CUKROVARNICKÁ TECHNOLOGIE – DÍL XXIV.

Sušení, chlazení a stabilizace cukru

SUGAR TECHNOLOGY – PART XXIV: DRYING, COOLING, AND STABILIZATION OF SUGAR

Zdeněk Bubník, Svatopluk Henke, Simona Gillarová, Pavel Kadlec, Evžen Šárka, Vladimír Pour
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Sušení cukru

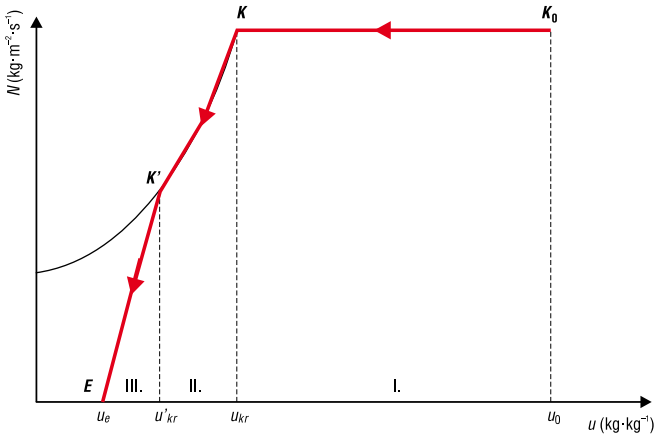
V průběhu výrobního procesu probíhá řada operací, jejichž účelem je snížení obsahu vody v cukru. Jedná se především o odstřeďování, sušení a tzv. stabilizaci. Při těchto operacích stoupne podíl krystalické sacharosy z původních zhruba 50 % v cukrovině v zrniči až na 99,9 % u stabilizovaného cukru, naproti tomu klesá obsah vody z původních cca 10 % asi na 0,05 % u cukru stabilizovaného. Podrobný přehled udává tab. I.

Při sušení cukru dochází k přestupu vlhkosti z krystalu, resp. povrchové vrstvy nasyceného cukerného roztoku do okolního vzduchu. Sušení může probíhat dvěma způsoby – intenzivně a pozvolna.

Tab. I. Přehled způsobů snižování vlhkosti cukru

	Sacharosa krystalická	Sacharosa v roztoku	Nečistoty v roztoku	Voda
	(%)			
Cukrovina v zrniči	~50	~40	~0,3	~10
Cukr odstředěný	~95	~4	~0,03	~1
Cukr za sušárnou	~99,4	~0,4	~0,03	~0,15
Cukr stabilizovaný	~99,9	~0,02	~0,03	~0,05

Obr. 1. Sušicí diagram



Sušení je nutno řídit tak, aby nedošlo k vytvoření nepropustné povrchové vrstvy amorfní sacharosy, která brání postupnému uvolňování vázané vlhkosti.

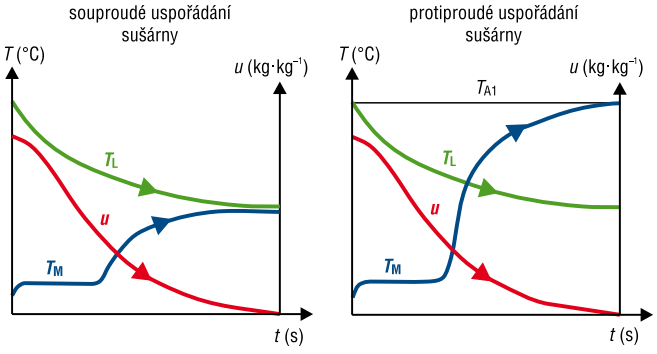
Cukr patří do kategorie látek rozpustných, jejichž vlhkost je soustředěna převážně na povrchu krystalu, a to ve formě roztoku. Při popisu kinetiky sušení jsou obvykle popisována dvě období – období konstantní a období klesající rychlosti sušení, viz obr. 1. Při konstantních parametrech sušicího vzduchu v případě nerozpustných materiálů je v prvém období rychlost sušení stálá, neboť tenze par nad povrchem sušeného materiálu je stejná jako rovnovážná tenze nad čistou vodou, rychlost sušení není vůbec ovlivněna rychlostí difúze ve vlhkém materiálu, resp. v kapalném filmu a nezávisí na vlhkosti materiálu.

Po překročení kritické vlhkosti u_{kr} se tato difuze začne uplatňovat, klesá tenze par nad povrchem sušené látky, a tudíž klesá i rychlost sušení.

Ovšem u látek rozpustných, kde je voda na povrchu vázána ve formě roztoku, nelze období konstantní rychlosti sušení vůbec očekávat, protože tenze par nad roztokem je za jinak stejných podmínek vždy nižší než nad čistým rozpouštědlem. Pouze při velmi pomalém sušení by bylo možno zjistit oblast prakticky konstantní rychlosti sušení. V běžných podmínkách (přítomnost rozpustných nečistot v roztoku, děj probíhá konečnou rychlostí) však v průběhu sušení nad povrchem sušeného materiálu bude tenze par neustále klesat, a tudíž se bude snižovat i rychlost sušení.

Předpokládejme, že na povrchu krystalu lpí vrstva nasyceného roztoku sacharosy. Pokud je krystal v prostředí relativní vlhkosti odpovídající nasycenému roztoku, nebude na fázovém rozhraní roztok – tuhá fáze probíhat proces krystalizace a na

Obr. 2. Průběhy teplot a vlhkosti při sušení



fázovém rozhraní roztok – vzduch nebude probíhat přestup vlhkosti. Sníží-li se nyní relativní vlhkost vzduchu nad krystalem, dojde k porušení rovnováhy a nastane přestup vlhkosti z roztoku do okolního vzduchu. Tím se ovšem stává roztok přesyceným, což vede ke krystalizaci sacharosy z roztoku na povrchu tuhé fáze. To vede ke zředění roztoku v okolí fázového rozhraní roztok–tuhá fáze. Pokud je odvod vlhkosti z roztoku dostatečně pomalý (probíhá řadu dní), stačí krystalizací uvolněná voda difundovat k povrchu a tloušťka vrstvy roztoku postupně klesá. Tento děj je možno urychlit intenzivnějším přestupem vlhkosti z roztoku do vzduchu. Tím se zvyšuje stupeň přesycení na rozhraní roztok – vzduch a současně i koncentrační spád ve vrstvě roztoku.

Stupeň přesycení může snadno dosáhnout hodnot, kdy fáze nabude povahy amorfní sacharosy. A v tomto stavu je další intenzifikace přestupu vlhkosti z roztoku neúčelná. Zesiluje se totiž vrstva amorfní sacharosy, ve které je difúzní proces mnohonásobně pomalejší než v nasyceném roztoku. Krystalizaci na vnitřním fázovém rozhraní lze také urychlit zvýšením teploty, ovšem za cenu rychlého vzniku tenké vrstvy nepropustné amorfní sacharosy na vnějším povrchu. Se zmenšující se tloušťkou vrstvy roste koncentrace necukrů, čímž se proces krystalizace rovněž zpomaluje. Tak se stává, že snaha o intenzifikaci procesu sušení cukru vede v praxi ve většině typů sušáren ke vzniku vrstvy amorfní sacharosy, zvláště při sušení horkým vzduchem, což vede k uzavření vlhkosti pod přesycenou vrstvou amorfní sacharosy.

Jak je uvedeno v tab. I., k největšímu poklesu obsahu vlhkosti dochází již při odstřeďování. Právě odstředěný krystal sacharosy je pokryt vrstvičkou sirobu (až 5 % objemu) o sacharizaci 75 – 80 % a čistotě přibližně 99,2 %. Vhodným řízením procesu odstřeďování je možno tuto povrchovou vrstvičku, obsahující převážnou většinu obsahu vody a nečistot (necukrů) celého krystalu, výrazně zeslabit.

Vlhkost cukru

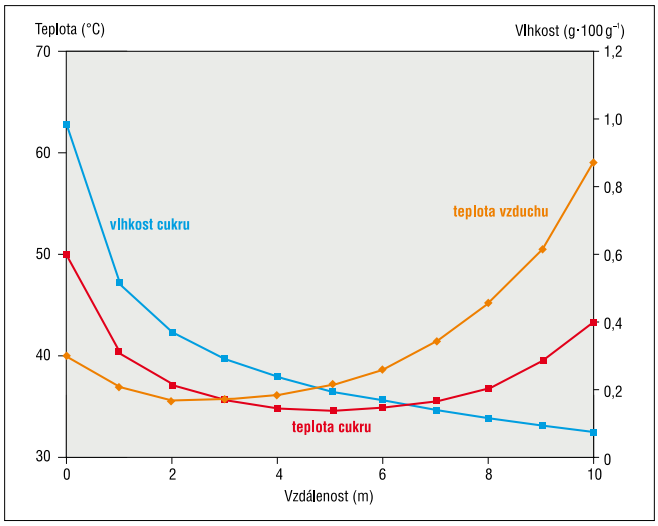
Obsah vody v krystalovém cukru (vlhkost) je možno rozdělit do tří forem:

a) volná vlhkost – je vlhkost obsažená v povrchové vrstvičce zředěného zbytku původního matečného sirobu, která obklopuje krystal sacharosy odcházející z odstředivek. Větší část zde obsažené vody se odstraní při běžném sušení (tab. I.).
b) vázaná vlhkost – je představována zbytkem vody z původní povrchové vrstvičky sirobu, která je uzavřena přesycenou povrchovou vrstvou amorfní sacharosy po opuštění sušárny. Vázaná vlhkost představuje největší nebezpečí při skladování cukru v zásobnících a silech.
c) vnitřní (inkludovaná) vlhkost – představuje molekuly vody uzavřené v krystalové mřížce sacharosy, zbytky matečného sirobu uzavřené ve srostlicích apod. Tato vlhkost se uvolní při destrukci krystalu (např. při mletí). Na skladování cukru nemá vliv.

Obsah vody v cukru se většinou stanovuje závaznou metodou, tzv. ztrátou sušením. Tato metoda však neumožňuje stanovit veškerou volnou a vázanou vodu, která se ale uvolní při dlouhodobém uskladnění cukru v sile.

Proces sušení je tedy nutno navrhnout a řídit tak, aby nedošlo k vytvoření neprostupné povrchové vrstvy amorfní sacharosy, která brání postupnému uvolňování zbytkové vlhkosti.

Obr. 3. Rozložení teploty a vlhkosti v protiproudé sušárně



Základní rozdělení sušáren

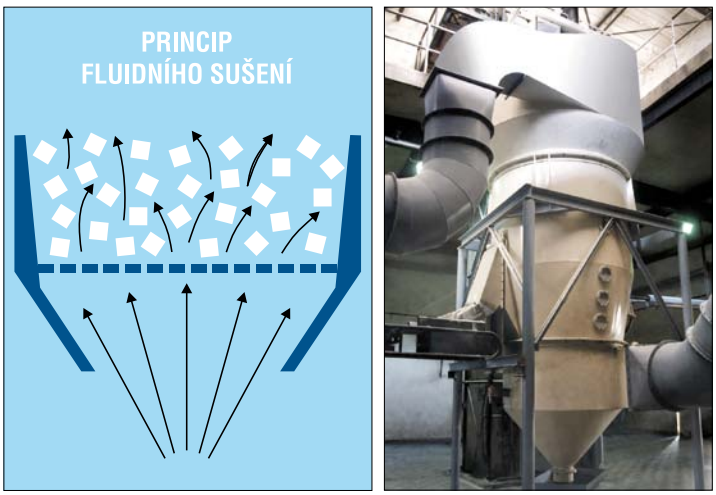
Sušárny je možno dělit podle celé řady hledisek. Základní je rozdělení na sušárny kontinuální a periodické. Podle uspořádání hmotnostních toků v jedné sekci rozlišujeme kontinuální sušárny se souproudým, protiproudým nebo křížovým tokem materiálu a sušicího prostředí. Z konstrukčního hlediska dělíme sušárny na rozprašovací, proudové, fluidní a vibrofluidní, bubnové, pásové, talířové, válcové a další, v cukrovarnictví však nepoužívané typy. Pro sušení cukru jsou vhodné fluidní a vibrofluidní sušárny, turbinové, dále pak klasické sušárny bubnové a talířové v celé řadě provedení.

Sušárny cukru

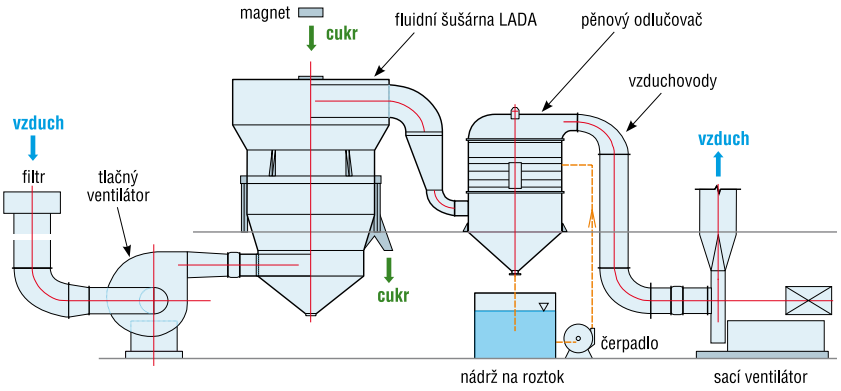
Dříve používané talířové a bubnové sušárny jsou nahrazovány fluidními sušárnami, ovšem v provozu se stále používají všechny typy.

Fluidní sušárny – princip fluidního sušení s fluidní sušárnou jsou na obr. 4. Jako příklad je možno uvést fluidní sušárnu cukru LADA-15 (obr. 5. a obr. 6.), jež byla ve VÚC Praha vyvinuta ve spolupráci s VŠCHT Praha a byla postupně instalována v mnoha

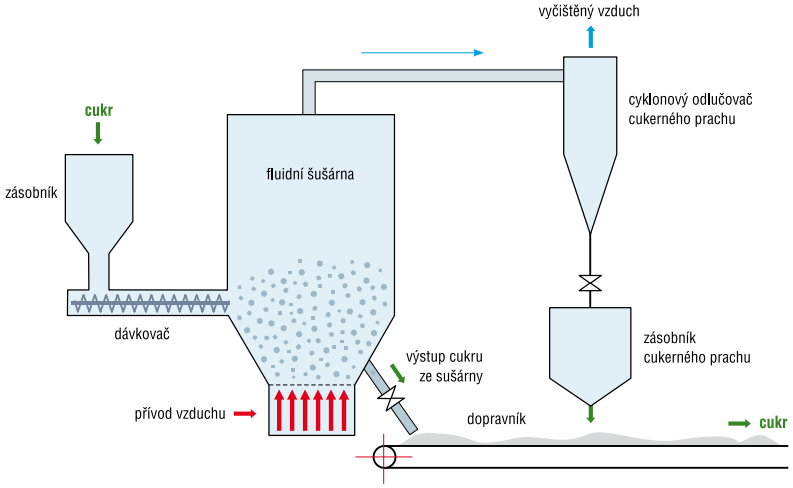
Obr. 4. Fluidní sušení cukru a fluidní sušárna LADA



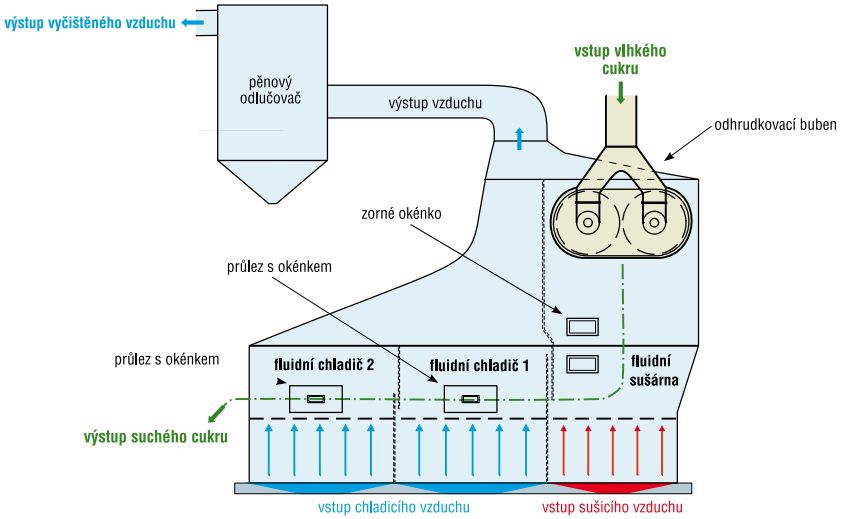
Obr. 5. Linka na sušení cukru s fluidní sušárnou LADA a pěnovým odlučovačem



Obr. 6. Technologické schéma linky na sušení cukru se sušárnou LADA a se zachycováním cukerného prachu v cyklonovém odlučovači



Obr. 7. Fluidní sušárna ZVU



cukrovarech v Česku. Postupně byla vyvinuta větší sušárna s výkonem 20 t·h^{-1} a 30 t·h^{-1}. Jsou to sušárny nenáročné na obsluhu a zastavěný prostor je vůči klasickým bubnovým sušárnám shodného výkonu nepoměrně menší, což je při rekonstrukcích cukrovarů na vyšší zpracovatelské kapacity zvlášť významné.

Funkční částí této sušárny je střední díl tvořený válcovou částí o průměru podle velikosti sušárny 2,0 – 3,1 m a kuželovým přechodem k podroštové části průměru 1,6 – 2,5 m. Do spodní podroštové části je tangenciálně tlačným ventilátorem vháněn neupravovaný sušící vzduch. Použitý vzduch s odloučenými prachovými částicemi o rozměru pod 0,25 mm je z vrchní separační části o průměru 2,6 – 3,8 m tangenciálně odsáván sacím ventilátorem přes pěnový odlučovač cukerného prachu. Celková výška sušárny je 5,7 – 6,6 m. Fluidní sušárna LADA pracuje za mírného podtlaku uvnitř zařízení, takže nedochází k významnému prášení do okolí. Technologické parametry sušáren LADA jsou uvedeny v tab. II. Při splnění parametrů vlhkého cukru a provozního vzduchu uvedených v tab. II. není nutno použít ohřevu vzduchu, což přináší vůči jiným sušárnám úsporu nákladů na topnou páru.

Pro všechny sušárny cukru bez ohledu na typ platí, že plnění čerstvě odstředěným cukrem musí být rovnoměrné. Nepatrné prodloužení doby sušení v bubnových sušárnách nemá vliv na konečnou (celkovou) vlhkost čerstvě usušeného cukru. Zbytková podpovrchová vlhkost se uvolňuje řadu dní (v závislosti na teplotě a jakosti cukru a eventuálně i parametrech provětrávacího vzduchu).

Dalším příkladem je fluidní sušárna FS (ZVU Hradec Králové) dodávaná v provozních výkonech 10, 16 a 25 t·h^{-1} (obr. 7.).

Klasické bubnové sušárny jsou stále používány, obrázky protiproudé bubnové sušárny ukazuje obr. 8. Jinou možností sušení a chlazení cukru je kombinace bubnové sušárny s turbinovým chladičem, jak ukazuje obr. 9.

Chlazení cukru

Chlazení krystalového cukru je operace, která nabyla na významu v souvislosti s rozvojem skladování cukru v silech. Do sil totiž, na rozdíl od tradičního pytlování cukru, musí být uskladněn cukr odprášený a ochlazený na teplotu blízkou teplotě skladovací. Toho lze dosáhnout pouze výkonným chladičem.

Chladič je zařízení, ve kterém je teplý, usušený cukr intenzivně profukován chladným (obvykle neupraveným venkovním vzduchem), takže kromě ochlazení dojde i k žádoucímu úletu prachových částic. Vzájemné uspořádání fází je při chlazení shodné jako při sušení, nejčastěji se používá chladičů s protiproudým nebo křížovým tokem fází. Z konstrukčního hlediska se nejčastěji používají chladiče bubnové a fluidní. Ty jsou často navrhovány jako součást sušárny cukru, což je výhodné z hlediska nižších investičních nákladů a menšího zastavěného prostoru. Z hlediska provozních nákladů a účinnosti procesu je výhodnější nezávislá instalace chladiče cukru co nejblíže silu.

Tab. II. Technologické parametry sušáren LADA

Parametr	Hodnota
Zrnitost sušeného cukru	0,6 – 1,0 mm
Podíl srostlic	max. 20 %
Celková vlhkost vlhkého cukru	max. 0,8 %
Teplota vlhkého cukru	max. 70 °C, min. 50 °C
Teplota suchého cukru	max. 15 °C nad teplotu provoz. vzduchu
Ztráta sušením suchého cukru	max. 0,08 %
– při teplotě provoz. vzduchu	20 – 30 °C
– relativní vlhkosti vzduchu	max. 30 %

V případě instalace chladiče těsně za sušárnou je chlazen čerstvě usušený a velmi teplý cukr, proto je potřebné množství chladicího vzduchu vysoké. Výhodou je společný sací ventilátor (pro sušárnu i chladič) a odlučovač cukerného prachu.

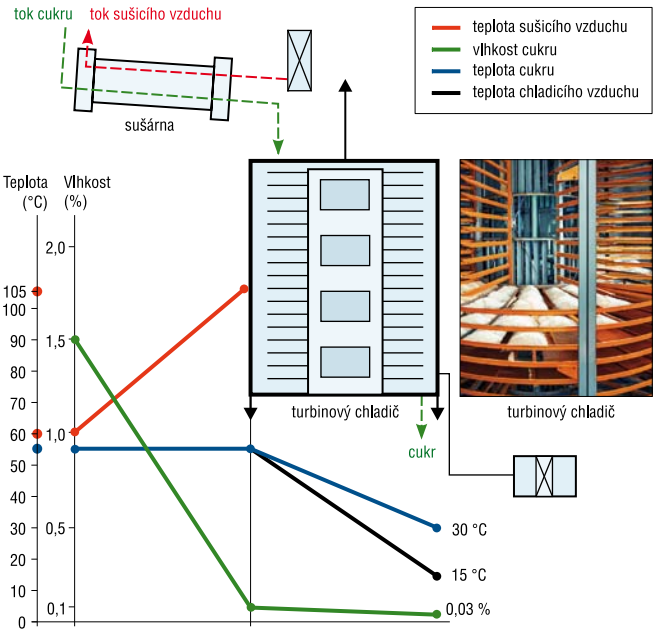
Při oddělené instalaci chladiče blízko sila (nebo balírny) je chlazen cukr o nižší teplotě, spotřeba chladícího vzduchu je tedy nižší. Teplý cukr navíc při dopravě od sušárny k chladiči ztrácí dokrystalizací část vázané vody, která by se jinak uvolnila až v sile. Tento úbytek vlhkosti je vlivem vyšší teploty větší než u chladného cukru za jinak stejných podmínek. Z tohoto hlediska a podle provozních zkušeností se jeví jako výhodná dlouhá dopravní trasa od sušárny k chladiči a silu.

Při návrhu chladiče, resp. stanovení potřebného množství chladícího vzduchu, vycházíme z běžných rovnic pro konvektivní přestup tepla z teplého cukru do chladicího vzduchu. Konečná teplota ochlazeného cukru bývá obvykle o cca 5 °C vyšší než teplota chladícího vzduchu, neměla by však nikdy poklesnout pod teplotu uskladňovaného cukru doporučenou výrobcem sila.

Stabilizace cukru

Jak již bylo uvedeno, po usušení obsahuje cukr ještě jisté, i když velmi malé, množství vlhkosti. Toto zbytkové množství vody, které činí zhruba 0,1 % (je rovno rozdílu mezi celkovou vlhkostí čerstvě usušeného cukru a rovnovážnou hodnotou, která je zhruba 0,05 % pro běžné druhy rafinády), je nutno před uskladněním cukru v neprovětrávaném sile odstranit. Tento proces nazýváme stabilizace cukru. Jedná se tedy o postupnou dokrystalizaci sacharosy ze zbytkové povrchové vrstvičky matečného sirobu na povrchu krystalu a odvedení dokrystalizací uvolněné vody do okolí. Tuto uvolněnou vodu je nutno bezpodmínečně odvést suchým provětrávacím vzduchem, protože jinak by vedla k mírnému rozpuštění povrchu krystalů a jejich následnému slepení (časem po ohřevu a následném odsušení). Stabilizace cukru probíhá buď za normální teploty v provětrávaném sile, nebo po kratší dobu (obvykle 24–48 h) při vyšší teplotě (obvykle 45–55 °C). Celková vlhkost cukru během stabilizace při teplotě 25 °C (tedy např. v provětrávaném sile) poklesne na bezpečnou hodnotu 0,05 % již za 5–6 dnů, při teplotě 45 °C tento děj probíhá pouze zhruba 36 h (pro kvalitní hrubý krystal).

Doba stabilizace je kromě teploty závislá na velikosti krystalu, obsahu popela a obsahu redukujících látek. Nejkratší dobu stabilizace má hrubozrnný krystal s nízkým obsahem popela a redukujících látek, jemné druhy cukru s vyšším obsahem popela a redukujících látek vykazují dobu stabilizace podstatně delší.

Obr. 8. Bubnová sušárna

Obr. 9. Průběh teplot a vlhkostí při sušení v bubnové sušárně s návazným chlazením cukru v turbinovém chladiči