CUKROVARNICKÁ TECHNOLOGIE – DÍL XXVI.

Skladování cukru

SUGAR TECHNOLOGY – PART XXVI: STORAGE OF SUGAR

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

Existují dva základní způsoby skladování krystalového cukru – v pytlích, nebo volně ložený v zásobnících a silech. Při tradičním způsobu skladování je cukr bezprostředně po odsušení a příp. třídění napytlován a uložen do halových skladů.

Sklady musí odpovídat hygienickým a bezpečnostním předpisům, zejména platí přísný zákaz kouření a manipulace s otevřeným ohněm. Elektrická instalace musí odpovídat prostředí s nebezpečím hořlavých prachů.

Sklad je nutno pravidelně větrat, relativní vlhkost vzduchu ve skladu by se měla pohybovat v intervalu 35–55 %. Prostředí ve skladu je nutno pravidelně kontrolovat a podle potřeby upravit. Je nutno počítat s tím, že cukr po naskladnění několik týdnů uvolňuje vlhkost, avšak uskladnění nestabilizovaného cukru ve vytopeném suchém skladu nutně vede ke ztvrdnutí uskladněného cukru. Jednou za tři roky je třeba sklad zcela vyprázdnit a vyčistit.

Skladování cukru v pytlích

Automatické pytlovací linky zajišťují plnění, vážení a uzavírání pytlů s cukrem. Výkon linek dosahuje 200 – 400 pytlů za 1 h. Při plnění je nutné dodržet maximální teplotu cukru 40 °C a relativní vlhkost vzduchu v rozmezí 50–60 %. Důležitým parametrem je rovněž dosažení minimálního množství vzduchu uzavřeného v naplněném pytli.

Obal reguluje proces migrace vzdušné vlhkosti. Částečně zachycuje průnik vnější vzdušné vlhkosti do cukru, brání však unikání vodní páry uzavřené v obalu s cukrem směrem ven. Pokud je vlhkost v obalu uzavřena, může to způsobit následné tvrdnutí cukru.

Na vlastnosti obalu jsou kladeny zvýšené nároky zejména při skladování a přepravě v extrémních podmínkách, například v přístavech nebo na lodích, kde může docházet k výraznému kolísání teploty i vlhkosti. Pro takové podmínky jsou proto vhodné obaly s nízkou propustností pro vodní páru.

Velkokapacitní halové sklady (obr. 1.) slouží k uložení většího množství pytlovaného cukru před jeho expedicí. V současnosti jsou pytle skládány na palety a obaleny zajišťovací fólií, kvůli rozložení zatížení se palety skládají maximálně ve 2 – 3 vrstvách na sebe. V dřívější době bylo běžné skladování pytlů pomocí ukládacího stroje do stohů neboli figur. Stohy se směrem nahoru kvůli stabilitě postupně zužují, nesmí být opřeny o stěny skladovací haly. Vzhledem k použití stohovaných paletá se u figur zatížení lépe rozkládá, jejich výška se pohybuje přibližně mezi 11 – 15 m, a to klade značné nároky jak na způsob ukládání, tak na pevnost obalového materiálu v tlaku.

Tradiční velkospotřebitelské obaly (15 – 100 kg)

Ke skladování bílého cukru ve velkospotřebitelských obalech se užívá pytlů jutových, jutových s PE vložkou, plastových (polypropylenových, polyethylenových, viscocelových) či papírových (eventuálně s PE vložkou). Hmotnost obsahu je 15 – 100 kg. Pro ukládání do stohů se však hodí jen větší pytle s hmotností obsahu 50 – 100 kg.

Big-bagy

Moderní alternativou klasického skladování cukru v pytlích je používání tzv. big-bagů o obsahu ca 1 t (obr. 3.). Velkoobjemové big-bagy se stohují speciálním pojízdným mechanismem běžně v 5 – 6 vrstvách nad sebou, viz obr. 4. Využití skladu je vyšší.

Obr. 1. Velkokapacitní halový sklad



Obr. 2. Velkokapacitní sklad zboží na paletách



Obr. 4. Manipulace s big-bagy ve skladu



Obr. 3. Big-bagy s uskladněným cukrem



Základní koncepce sil na cukr

Z fyzikálního hlediska existují čtyři základní typy sil na skladování cukru:
A – neprovětrávané silo s netopeným pláštěm,
B – neprovětrávané silo s topeným pláštěm,
C – provětrávané silo s netopeným pláštěm,
D – provětrávané silo s topeným pláštěm.

A – neprovětrávané silo s netemperovaným pláštěm

Tohoto způsobu skladování se používá především u klasických horizontálních sil (halových skladů), užívaných ke skladování surového cukru nebo u zásobníků umístěných uvnitř budov u velkoodběratelů volně loženého cukru.

V případě skladování čerstvě vyrobeného cukru v silech tohoto typu je bezpodmínečně nutné cukr před uskladněním stabilizovat ve speciálním zásobníku – odprášit a ochladit tak, aby ani v nejchladnějším místě sila nepřekročila rovnovážná relativní vlhkost vzduchu v mezikrystalovém prostoru příslušnou hodnotu tzv. mezní vlhkosti.

Praktická realizace těchto sil naráží na potřebu kvalitní izolace, obtíže s hermetičností sila za provozu a v neposlední řadě na potíže s vyskladňováním chladného cukru v období, kdy je jeho teplota nižší než teplota rosného bodu okolního vzduchu.

B – neprovětrávané silo s temperovaným pláštěm

Tento způsob, v minulosti značně rozšířený, byl využíván především u velkokapacitních sil Weibull (Švédsko), u řady starších sil v Německu a v České republice. Využíván je také u nízkokapacitních zásobníků v cukrovinkářském průmyslu. Ve většině případů je silo konstruováno tak, že vyhřívací vzduch je částečně vháněn i do prostoru nad uskladněným cukrem, kde má udržovat požadovanou atmosféru.

Při tomto způsobu skladování je nutné uskladňovat do sila cukr upravený tak, aby rovnovážná relativní vlhkost vzduchu v mezikrystalovém prostoru byla shodná s relativní vlhkostí vzduchu udržovanou v prostoru nad cukrem. Během skladování cukru v sile tohoto typu nesmí v žádném případě dojít k vysychání cukru, jinak zpravidla dochází k aglomeraci a následně k obtížím při vyskladňování. Zpravidla je třeba mezi sušárnu a silo zařadit tzv. stabilizační zásobník, ve kterém dochází k dokrystalizaci sacharosy v povrchové vrstvě krystalu – k tzv. stabilizaci cukru.

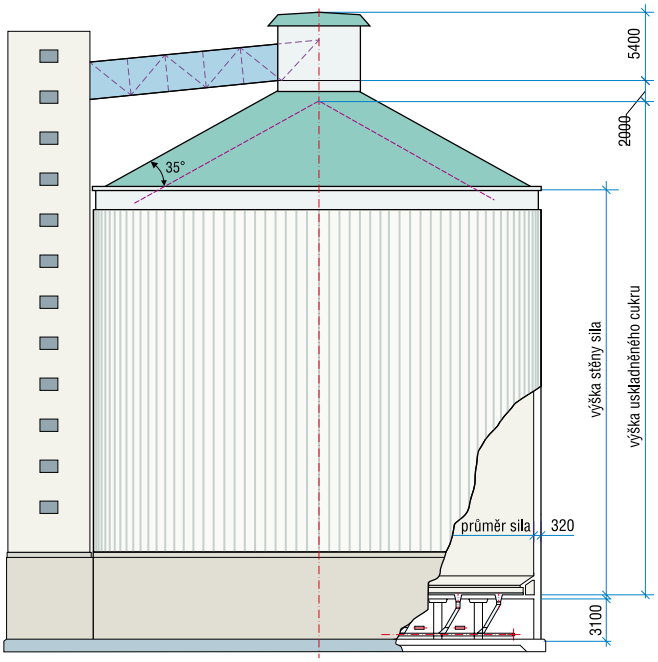
Ztráty tepla do okolí závisí na kvalitě použité izolace a jsou hrazeny vytápěním pláště sila. To může být teplovzdušně, vodní nebo elektrickými odporovými kabely.

C – provětrávané silo s netemperovaným pláštěm

Sila tohoto typu představují paralelní vývojovou větev, zavedenou pro zlepšení funkce původních sil typu A. Typickým představitelem této řady jsou sila Lucks (Německo), Chemadex (Polsko), DDS (Dánsko) a sila francouzská.

Vzduch, kterým je uskladněný cukr provětráván, plní současně dvě funkce – odvádí z povrchu krystalů vlhkost uvolněnou z podpovrchové vrstvy během stabilizace a současně hradí tepelné ztráty izolovaným pláštěm do okolí. Množství vzduchu potřebné

Obr. 5. Provětrávané betonové silo



pro hrazení tepelných ztrát pláštěm sila je mnohonásobně vyšší, než je množství vzduchu potřebné pouze pro odvedení uvolněné vody. Musí být proto upraveno (teplotně i vlhkostně) značně vysoké množství vzduchu s ohledem na přestup tepla pláštěm sila do okolí, a tím i ochlazení vzduchu (a též cukru) ve vyšších vrstvách sila. S rostoucí výškou vrstvy cukru roste i potřebný tlak vzduchu, což vzhledem k vysokému množství vzduchu je energeticky značně náročné. Přes tyto nedostatky se sila tohoto typu velmi rozšířila, protože jsou v provozu spolehlivá a mají dlouhou tradici.

D – provětrávané silo s temperovaným pláštěm

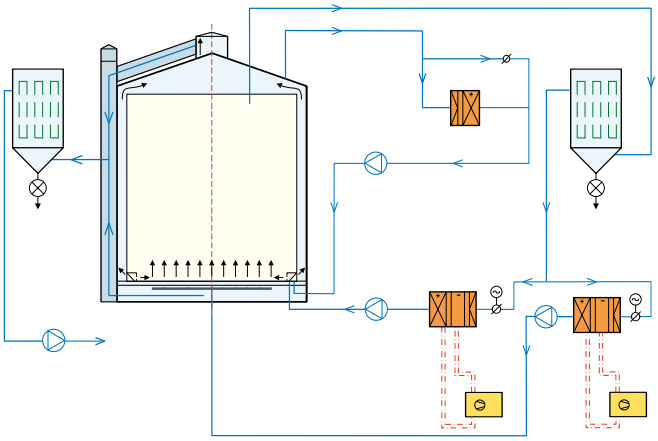
Tohoto způsobu skladování je užito především u sil s velkou skladovací kapacitou (až 65 000 t cukru). V silech tohoto typu je cukr během skladování kontinuálně (v období plnění sila a krátce po něm) nebo periodicky (v období tzv. klidného skladování) provětráván upraveným vzduchem, ovšem jen takovým množstvím, kterého je třeba k odvedení vody uvolňované cukrem v období stabilizace a k potlačení difuse vody v mezikrystalovém prostoru. Hrazení tepelných ztrát do okolí je zajištěno vytápěním pláště.

Některá sila využívají hybridních koncepcí, které vznikají kombinací popsaných základních typů. Běžný je popsaný přechod typu D na typ B v období klidného skladování. Často je kombinace výše uvedených systémů použito u sil vícebuňkových, kdy v některé z buněk probíhá stabilizace (provozováno většinou jako D), v jiných pak pouze skladování upraveného cukru (provozováno obvykle jako B).

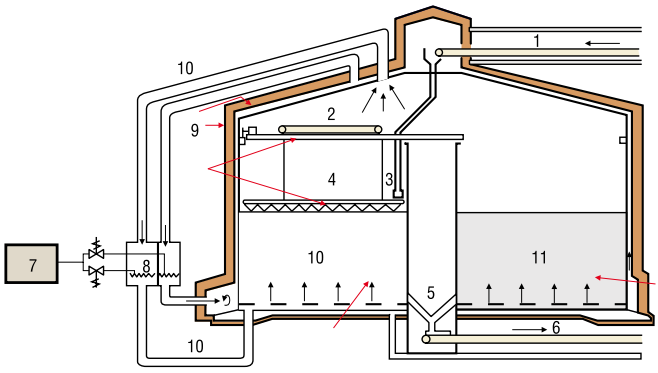
Vývojové změny ve stavbě sil

Na výstavbu sil se ve světě specializovala řada firem, z nich patří k nejvýznamnějším Lucks (SRN), Abay-ABR (Belgie), Weibull (Švédsko) a DDS (Dánsko). Každá z firem si vytvořila vlastní koncepci, kterou neustále zdokonaluje. Stavějí se sila

Obr. 6. Schéma topného a provětrávacího okruhu sila (ukázka sila TAKO)



Obr. 7. Schéma klimatizovaného sila Weibull



1 – vstup cukru, 2 – pohyblivý most, 3 – rozmetadlo, 4 – šnekový dopravník, 5 – vypouštěcí otvory, 6 – výstup cukru, 7 – ventilátor, 8 – radiátor na ohřev vzduchu, 9 – okruh vnější klimatizace (pláště sila), 10 – okruh vnitřní klimatizace sila (vrstvy cukru v sile), 11 – vrstva cukru v sile

betonová (robustní, dlouhá životnost, vyšší tepelná kapacita stěn) i ocelová (rychlejší výstavba, lehčí, levnější, náročné na údržbu), podsklepená (snadné vyprazdňování řadou otvorů ve dně, kde je též strojovna klimatizace a vytápění), nebo levnější pouze s chodbou pod silem (nutný je pak mechanismus k dovyprázdnění zbytku uloženého cukru), některé konstrukce sil mají i středovou věž (umožňuje stavbu sila o větším průměru, slouží současně i jako elevátorová a schodištní věž, bývá vybavena zařízením pro plnění a vyprazdňování cukru).

Optimální velikost sila je kolem 35 000 t uskladněného cukru, výjimečně se stavějí sila o vyšší kapacitě (až 65 000 t), výška vrstvy uskladněného cukru je max. 40 m (vzniká značně vysoké dynamické namáhání pláště sila při vyprazdňování).

Snahou všech výrobců je omezení jakýchkoli mechanismů uvnitř skladovacího prostoru, omezení namáhavé práce při vyprazdňování zbytků cukru, automatizace provozu. Všechna sila jsou provětrávaná.

Příkladem moderních provětrávaných sil jsou betonová sila dodávaná společností TAKO (Tažené konstrukce) Pardubice, vystavěná např. v cukrovarech Dobrovice (20 000 t, 32 000 t a 50 000 t) a Dunajská Streda (30 000 t). Schéma provětrávaného betonového sila je na obr. 5., schéma topného a provětrávacího

Obr. 8. Silo na 50 000 t cukru dodané společností TAKO



okruhu je na obr. 6., schéma klimatizovaného sila Weibull na obr. 7. a fotografie sila TAKO obr. 8.

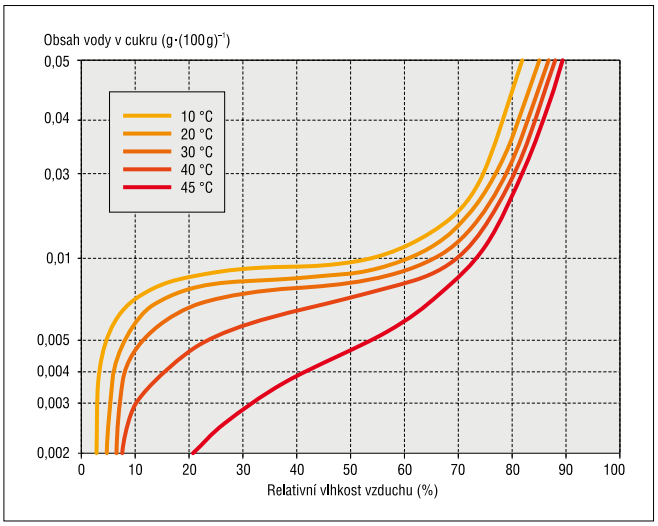
Sorpční isoterma

Čerstvě usušený cukr je nutné stabilizovat, aby došlo k dokrystalizaci sacharosy z povrchové amorfní vrstvičky. Tento proces probíhá v závislosti na podmínkách až tři týdny. Aby tento proces mohl probíhat, musí být parciální tlak vodní páry na povrchu krystalu vyšší než parciální tlak vodní páry v okolním vzduchu. V důsledku tohoto tlakového spádu dochází k odloučení krystalem uvolněné vody do okolního vzduchu. Rovnovážný stav cukru a okolního prostředí je dán tzv. sorpční isotermou (obr. 9.). Ta vyjadřuje závislost rovnovážné vlhkosti cukru na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Při vyšší teplotě nebo větším rozměru krystalu se křivka posouvá směrem k nižší vlhkosti cukru, při vyšším obsahu popela nebo redukujících látek je posun opačným směrem, tedy rovnovážná vlhkost cukru je při stejné relativní vlhkosti okolního vzduchu vyšší (obr. 10.).

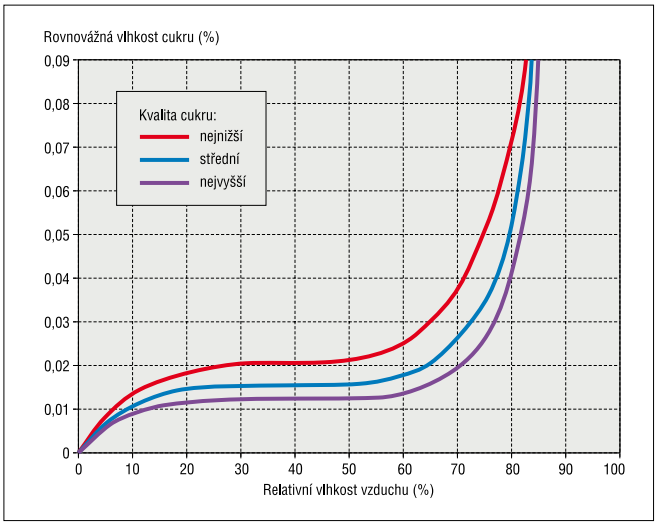
Mezní vlhkost

Pro skladování cukru v moderních provětrávaných silech, pro návrh jejich provětrávacího systému, je velmi důležitá znalost tzv. mezní vlhkosti. Termínem „mezní vlhkost“ je definována taková hodnota rovnovážné relativní vlhkosti vzduchu, pro kterou je při následném odsušení ještě zachována sypkost měřeného vzorku cukru.

Obr. 9. Sorpční izoterma bílého cukru pro různé teploty



Obr. 10. Teoretické průběhy sorpčních izoterem pro různé kvality cukru



Hodnota mezní vlhkosti krystalového cukru je nesmírně významná pro skladování cukru v sile. Aby při uskladnění cukru v sile nedošlo ke slepování a ztvrdnutí krystalů při částečném odsušení, nesmí hodnota relativní vlhkosti vzduchu v mezikrystalovém prostoru v žádném místě sila přesáhnout právě hodnotu mezní vlhkosti. Podle hodnoty mezní vlhkosti je dimenzován provětrávací okruh moderních provětrávaných sil (při výpočtu množství provětrávacího vzduchu je vlhkost využitého vzduchu rovna nejvýše hodnotě vlhkosti mezní). K tomu je nutno znát závislost mezní vlhkosti cukru na velikosti zrna, obsahu popela a redukujících látek.

Pro běžné druhy rafinády a bílého cukru je pro odhad hodnoty mezní vlhkosti možno použít vztahu (3):

$$v_m = 43{,}0 - 338{,}6\,A - 52{,}1\,RL + 17{,}0\,d \qquad (1).$$

Takto určená hodnota mezní vlhkosti velmi dobře vyhovuje při výpočtu množství provětrávacího vzduchu sila na cukr.

Nezbytnou dobu provětrávání (ve dnech) je možno určit podle obdobného vztahu (3):

$$\tau = \left(\frac{0{,}05}{v_0}\right)^{\frac{1}{b}} - 1\,(d) \qquad (2),$$

kde koeficient b (1) je dán rovnicí:

$$b = -0{,}14 - 0{,}64\,d + 4\,A + 4{,}8\,RL \qquad (3).$$

Hodnota celkové vlhkosti cukru 0,05 % ve vztahu je rovna rovnovážné vlhkosti dlouhodobě uskladněného cukru, kdy již nehrozí nebezpečí aglomerace.

Tímto způsobem je možno přizpůsobit provětrávací systém sila kvalitě skladovaného cukru.

Těchto vztahů, získaných vyhodnocením rozsáhlého souboru měření v řadě tuzemských cukrovarů, je možno použít pro cukr o středním rozměru zrna v intervalu 0,5 – 1,5 mm, s obsahem popela do 0,04 % a obsahem redukujících látek do 0,025 %, pro výpočet hodnoty mezní vlhkosti až do 0,05 %.

Opatření proti výbuchu cukerného prachu

Riziko výbuchu v cukrovarnické výrobě, především při finální výrobě a skladování, nelze podceňovat. Jemný cukerný prach (střední rozměr částic pod 0,04 mm) je látka velmi výbušná (spodní mez výbušnosti je 24 – 32 g·m^{-3}) a velmi náchylná ke vznícení elektrostatickou jiskrou (minimální iniciační energie je 0,09 – 0,41 J při koncentraci 830 – 1 300 g·m^{-3}).

Pro zabránění explozi cukerného prachu je třeba při skladování cukru dodržovat tato opatření:
– omezení vzniku cukerného prachu,
– prachotěsné elektrické pohony,
– omezení počtu pohonů v prašných místech,
– antistatické, nehořlavé materiály na dopravníkové pásy,
– uzemnění veškerých zařízení,
– neustálé odstraňování cukerného prachu,
– čištění podlah se musí provádět nejméně každých 8 h
– měření cukerného prachu ve vzduchu.

Literatura

1. Kavan, V.; Gebler, J.: Sušení a skladování cukru. In Bubník, Z. (ed.): *Úvod do cukrovarnické technologie*. VŠCHT a VUC Praha, 2006.
2. Rogé, B.; Mathlouthi, M.: *Facteurs affectant la maturation et le stockage du sucre cristallisé*. AVH Association – 8th Symposium, Reims, France, March, 2001, s. 1–9.
3. Kavan, V.: Sušení a skladování cukru. In Bubník, Z. (ed.), *Nové směry v technologii cukru*. VŠCHT a VUC Praha, 1997.

Obr. 11. Pohled do sila před začátkem plnění cukrem (silo na 50 tis. t cukru v Dobrovici, 2025)

