

CUKROVARNICKÁ TECHNOLOGIE – DÍL XVII.

Odpařování šťáv – komprese brýdové páry, hlavní zásady a závady při provozu odparky, cukrovarnická energetika

SUGAR TECHNOLOGY – PART XVII: JUICE EVAPORATION – WASTE VAPOUR COMPRESSION,
MAIN PRINCIPLES AND FAULTS DURING EVAPORATION, ENERGY IN SUGAR FACTORIES

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

Komprese brýdové páry

Ke kompresi páry se používají parní kompresory, které mohou být proudové či mechanické. Proudový kompresor (termokompresor, parní injektor) využívá ke své činnosti ostrou páru proudící vysokou rychlostí z trysky do úzkého hrdla Venturiho trubice a strhává s sebou páru o nižších parametrech. Mechanické kompresory (turbokompresory či turbodmychadla) jsou poháněné elektromotorem. Cílem je v obou případech vylepšit energetické parametry brýdové či vratné páry (1–4).

Na schématu obr. 1. jsou znázorněny 3 příklady spotřeby a úspory páry:

- nejméně hospodárné by bylo odpařování u jednočlenné odparky, kde je nutno na odpaření 1 kg vody použít 1 kg páry, tj. spotřeba páry je 100 %;
- u čtyřčlenné odparky bez odběrů brýd je spotřeba páry na odpaření 1 kg vody 25 %, protože se jedná o čtyřnásobné využití páry;

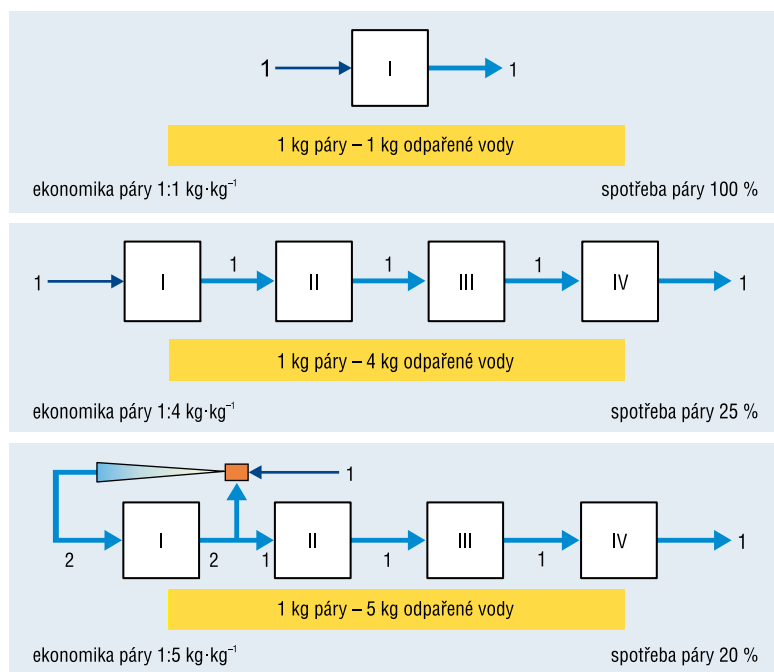
- při zařazení termokompresy brýdové páry z prvního tělesa čtyřčlenné odparky se spotřeba páry sníží na 20 %, tzn. že zařazení termokompresy se projeví ve snížení spotřeby páry stejně, jako by se zařadil do odparky další člen.

Zásady správného provozu odparky

Mezi hlavní zásady správného provozu odparky patří pravidelné sledování následujících parametrů:

- udržování optimální výšky hladiny šťávy v trubkách topné komory,
- sledování teplot a tlaků v parním i brýdovém prostoru,
- rovnoměrný odběr brýd,
- udržování podtlaku v posledním tělese odparky,
- odvod nezkondenzovatelných plynů a odvod kondenzátů z topných komor jednotlivých odpařováků,
- použití protiinkrustačních prostředků.

Obr. 1. Úspora páry při využití termokompresoru



Nezkondenzovatelné plyny obsahují vzduch, CO_2 a NH_3 . Pro správný chod odparky je nutné tyto nezkondenzovatelné plyny z topných komor odvádět, z každého tělesa odparky samostatně. Nezkondenzovatelné plyny obsahují zbytkové teplo, a proto je účelné toto teplo úplně využít k účelovým náhřevům. Při nedostatečném odvodu nezkondenzovatelných plynů dochází k omezování vstupu topné páry do topné komory, ke snížení součinitele prostupu tepla a teploty.

Z topných komor jednotlivých odpařováků je nutno rovněž odvádět kondenzáty přes odváděče kondenzátů do sborníků. Nedostatečné odvádění kondenzátů způsobuje zhoršený přestup tepla v důsledku zaplnění topné komory kondenzátem.

Ve sborníku kondenzátů dochází k poklesu tlaku, kondenzát se ochlazuje a samoodpařením se z něho uvolňuje pára, která je odváděna vyrovnávacím potrubím v odparce do páry o stupeň nižší. Tomuto jevu se říká expanze (uvolnění) kondenzátů. Teplota kondenzátů ve sborníku je zpravidla o 2°C nižší, než je teplota varu šťávy.

Kondenzáty z odparky se používají jako napájecí voda do kotelny (jedná se o kondenzáty z vratné,

redukované nebo 1. brýdové páry). Tyto kondenzáty musí být zaručeně beze stop cukru. Přítomnost stop cukru v napájecích vodách by znamenala při vysokých teplotách v parním kotli rozklad cukru na karamelové produkty, které by se spékaly na topných stěnách trubek v kotli a mohly by vést až k havárii kotle. Kontrola přítomnosti cukru se provádí chemicky α -naftolovou zkouškou nebo pomocí příslušného analyzátoru (citlivost $0,03 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$). Kondenzáty z 2. a 3. brýdy se využívají jako horká voda v technologii.

Závady při provozu odparky

K hlavním závadám, které se vyskytují při provozu odparky, patří ukazatele shrnuté v následujících bodech:

- malý výkon, nízká sacharizace těžké šťávy,
- kolísání sacharizace těžké šťávy,
- vysoké ztráty cukru,
- vysoký přírůstek obsahu barevných látek,
- velká spotřeba páry.

Chemické změny a reakce při odpařování, tvorba inkrustací

Při odpařování šťáv probíhá řada fyzikálních a chemických procesů, při kterých dochází k následujícím chemickým změnám a reakcím:

1. Pokles alkality:
 - rozdíl mezi pH lehké a těžké šťávy,
 - rozklad amidů a invertního cukru,
 - v brýdových párách a kondenzátech odchází NH_3 , CO_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$,
 - nadměrný pokles alkality – špatná práce na epuraci (nízké teploty, krátké doby).
2. Rozklad sacharosy:
 - závisí na teplotě a době,
 - nutno zkrátit dobu zdržení šťávy zejména v prvních tělesech, kde jsou vysoké teploty.
3. Zvýšení koncentrace barevných látek:
 - nedokonalé vyčištění šťávy během odpařování značně tmavnou, zvláště při pH 10,
 - preventivní účinek sřídění lehké šťávy před odparkou.
4. Vznik inkrustací:
 - lehká šťáva je nasyceným roztokem málo rozpustných vápenatých solí,
 - tepelný rozklad solí rozpuštěných v lehké šťávě, zejména hydrogenuhličitanů,
 - vznik šťavelanových inkrustací – oxalogenní reakce při čerání,
 - preventivní opatření před vznikem inkrustací:
 - dokonalé odstranění zeminy a písku při praní řepy,
 - výběr vápence s minimálním obsahem křemičitanů,
 - energetické čerání,
 - dodržování optimální alkality 2. saturace,
 - dodržování teplotního režimu na epuraci,
 - použití protiinkrustačních prostředků.

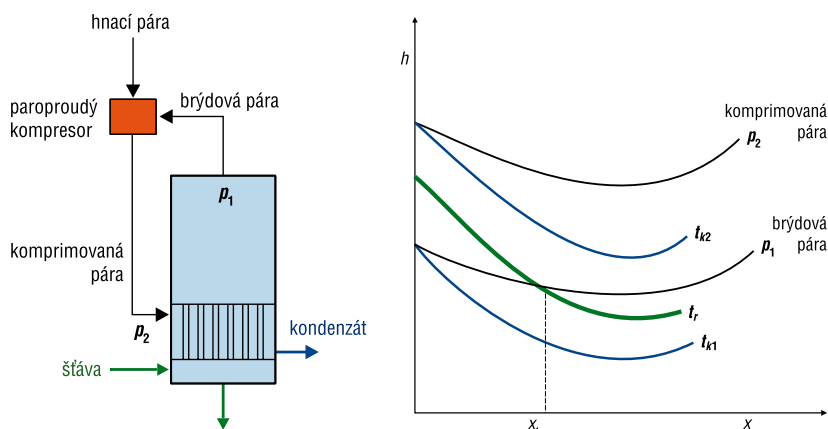
Tab. I. Porovnání tepelných vodivostí materiálů odparek a inkrustací

Materiál trubek	Tepelná vodivost ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
ocel	50
měď	380
inkrustace uhličitan – šťavelan	2
inkrustace křemičitan – šťavelan	0,5

Inkrustace o tloušťce 0,5 mm způsobuje snížení tepelného výkonu odpařovací stanice až o 50 %.

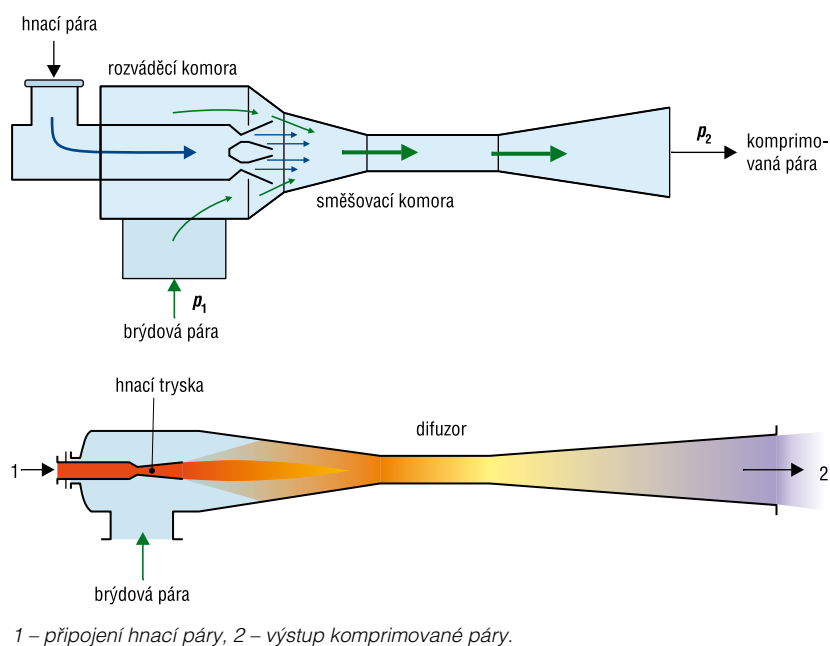
V tab. I. jsou uvedeny hodnoty tepelných vodivostí kovových materiálů trubek a inkrustací. Složení inkrustací v jednotlivých

Obr. 2. Odparka s kompresí brýdových par



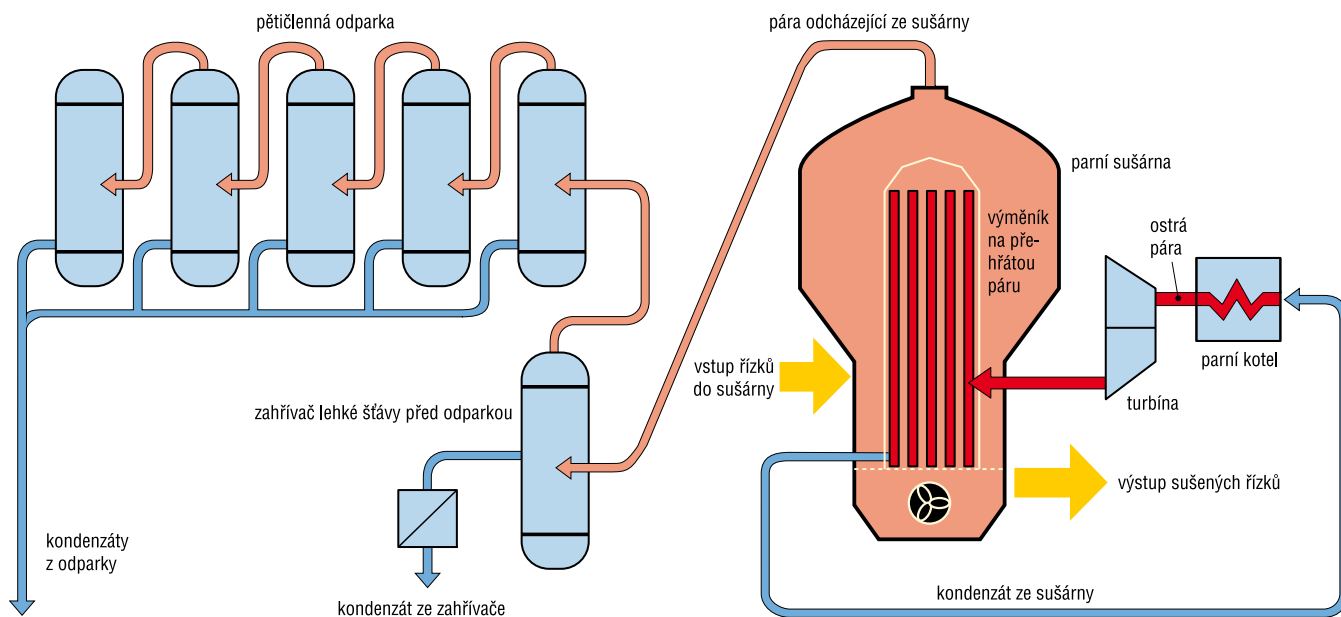
p_1 – tlak páry v odparce, p_2 – tlak komprimovaných brýd, t_{k1} – teplota kondenzátu, t_{k2} – teplota kondenzátu, t_r – teplota šťávy. Rychlost průtoku páry po průchodu kompresorem klesá, kinetická energie se mění ve vnitřní energii za současného zvýšení tlaku a enthalpie páry.

Obr. 3. Parní proudový kompresor



1 – připojení hnací páry, 2 – výstup komprimované páry.

Obr. 4. Parní systém v cukrovaru se sušárnou řízků přehřátou párou



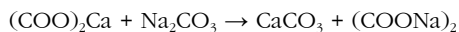
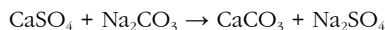
tělesech odparky se zpravidla liší, obsahují především tyto vápenaté soli:

- 1. těleso: CaCO_3 , CaSO_4 , CaSO_3 ,
- 2. těleso: CaSO_4 , CaSO_3 , CaSiO_3 , $\text{Ca}(\text{COO})_2$,
- 3. a 4. těleso: CaSiO_3 , $\text{Ca}(\text{COO})_2$.

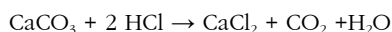
Jako protiinkrustační prostředky se používají např. polyakrylové deriváty, anionaktivní inhibitory a dispergační prostředky. Jejich účinkem se narušuje krystalická struktura inkrustací již při jejich tvorbě a tím zabraňují tvorbě nových inkrustací a rovněž usnadňují rozpad starých inkrustací. Protiinkrustační prostředky se dávkuje do 1. tělesa odparky v množství cca 10–30 ppm ($= \text{g} \cdot \text{t}^{-1}$); důležité je samozřejmě dokonalé rozmíchání prostředku ve šťávě a zajištění dostatečné kontaktní doby. Výsledným efektem pak je rovnoměrný provoz odparky bez potřeby chemického vyváření v průběhu kampaně.

Po kampani je nutno inkrustace odstranit chemickým vyvářením odparky. To se provádí většinou ve dvou stupních: nejprve se převedou nerozpustné vápenaté soli na uhličitany a pak se uhličitany rozpustí:

- 1. stupeň převedení nerozpustných vápenatých solí na uhličitany, vařením s 5% roztokem uhličitany sodného po dobu 4–6 h:



- 2. stupeň rozpuštění uhličitany, vařením s 1–3% roztokem kyseliny chlorovodíkové po dobu 45 min:



Těžká šťáva

Sacharizace těžké šťávy má být v rozsahu 60–70 %, bývá okolo hodnoty $S = 65 \%$; čistota těžké šťávy je $Q = 93–94 \%$.

Hodnoty sacharizace okolo 70 % jsou již maximální, těžká šťáva je při 30 °C téměř nasycena, jejím ochlazením dochází ke krystalizaci cukru, který se usazuje v potrubí a čerpadlech. Šťáva o takovéto sacharizaci má rovněž vysokou viskozitu, která ztěžuje filtraci.

Alkalita těžké šťávy se pohybuje v rozsahu 0,02–0,03 $\text{g CaO} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$, její pH je 9–9,5 a obsah rozpustných Ca^{2+} solí (tvrdost, závápnění) 0,05 $\text{g CaO} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$. Barva je zpravidla hnědá a těžká šťáva má jemný zákal. Pro ochranu těžké šťávy před změnami barvy se šťáva síří a filtruje na naplavovacích nebo síťových filtrech. Konečná alkalita těžké šťávy po síření je 0,01–0,02 $\text{g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$.

Těžkou šťávu je možné skladovat, její skladování je asi 3× levnější než skladování bílého cukru v silech. Těžkou šťávu, resp. její hladinu ve skladovacím tanku, je ovšem nutné dezinfikovat, např. formaldehydem či směsí formaldehydu s methanolem. Ke skladování je vhodná šťáva o $S = 67–69 \%$, $Q > 85 \%$, pH 8,5–9,0 a teplotě 15 °C.

Cukrovarnická energetika a některá moderní energetická uspořádání

K základním otázkám moderního cukrovaru v budoucnosti patří:

- Je cukrovar spotřebitel nebo výrobce energie?
- Potřebuje cukrovar vnější zdroje energie?
- Jaké druhy paliva jsou perspektivní?

V oblasti energetiky je potřeba vycházet z energetické politiky Evropské unie i dalších doporučení světových organizací. Vedle klasických fosilních paliv (uhlí, ropa a zemní plyn), jejichž užití bude stále více omezováno, přicházejí pro cukrovar jako možné alternativy v úvahu:

- přívod páry z vnějšího zdroje – závisí na poloze cukrovaru a dopravních nákladech,
- bioplyn z vlastní biologické čistírny odpadních vod, ale jen jako pomocný zdroj,

- bioplyn při komplexním (kombinovaném) zpracování cukrovky,
- sušené řízky – Spalování sušených řízků jako možný zdroj energie pro cukrovar bez jejího vnějšího zdroje? Postupem by tak bylo lisování řízků na vysokou sušinu 28–35 %, sušení řízků přehřátou párou a spalování sušených řízků ve formě pelet.

Poslední uvedený příklad sušení lisovaných řízků přehřátou párou je významný v tom, že zásadně zasahuje do parního energetického systému celého cukrovaru (obr. 4.) (4). Pára cirkuluje přes výměník topený párou (2,5 MPa), umístěný uprostřed sušárny, kde se přehřívá a vstupuje do spodní části fluidní sušárny. Zde je ve fluidním stavu v kontaktu se sušenými řízky, v horní části sušárny se z páry odloučí prach a poté se vrací zpět do výměníku. Část páry, odpovídající množství vlhkosti odpařené z řízků, se odvádí ze sušárny. Protože tato pára má tlak 0,3 MPa, lze ji využít jako topnou páru, např. na odparce.

Výhřevnost sušených lisovaných řepných řízků odpovídá lignitu. Potřeba pro celou technologii by byly asi tři čtvrtiny produkce těchto řízků (např. v cukrovaru o výkonu 10 000 t·d⁻¹ ř. činí výroba navíc 21 MW). Peletované sušené řízky mají výhřevnost 17 000 kJ·kg⁻¹ (pro porovnání např. topný olej 29 000 kJ·kg⁻¹).

Důležitým faktorem pro tuto aplikaci je, zda na pelety sušených řízků (v podobě paliva) bude v Evropské unii uplatněna daň a oxid uhličitý z pelet se bude započítávat do emisí (limity), neboť pochází ze suroviny zpracované v tomtéž roce. Uvolní se jen část oxidu uhličitého vzniklého fotosyntézou.

Pro optimalizaci energetického systému cukrovarů jsou v každém případě významné deskové zahřívače a filmové odparky (trubkové a deskové). V úvahu mohou také v některých případech přicházet tepelná čerpadla a solární energie. Rovněž i kombinovaná výroba cukru a ethanolu.

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: Fakulta potravinářské a biochemické technologie VŠCHT v Praze, 2022.
3. KADLEC, P.: Technologie cukru. s. 429–448. In KADLEC, P.; MELZUCH, K.; VOLDŘICH, M. (ED.) ET AL.: *Technologie potravin – Přehled tradičních potravinářských výrob*. Ostrava: Vydavatelství KEY Publishing, 2012, 569 s.
4. JENSEN, A. S.; MORIN, B.: Energy and the environment in beet sugar production. *Sugar Ind./Zuckerind.*, 140, 2015, s. 697–702.
5. BRETSCHNEIDER, R.: *Technologie cukru: surovarna a rafinerie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 424 s.