávky suché „na stopku“, spodní část věténka začíná drhnout mezi prsty. Malé hlávky jsou suché „na věténko“, zůstávají elastické jen nejvyšší články, hlávky střední velikosti mají elastickou vrchní polovinu věténka. |
| 3 | 7 | Stejně jako u 6. okénka, vrstva chmele musí zůstat načechraná. |
| | 8 | Hlávky suché „na věténko“, pouze největší a přerostlé hlávky mají polovinu věténka elastickou. U malých hlávek se láme celé věténko, u středních jsou elastické ještě 2–3 články. |
| | 9 | Chmelové hlávky musí být usušeny na požadovaný stupeň vlhkosti, tj. ve stavu vhodném pro přechod do klimatizační komory. |



Graf č. 1: Sledování průběhu teplot a vlhkostí vzduchu sondami, pásová sušárna PSCH-325, Žatecký poloraný červeňák (příklad)



Graf č. 2: Měrná vlhkost chmele u kontrolních oken až po výstup z klimatizace pásové sušárny PSCH-325, ŽPČ



Celý průběh sušení musí být pod neustálou kontrolou z hlediska dodržování teploty sušícího média, vrstvy nasypaného chmele, rychlosti pásů, vše s ohledem na vnější teplotu a vlhkost vzduchu. Všechny odchylky mají vliv jak na délku a kvalitu sušení, tak i na spotřebu topného média a následný proces klimatizace hlávek.

Vhodný je systém tzv. monitoringu pomocí sond umístěných na jednotlivých místech potřebných pro sledování a hodnocení postupu sušení hlávek, kterými je prováděn sběr dat o teplotách (°C) v daných místech, vlhkosti, popř. i spotřebě LTO. Z teploty a relativní vlhkosti je pak vypočítáván rosný bod. Rosný bod je informativní hodnotou pro zajištění teploty nad tímto bodem, aby případně nedocházelo k vysrážení vody, a tím zvlhčení suroviny.



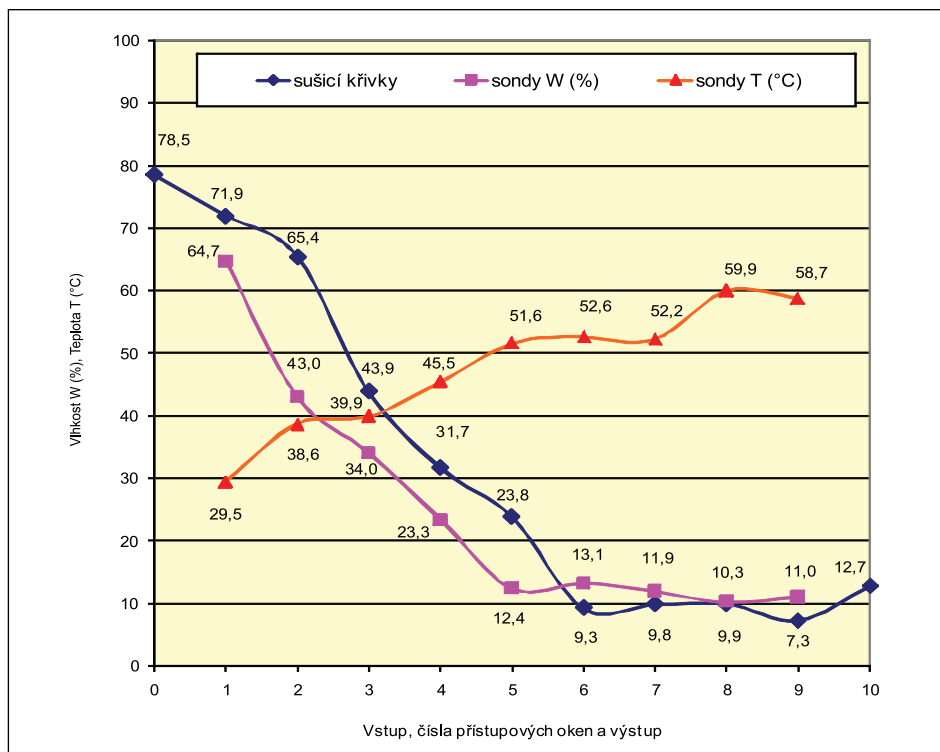
Sondy jsou opatřeny komunikačním rozhraním pro sběr a přenos snímaných dat do centrálního počítačového systému. Zároveň je zajištěna archivace všech sledovaných údajů a jejich uložení pro přímou kontrolu a následné vyhodnocování, statistické zpracování, popř. vyhodnocení práce obsluhy. Celý systém je popsán v publikaci „Metodika monitoringu sklizně chmele“.

2.2.4. Postup sušení dle odrůdy chmele

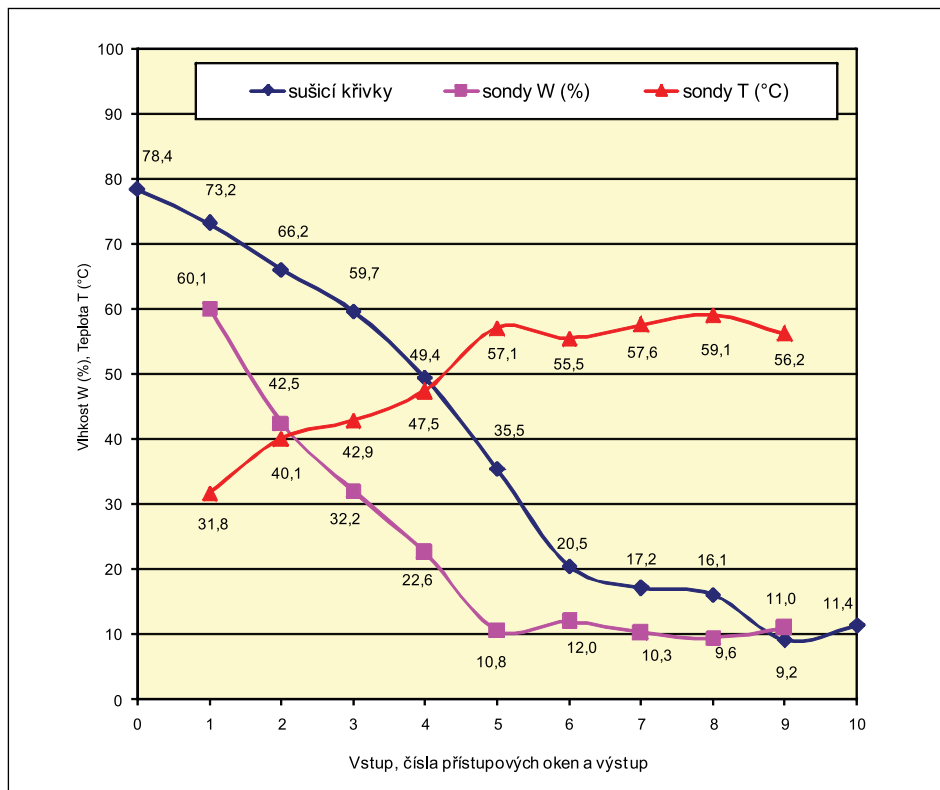
Rozdílná stavba chmelových hlávek u různých odrůd chmele, především podle zařazení do hlavních typových skupin – od jemného aromatického chmele až po odrůdy typu super-alfa, má značný vliv na průběh sušení.

Následující grafy č. 3–6 znázorňují průběh sledovaných hodnot a sušících křivek u hlavních sklizených odrůd chmele.

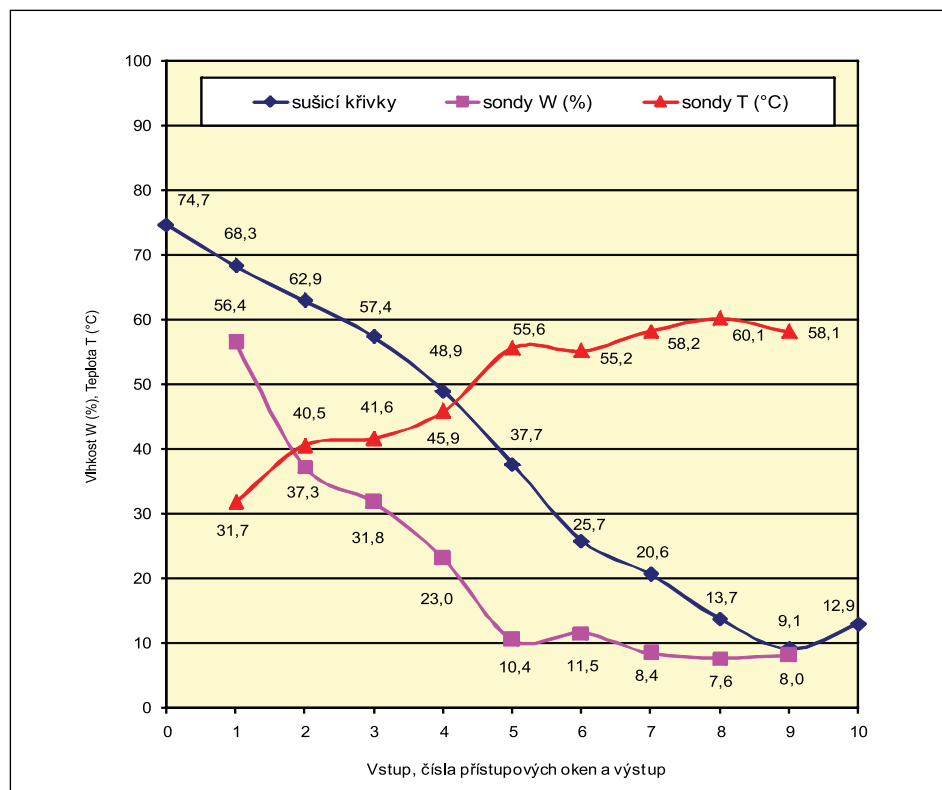
Graf č. 3: Průběh teplot a vlhkosti vzduchu naměřených na pásové sušárně PSCH-325, průběh sušící křivky. Žatecký poloraný červenák



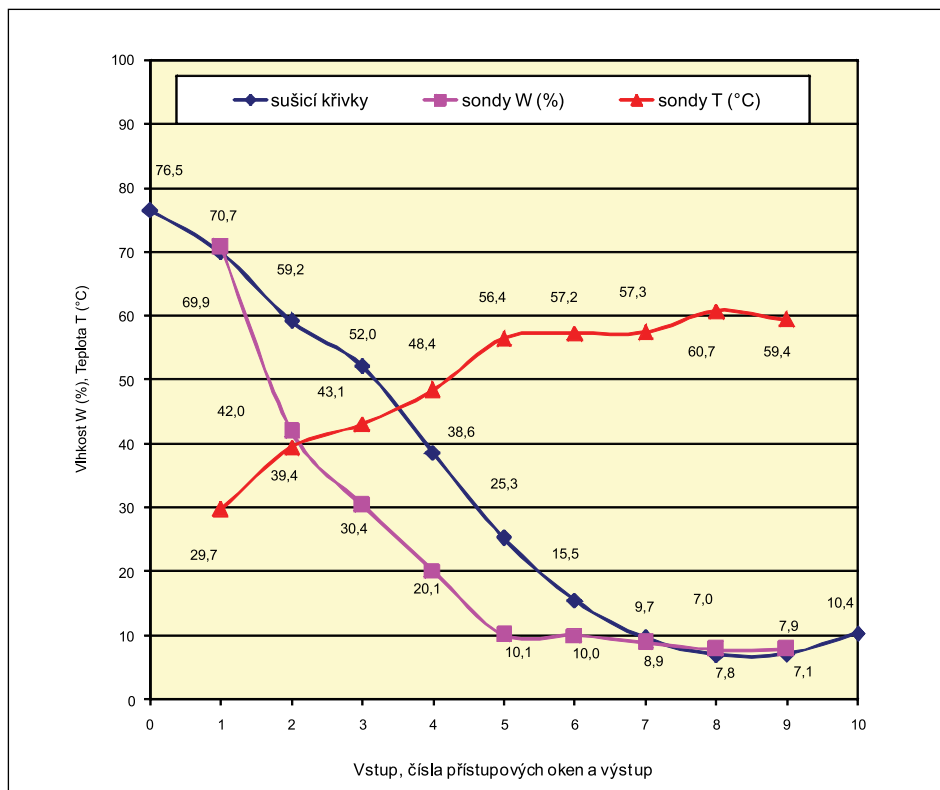
Graf č. 4: Průběh teplot a vlhkostí vzduchu naměřených na pásové sušárně PSCH-325, průběh sušící křivky. Premiant



Graf č. 5: Průběh teplot a vlhkostí vzduchu naměřených na pásové sušárně PSCH-325, průběh sušící křivky. Agnus



Graf č. 6: Průběh teplot a vlhkostí vzduchu naměřených na pásové sušárně PSCH-325, průběh sušící křivky. Sládek



Z grafů č. 3–6 je vidět, že při měření pomocí sond nad vrstvou sušeného chmele byla zjištěna přibližně konstantní teplota a vlhkost sušícího vzduchu na konci druhého a na třetím pásu sušárny, tj. u kontrolních oken 6–9. Při kontrolním měření vlhkosti chmelových hlávek by mělo být dosaženo optimální vlhkosti před klimatizací v rozmezí mezi osmým a devátým kontrolním oknem.

Výsledky, uvedené na grafech, byly získány za přibližně stejných podmínek jak v nastavení sušárny, tak i u vnějších klimatických údajů. Z grafů č. 4 (Premiant) a 5 (Agnus) je patrné, že chmelové hlávky byly vysušeny na vlhkost pod 10 % až u 9. přístupového okna na konci třetího pásu. Naproti tomu hlávky odrůd Žatecký poloraný červeňák (graf č. 3) a Sládek (graf č. 6) byly na obdobnou vlhkost usušeny na začátku třetího pásu před 7. přístupovým oknem.



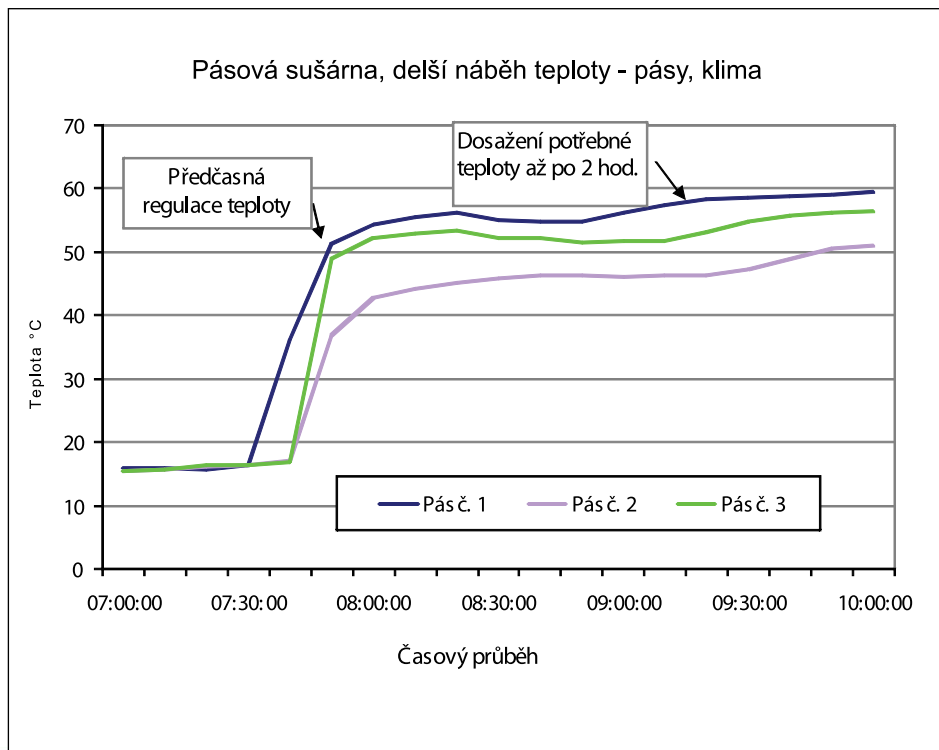
Při obdobných parametrech sušicího procesu je mezi jednotlivými odrůdami různá rychlost sušení!

Při začátku sušení na pásové sušárně je důležitý co nejrychlejší náběh provozní teploty pro stejnoměrný průběh následujícího postupu sušení. Při předčasném snížení teploty může dojít k výraznému prodloužení času, potřebného pro dosažení optimální sušicí teploty. Tím je narušena doba sušení pro první dávku chmelových hlávek. Následným zvyšováním teploty se pak zkracuje doba sušení pro další hlávky a může dojít ke zbytečnému přesušení, nebo složité manipulaci se zastavováním pásů, změny jejich rychlosti apod. To má za následek zvýšení spotřeby LTO, možnost nestejnoměrného prosušení hlávek nebo jejich přesušení – to vše znamená určitou ekonomickou ztrátu.

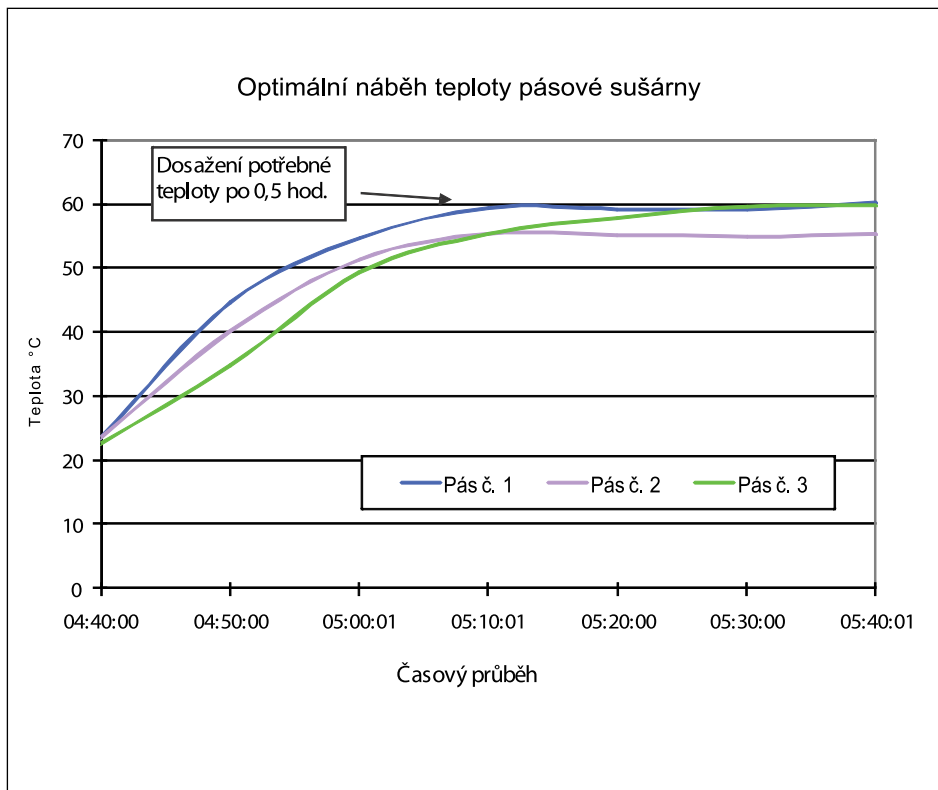
Stejný náběh teploty je potřebný i při přerušovaném provozu sušárny, např. v podmínkách každodenního přerušování provozu, nebo po opravě poruchy.

Ukázka prodloužení času pro dosažení optimální sušicí teploty je uvedena na grafu č. 7, správný náběh teploty na grafu č. 8.

Graf č. 7: Nevhodná regulace teploty při startu sušárny



Graf č. 8: Optimální regulace teploty při startu sušárny



2.3. KLIMATIZACE CHMELOVÝCH HLÁVEK

Klimatizace chmelových hlávek patří mezi nejdůležitější závěrečné operace při sklizni chmele. Bezprostředně po usušení vykazují chmelové hlávky i při optimálním sušicím režimu a dosažení požadované průměrné vlhkosti nerovnoměrné rozložení vlhkosti v profilu hlávek mezi listeny a vřetenkem. Před konečným lisováním musí dojít k vyrovnání – homogenizaci této vlhkosti. Výstup z pásové sušárny přechází do tzv. klimatizační komory, kde je zajištěno vyrovnání vlhkosti na požadovanou úroveň. Optimální konečná vlhkost před klimatizací by měla být v rozsahu 9–10 %.

Pro klimatizaci je vhodný jen stejnoměrně prosušený a nepresušený chmel!

Cílem klimatizace je:

- dosažení a zajištění kvality chmelových hlávek,
- dobré provzdušnění,
- stejnoměrná homogenizace,
- optimální vlhkost hlávek,
- optimalizace doby pro celý proces klimatizace.

Při přechodu ze sušárny jsou hlávky promíchány, aby došlo k rovnoměrnějšímu rozložení případných rozdílů v jejich vlhkosti, v klimatizační komoře pak dochází k provzdušňování hlávek a postupnému vyrovnávání vlhkosti mezi vřetenky a listeny hlávek.

Doba, po kterou je nutné chmel klimatizovat, je závislá na:

- obsahu vlhkosti v usušených hlávkách,
- stejnoměrnosti prosušení,
- výšce násypu (vrstvy) chmele na pásech.

Vyrovnání vlhkosti hlávek probíhá na základě tzv. sorpční izotermy. Podle této izotermy je docílena při provzdušňování vzduchem s relativní vlhkostí 58–65 % po odpovídající době konečná vlhkost hlávek 9–12 %.

Důležité je provádět měření relativní vlhkosti vzduchu v přírodním vzduchovém potrubí – relativní vlhkost by neměla poklesnout pod 50 %, docílí se pak konečné vlhkosti chmelových hlávek pod 10 %, což má za následek jak možné poškození hlávek při lisování, tak i ztrátu hmotnosti celkového množství takto suchého chmele.

Pro optimální homogenizaci a docílení požadované vlhkosti hlávek musí být při klimatizaci pečlivě sledována a regulována jak teplota, tak i relativní vlhkost vzduchu. Homogenizace je ukončena tehdy, pokud je vyrovnána vlhkost vřetenka i listenů hlávky.



Pro kapilární výměnu vlhkosti mezi vřetenkem a listenou je optimální teplota mezi 20–24 °C. Tehdy dochází u listenou k nejvyššímu příjmu vlhkosti jak z vřetenka, tak zároveň i z přiváděného vzduchu.

Při zvýšené teplotě nad 25 °C dochází k urychlení odvodu vlhkosti z vřetenka, a tím i výměně vlhkosti uvnitř hlávky. Dosažení požadované vlhkosti při jejím vyrovnání v hlávce je pak již dalším provzdušňováním obtížné. V praxi je tento chmel většinou přesušený. Naopak při nižší teplotě pod 20 °C se prodlužuje převod vlhkosti z vřetenka, listenou přebírají více vlhkosti ze vzduchu, ale hlávky nejsou dokonale homogenizovány. Tak existuje nebezpečí, že chmel bude pro uskladnění příliš vlhký.

Optimální teplota vzduchu je 20–24 °C, relativní vlhkost 58–65 %!

Při měření teploty a relativní vlhkosti ve vzduchovém potrubí klimatizační komory je tak možné podle vnějších podmínek a vlhkosti hlávek provádět regulaci mísením vzduchu pro nastavení optimálního provzdušnění. Při vysokých venkovních teplotách je v praxi využívána korekce pomocí chladicí jednotky – pračky vzduchu, kdy vzduch prochází kolem vodní clony a tím je ochlazován.

Pro měření jsou vhodné buď ruční měřicí přístroje nebo stabilně zabudované teploměry a vlhkoměry. Obdobně jako při sušení hlávek i při jejich klimatizaci je vhodné využít monitorování všech údajů pomocí přenosu dat do centrálního počítače.

Absolutní vlhkost vzduchu (g.kg⁻¹) – závislost na teplotě a rel. vlhkosti:

| Teplota °C | Relativní vlhkost vzduchu v % | | | | | |
|------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 |
| 16 | 6,6 | 6,8 | 7,1 | 7,3 | 7,5 | 7,8 |
| 18 | 7,5 | 7,8 | 8,0 | 8,3 | 8,5 | 8,8 |
| 20 | 8,4 | 8,7 | 9,0 | 9,3 | 9,6 | 9,8 |
| 22 | 9,4 | 9,8 | 10,1 | 10,4 | 10,7 | 11,1 |
| 24 | 10,6 | 10,9 | 11,3 | 11,7 | 12,0 | 12,4 |
| 26 | 11,8 | 12,2 | 12,7 | 13,1 | 13,5 | 13,9 |
| 28 | 13,2 | 13,7 | 14,2 | 14,6 | 15,1 | 15,5 |
| 30 | 14,8 | 15,3 | 15,8 | 16,3 | 16,8 | 17,3 |



2.3.1. Přehledné doporučení k nastavení a regulaci klimatizace:

- 1/ Základem je optimální vyzrálость chmelových hlávek.
- 2/ Stejněměrné prosušení na 9–10 % vlhkosti
- 3/ Stejněměrné rozdělení a promísení hlávek při plnění klimatizační komory
- 4/ Zjišťování přesné vlhkosti hlávek v komoře před začátkem klimatizace
- 5/ Včasný začátek provzdušnění s použitím správného míchání vzduchu
- 6/ Pravidelné měření údajů v klimatizační komoře optimum 20–24 °C a 58–65 % relativní vlhkosti vzduchu
- 7/ Kontrola absolutní vlhkosti vzduchu
- 8/ Pravidelná kontrola a měření vlhkosti hlávek
- 9/ Dodržování celkové doby provzdušnění
- 10/ Provádění záznamů o všech kontrolách a naměřených údajích

3. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Současná situace v sušárenské oblasti ve chmelařství má souvislost s celostátním poklesem plochy chmelnic, takže se jeví relativní nadbytek sušárenských kapacit. Důsledkem toho jsou nevyužívány některé sušárny a to brání budování nových, modernějších zařízení. Posláním chmelařského výzkumu je vyhledávání investičně nenáročných inovací a jejich doplnění moderním kontrolním zařízením (měření teploty sušícího vzduchu, měření vlhkosti chmele apod.). Nevylučuje se revize dosavadních technologických režimů a hledání nových postupů zpracování.

Požadavky odběratelů chmele se v posledních letech částečně mění v tom směru, že není přikládána tak velká důležitost tzv. subjektivním znakům chmelových hlávek (barva a lesk chmelových hlávek), a také částečně v tom, že se mění způsob balení u pěstitele (místo žoků hranoly o menší hmotnosti). Toto jsou hlavní sledované možnosti současného řešeného projektu. Odstraněním této disproporce by se zvýšila výkonnost stávajících sušáren, klesly by náklady na sušení bez náročných technických úprav a vedly by ke snížení energetické náročnosti. Tento problém je v závěrečné fázi řešení chmelařského výzkumu.



4. ZÁVĚR A POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Současné typy pásových sušáren postrádají vývoj a značně zastarávají. Je třeba hledat úsporné cesty modernizace a energetické úspornosti, a tím i lepší efektivitu sklizňového procesu. Vzhledem k situaci, že prakticky neexistuje tuzemský výrobce těchto zařízení, je na bedrech chmelařského výzkumu společně s uživateli těchto zařízení další řešení.

Vhodným řešením při modernizaci stávajících sušáren je zavedení monitorovacího systému sledování teploty a vlhkosti pro zajištění optimálního průběhu sušení.

5. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

6. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE:

Kořen J. a kol., 2006: Výzkum a vývoj techniky a technologie sklizňového procesu a posklizňové úpravy chmele. Roční zpráva projektu programu MPO – IMPULS, číslo projektu FI-IM2/152. Žatec.

7. SOUHRN

V ČR se používají k technologii sušení chmelových hlávek převážně pásové sušárny. Cílem metodiky je upřesnění parametrů sušení chmele v pásové sušárně a jejich optimalizace. Řešením v současné situaci je především modernizace stávajících sušáren a možností energetické úspornosti, a tím zvýšení efektivity sklizňového procesu.

8. ABSTRACT

Belt kilns are commonly used in CR to dry hops. Optimal parameters for drying process in these kilns are the objective of this guidebook. Modernization of the existing belt kilns and possibilities of better energetic economy leading to higher effectiveness of the harvest process are reviewed here as well.



9. PŘÍLOHY

Obr. 1: Rozprostírání násypu u pásové sušárny pro dodržení stejnoměrné vrstvy chmelových hlávek



Obr. 2: Reverzní systém násypu pásové sušárny



Obr. 3: Detail snímání sondy nad vrstvou sušených chmelových hlávek



Obr. 4: Pásová sušárna se snímacími sondami teploty a vlhkosti nad vrstvou chmele



Obr. 5: Izolace topných kanálů – úspora LTO, stejnoměrná teplota pod pásy



Obr. 6: Izolace topných kanálů u výměníku topného zdroje



10. SLOVNÍK POJMŮ

VLHKOST VZDUCHU

Vlhkost vzduchu je základní meteorologický prvek popisující množství vodní páry ve vzduchu. Vodní pára, která je soustředěna hlavně ve spodních vrstvách atmosféry, vzniká především vypařováním vodních ploch. Za dané teploty se množství vodní páry ve vzduchu nemůže zvětšovat neomezeně, ale jen po určitou hodnotu, při níž je dosaženo stavu nasycení vzduchu vodní párou. Případný přebytek vodní páry nad množství odpovídající stavu nasycení přejde kondenzací ve vodu nebo desublimací v led. Čím vyšší je teplota vzduchu, tím více páry je třeba k jeho nasycení.

CHARAKTERISTIKY VLHKOSTI VZDUCHU:

Vlhkost vzduchu se vyjadřuje různými způsoby - hmotností vodní páry v určitém objemu vzduchu, stupněm nasycení vzduchu vodní párou atd. Podle toho charakterizují vlhkost vzduchu tyto základní veličiny:

Absolutní vlhkost - udává hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu. V meteorologii se vyjadřuje nejčastěji v gramech vodní páry na metr krychlový vzduchu.

Tlak vodní páry je dílčí tlak vyvolaný vodní párou coby jednou ze složek směsi plynů, udává se v hektopascálech (hPa), dříve se udával v milibarech (mb) či torrech (torr).

Sytostní doplněk je charakteristika vlhkosti vzduchu daná rozdílem tlaku nasycené vodní páry (tj. tlaku maximálního) při dané teplotě vzduchu a skutečného tlaku vodní páry při téže teplotě. Sytostní doplněk se dá také vyjádřit rozdílem maximálního směšovacího poměru či maximální měrné vlhkosti při dané teplotě a skutečného směšovacího poměru či měrné vlhkosti při téže teplotě.

Měrná vlhkost (specifická vlhkost) - udává hmotnost vodní páry obsažené v jednotce hmotnosti vlhkého vzduchu.

Směšovací poměr je charakteristika vlhkosti vzduchu vyjádřená jako podíl hmotnosti vodní páry k hmotnosti suchého vzduchu v daném objemu vzduchu.

Relativní vlhkost (poměrná vlhkost) je mírou nasycení vzduchu vodní párou - poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Udává se v procentech a patří k nejčastěji používaným charakteristikám vlhkosti vzduchu. Vzhledem k tomu, že množství sytých par závisí především na teplotě vzduchu, mění se relativní vlhkost vzduchu s jeho teplotou i přesto, že absolutní množství vodních par zůstává stejné.



Rosný bod je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními párami, tj. relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %. Při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu obvykle dochází ke kondenzaci vodní páry obsažené ve vzduchu, vzniká například rosa nebo mlha. Teplota rosného bodu ve spojení s měřenou teplotou patří k základním charakteristikám vlhkosti vzduchu.

Deficit teploty rosného bodu je rozdíl mezi teplotou vzduchu a rosného bodu.

MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU

Měření vlhkosti vzduchu znamená určení poměrné vlhkosti vzduchu, tlaku vodní páry nebo teploty rosného bodu v určitém místě atmosféry. Ostatní charakteristiky vlhkosti se dají s použitím hodnoty teploty vzduchu vypočítat. Vlhkoměry (hygrometry), které slouží k měření vlhkosti vzduchu, pracují na principech:

- **Psychrometrickém** – vlhkost se zjišťuje pomocí rozdílu teplot na dvou teploměrech – suchém a vlhkém. Relativní vlhkost se určí pomocí tzv. psychrometrických tabulek.
- **Deformačním** – vlasové a blánové vlhkoměry – jsou založeny na schopnosti blány (resp. vlasu) pohlcovat ze vzduchu vodní páru. S tím souvisí změna délky vlasu (resp. blány).
- **Absorpčním** – vlhkost se zjišťuje na základě pohlcování vodní páry hygroskopickou látkou.
- **Kondenzačním** – určení teploty rosného bodu – na uměle ochlazeném plechu z kovu se v okamžiku orosení zjistí teplota.



Hodnoty rosného bodu a absolutní vlhkosti vzduchu:

| Teplota °C | Relativní vlhkost vzduchu | | | | | | | | | |
|---------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 50 | | 55 | | 60 | | 65 | | 70 | |
| | RB | AV | RB | AV | RB | AV | RB | AV | RB | AV |
| 5 | -4,5 | 3,4 | -3,3 | 3,7 | -2,1 | 4,1 | -1,0 | 4,4 | 0 | 4,8 |
| 8 | -1,8 | 4,1 | -0,5 | 4,5 | 0,7 | 5,0 | 1,8 | 5,4 | 2,9 | 5,8 |
| 10 | 0,1 | 4,7 | 1,4 | 5,2 | 2,6 | 5,6 | 3,7 | 6,1 | 4,8 | 6,6 |
| 12 | 1,9 | 5,3 | 3,3 | 5,9 | 4,5 | 6,4 | 5,6 | 6,9 | 6,7 | 7,5 |
| 15 | 4,7 | 6,4 | 6,0 | 7,1 | 7,3 | 7,7 | 8,5 | 8,3 | 9,6 | 9,0 |
| 18 | 7,4 | 7,7 | 8,8 | 8,4 | 10,1 | 9,2 | 11,3 | 10,0 | 12,5 | 10,8 |
| 20 | 9,3 | 8,6 | 10,7 | 9,5 | 12,0 | 10,4 | 13,2 | 11,2 | 14,4 | 12,1 |
| 24 | 12,9 | 10,9 | 14,4 | 12,0 | 15,8 | 13,1 | 17,0 | 14,1 | 18,2 | 15,2 |
| 28 | 16,6 | 13,6 | 18,1 | 15,0 | 19,5 | 16,3 | 20,8 | 17,7 | 22,0 | 19,0 |
| 30 | 18,4 | 15,2 | 20,0 | 16,7 | 21,4 | 18,2 | 22,7 | 19,7 | 23,9 | 21,2 |
| 32 | 20,3 | 16,9 | 21,8 | 18,6 | 23,3 | 20,3 | 24,6 | 21,9 | 25,8 | 23,6 |
| 34 | 22,1 | 18,8 | 23,7 | 20,6 | 25,1 | 22,5 | 26,5 | 24,4 | 27,7 | 26,3 |

Vysvětlivka: RB – rosný bod °C,
AV – absolutní vlhkost vzduchu g. m⁻³



POZNÁMKY:

A series of horizontal dotted lines providing a structured space for handwritten notes.



CHMELAŘSKÝ INSTITUT s.r.o.

HOP RESEARCH INSTITUTE Co., Ltd.



Kadaňská 2525, 438 46 Žatec

Tel.: +420 415 732 111

Jednatel: Ing. Jiří Kořen, Ph.D.

Fax: +420 415 732 150

Tel.: +420 415 732 133

Internet: www.chizatec.cz

E-mail: jiri.koren@telecom.cz

Vědeckovýzkumná činnost

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

Poradenská a školicí činnost

Výroba chmele

Výroba chmelové sadby

- Žatecký poloraný červeňák
- Hybridní odrůdy

Zemědělská výroba

Obchodní činnost



Chmelařský institut s. r. o.

Účelové hospodářství Stekník

Tel.: +420 415 735 861

Fax: +420 415 725 334

Výzkumná stanice Tršice

Tel.: +420 585 957 237



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

