

CUKROVARNICKÁ TECHNOLOGIE – DÍL XVI.

Odpařování šťáv – základní pojmy, odpařováky

SUGAR TECHNOLOGY – PART XVI: JUICE EVAPORATION – BASIC DEFINITION, EVAPORATORS

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

Odpařování šťáv probíhá na odparce, která je tvořena sérií zpravidla 4–6 odpařováků. Úkolem odparky je zahustit lehkou šťávu, které bývá kolem 110 % ř. s obsahem sušiny asi 16–17 % na těžkou šťávu v množství 25–30 % ř. o obsahu sušiny 60–70 %. Jedná se tedy o odpaření 80–83 % vody ř. Dalším úkolem odparky je zásobit provoz cukrovaru potřebnou topnou párou na účelové ohřevy (1, 2, 3).

Typické schéma odparky s vyznačenými odběry brýd pro technologické náhřevy je znázorněno na příkladu pětičlenné odparky na obr. 1.

Základní vztahy a pojmy

Množství odpařené vody G_w (% ř.)

$$G_w = G_1 \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right) \quad (1)$$

kde G_1 je množství lehké šťávy (% ř.), S_1 je sacharizace lehké šťávy (%) a S_2 je sacharizace těžké šťávy (%); pro $G_1 = 110$ %

$S_1 = 16$ %, $S_2 = 65$ %, pak je $G_w = 83$ % ř. K odpaření m_w (kg) vody se spotřebuje teplo Q_w (kJ):

$$Q_w = m_w \cdot r \quad (2)$$

kde r je výparné teplo vody při teplotě t (kJ·kg⁻¹). Hrubým předpokladem vychází, že na odpaření 1 kg vody ze šťávy ohřáté k bodu varu se spotřebuje 1 kg páry.

Praktická orientační spotřeba páry v několikanásobné odparce G_p (% ř.):

$$G_p = \frac{G_w}{0,85 n} \quad (3)$$

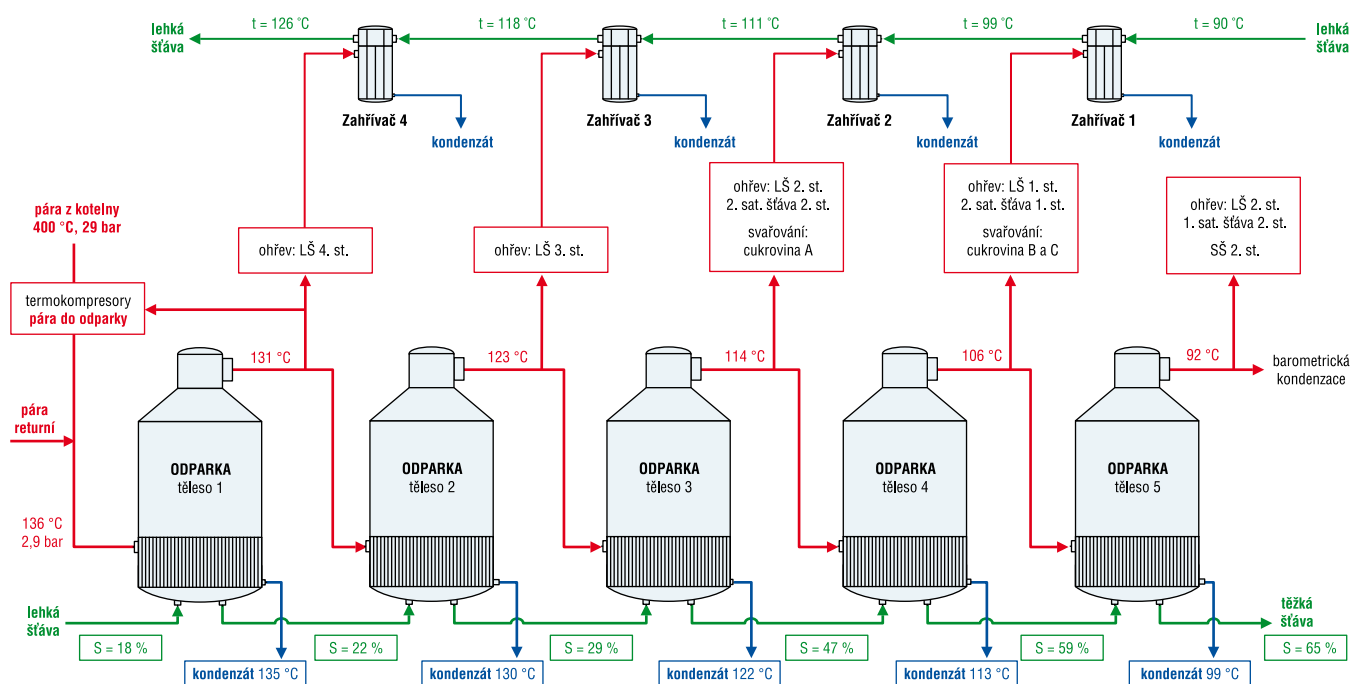
kde n je počet stupňů odparky.

Teplota kondenzátů (pro odpařováky) (5):

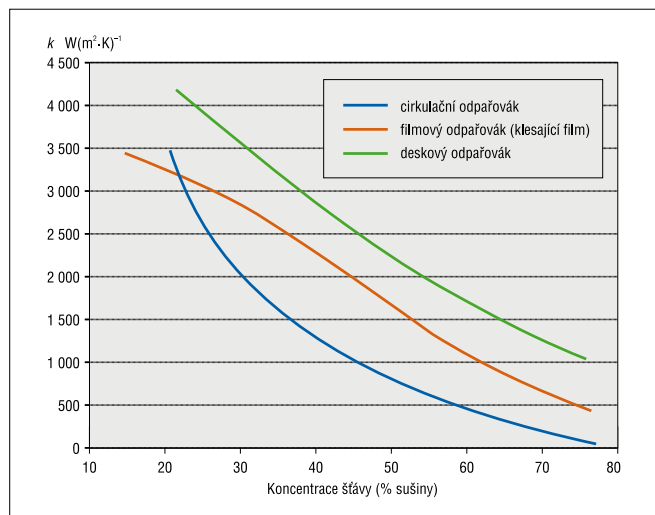
$$t_k = \frac{3 t_p + t_b}{3} \quad (4)$$

kde t_k je teplota kondenzátů (°C), t_p je teplota páry (°C), t_b je teplota brýdové páry (°C).

Obr. 1. Zjednodušené schéma pětičlenné odparky s vyznačenými odběry brýd pro technologické náhřevy



Obr. 2. Součinitel přenosu tepla pro cirkulační, filmové a deskové odpařovávky (2, 4)



Charakteristickým ukazatelem přenosu tepla je součinitel prostupu tepla k ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$). Závislost součinitele prostupu tepla na sušině šťávy v průběhu odpařování ukazuje pro jednotlivé typy odpařovávky obr. 2.

Tepelný výkon odparky $\dot{Q}$ (W):

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta t \quad (5)$$

kde k je součinitel prostupu tepla ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$), A je velikost topné plochy (m^2) a Δt je užitečný teplotní rozdíl mezi teplotou páry a šťávy ($^{\circ}\text{C}$).

Podle velikosti užitečného teplotního rozdílu Δt vychází velikost teplosměnné plochy daného stupně. Čím je více stupňů odparky, tím menší je Δt v jednotlivých stupních a tím i větší teplosměnná plocha. Je-li $n > 6$ je však vysoký nárůst investičních prostředků.

Závislost součinitele prostupu tepla k na teplotě t a sacharizaci S odpařovaného roztoku vyjadřuje též následující empirický vztah:

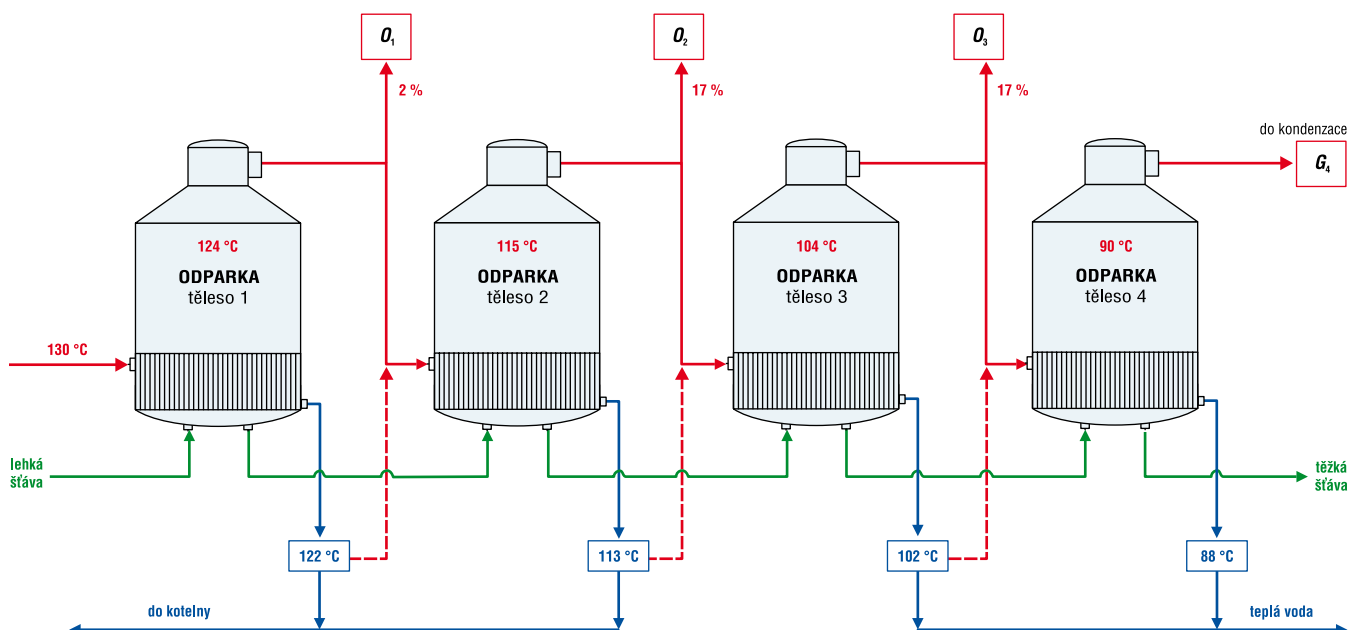
$$k = \text{konst} \cdot \frac{t}{S} \quad (6)$$

Odparky a jejich uspořádání

Pára (vratná, redukovaná) se přivádí do prvního tělesa odparky a odparem (brýdovou párou) se postupně vyhřívají další tělesa. Počet stupňů bývá obvykle 4 až 6, výhledově se uvažuje až 8. Přebytná pára z jednotlivých těles se používá k ohřevu dalších spotřebičů výrobní linky cukrovaru, zbytek se vede do kondenzace. Topné plochy jednotlivých těles se dimenzují podle zpracování závodu. Při výpočtu se bere ohled na hodnotu součinitele prostupu tepla, na vznik inkrustací ze šťáv během odpařování, na odvod kondenzátů a na další faktory ovlivňující vlastní proces odpařování cukerných roztoků. Pro výpočty odparek a tepelné bilance jsou nyní k dispozici počítačové programy, které současně slouží i při navrhování automatizace provozu. Odparka funguje z hlediska tepelného hospodářství cukrovaru jako regulátor, resp. dělič tepelných toků k jednotlivým spotřebičům. Proto při různých úpravách technologie musí být vzat v úvahu dopad takového zásahu na celý odpařovací systém včetně kotleny.

Uspořádání odparek prošlo historickým vývojem od tzv. čisté odparky (podle Francouze Rillieuxe, bez odběrů brýd), přes kombinovanou odparku až k odparce tlakové (5). V tab. I. jsou porovnány jak technologické parametry topné páry (teplota, tlak), tak teploty varu v jednotlivých tělesech a především výše odběrů brýd z jednotlivých těles. Porovnájí-li se účelové náhřevy, které pokryjí brýdy z jednotlivých těles odparky, tak je zřejmá energetická výhodnost tlakové odparky, která umožňuje odběr brýd i ze 3. tělesa. Celková spotřeba páry na odparku a pokrytí všech účelových náhřevů se u tlakové odparky v tomto případě snížila až na 36,75 % ř.

Obr. 3. Schéma čtyřčlenné tlakové odparky s vyznačením odběrů (2)



Pro další příklad a bilanci odparky použijeme čtyřčlennou tlakovou odparku (obr. 3). Odpar v jednotlivých tělesech G_1 až G_4 a odběry brýdových par z jednotlivých těles pro účelové náhřevy O_1 až O_3 jsou vyjádřeny jako množství (% ř.). Vztahy (7–12) ukazují postup výpočtu ztrát do kondenzace G_4 (% ř.):

$$\text{– odpar v 1. tělese} \quad G_1 = O_1 + O_2 + O_3 + G_4 \quad (7),$$

$$\text{– odpar v 2. tělese} \quad G_2 = O_2 + O_3 + G_4 \quad (8),$$

$$\text{– odpar v 3. tělese} \quad G_3 = O_3 + G_4 \quad (9),$$

$$\text{– odpar v 4. tělese} \quad G_4 = G_4 \quad (10),$$

$$G_w = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = O_1 + 2 O_2 + 3 O_3 + 4 G_4 \quad (11),$$

$$G_4 = \frac{G_w - (O_1 + 2 O_2 + 3 O_3)}{4} \quad (12).$$

Pro maximálně ekonomický provoz odparky je nutné: maximálně snížit ztráty do kondenzace, tj. hodnotu G_4 a zvýšit odběry brýd ze všech těles, především ze třetího tělesa. K úspoře páry se využívá běžně těž expanze kondenzátů ze sborníků (5).

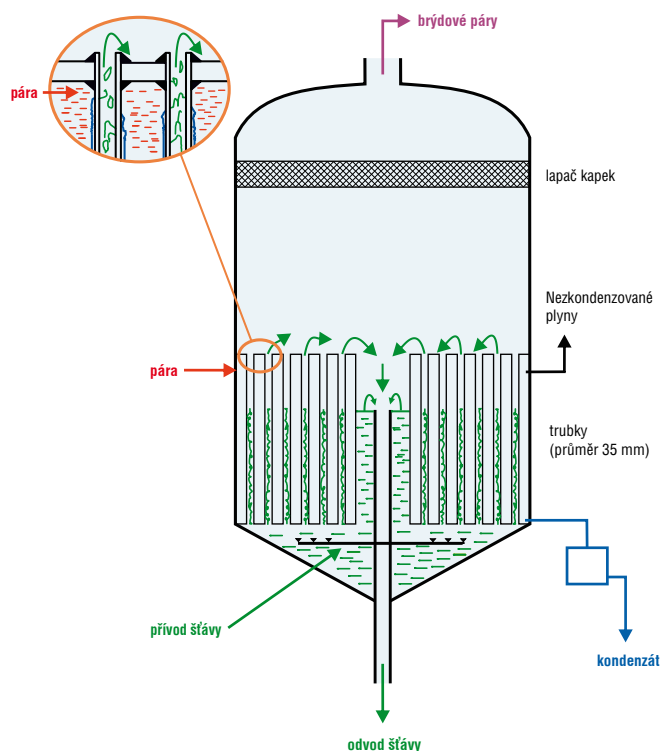
Odpařovárky

Odpařovárky používané v cukrovařech je možné rozdělit podle konstrukce do několika základních typů, které se liší geometrií vnitřního uspořádání a způsobem ohřevu:

- trubkové cirkulační se zatopenou komorou – typ Robert,
- průtokové s filmovou vrstvou odpařované šťávy (klesající nebo stoupající),
- deskové.

U Robertových trubkových cirkulačních těles (obr. 4.) se přivádí lehká šťáva pod trubkovou komoru a zaplňuje trubky do určité výšky, při varu šťáva stoupá trubkami topné komory

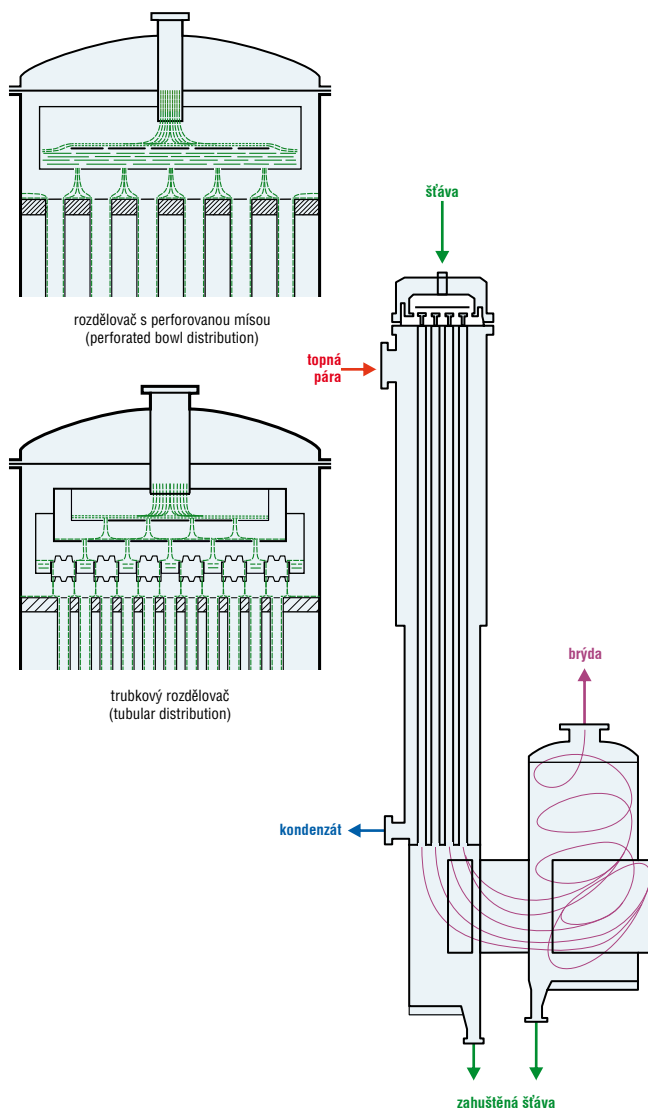
Obr. 4. Trubkový cirkulační odpařovák – typ Robert (2)



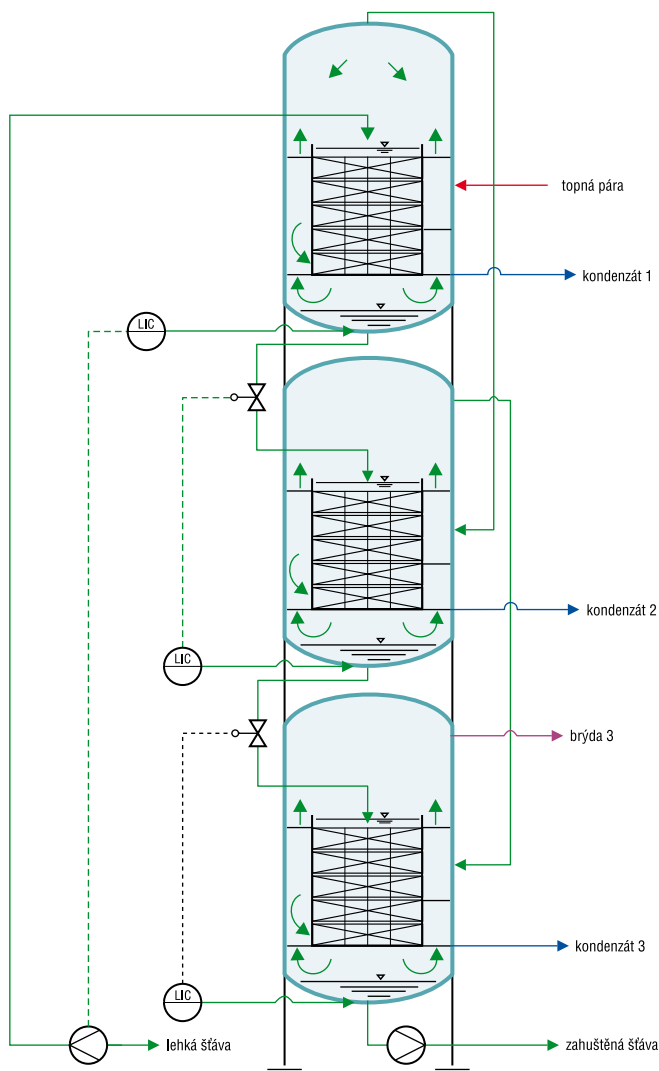
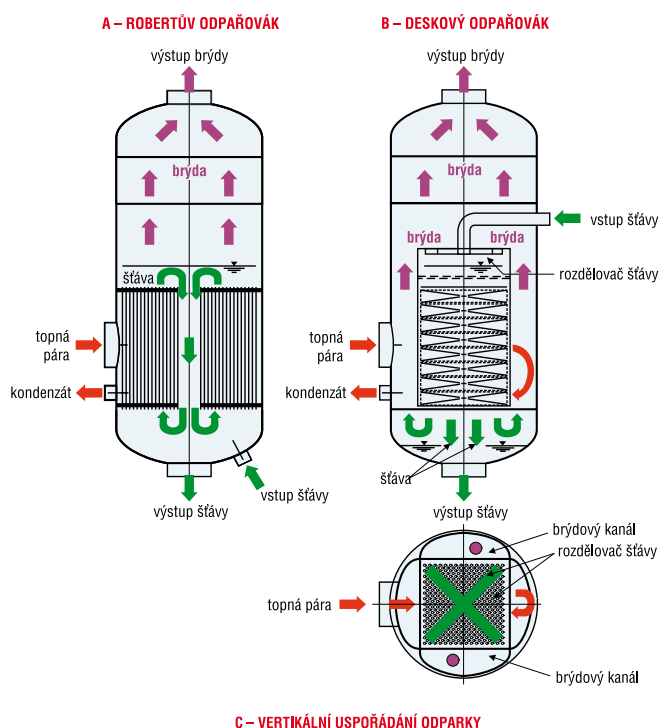
Tab. 1. Srovnání parametrů u odparky čisté, kombinované a tlakové pro odtah 120 % n. ř. a odpaření vody 90 % n. ř. (2, 5)

Parametry	Odparka čistá (Rillieux)	Odparka kombinovaná	Odparka tlaková
Topná pára teplota (°C)	110	120	130
Topná pára tlak (MPa)	0,03–0,05	0,11	0,29
Teplota v 1. tělese (°C)	108	114	124
Teplota ve 2. tělese (°C)	92	105	115
Teplota ve 3. tělese (°C)	80	90	104
Teplota ve 4. tělese (°C)	60	65	90
Odběry 1. brýdy (% ř.)	0	15	2
Odběry 2. brýdy (% ř.)	0	19	17
Odběry 3. brýdy (% ř.)	0	0	17
Účelové náhřevy (% ř.)	34	34	36
Spotřeba páry na odparku a účelové náhřevy (% ř.)	56,50	43,25	36,75

Obr. 5. Odparka s filmovými odpařovárky (2)



Obr. 6. Deskový odpařovák a uspořádání odparky s deskovými odpařováky (2)



směrem nahoru (tento pohyb je akcelerován vznikajícími bublinkami odpařované vodní páry, které rovněž stoupají nahoru) a středovou cirkulační rourou se šťáva vrací (cirkuluje dolů pod topnou komoru). Zahuštěná šťáva z odpařováku odchází přepadem do trubky umístěné v cirkulační rourě.

U filmových odpařováků (obr. 5.) se voda ze šťávy odpařuje v tenkém splývavém filmu vytvořeném uvnitř trubky (podle uspořádání nátoky se může jednat o stoupající nebo klesající vrstvu filmové vrstvy odpařované šťávy). Filmové odparky mají větší výkon, ale jejich choulostivou částí je rozdělovací element, který musí vytvářet dokonalý splývavý film šťávy, pohybující se po povrchu trubek.

Existují i kombinované odparky sestavené z trubkových těles a z těles filmových. Někdy se instaluje do systému odparky tzv. „předvářec“. Toto těleso se vyhřívá redukovanou párou a brýda z něj se vede do topné komory 1. tělesa společně s returní párou – soustava pak funguje jako termokompresor.

U deskových odpark (obr. 6.) je topná komora tvořena blokem desek, které mohou být v odpařováku umístěny podobně jako v cirkulačním trubkovém odpařováku, kde uprostřed mezi topnými komorami je cirkulační roura (obr. 6.A), nebo je desková topná komora umístěna uprostřed odpařováku (obr. 6.B). Deskové odpařováky mohou být v odparkě uspořádány jak horizontálně, tak i vertikálně nad sebou (obr. 6.C).

Literatura

1. HENKE, S. ET AL.: *Technologie cukru*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2024.
2. KADLEC, P. ET AL.: *Přednášky z Technologie cukru pro bakalářské a magisterské studium*. Praha: FPBT VŠCHT, 2022.
3. KADLEC, P.: Technologie cukru. s. 429–448, In KADLEC, P.; MELZICH, K.; VOLDŘICH, M. (ED.) ET AL.: *Technologie potravin – Přehled tradičních potravinářských výrobníků*. Ostrava: KEY Publishing, 2012, 569 s.
4. WITTE, G.; CRONEWITZ, T.: Heat-transfer, residence time distribution and color formation in evaporators. *Zuckerind.*, 140, 1988, s. 479–487.
5. BRETSCHNEIDER, R.: *Technologie cukru: surovarna a rafinerie*. Praha: SNTL, 1980, 424 s.

