

Úvod

Úzkým profilem v našem i světovém národním hospodářství jsou jaderná krmiva. Proto má velký národohospodářský význam výroba krmného droždí, zvláště toruly. Odpadní vody, vznikající při této výrobě, nelze ani nákladnými čistícími stanicemi zčistit natolik, aby se mohly bez škodlivých následků vypouštět do vodních recipientů. Výrobním postupem podle *Grégra - Dyra - Bárty* (Čs. P. 96 374) sníží se velmi podstatně množství odpadních vod a lze je likvidovat odpařováním, přičemž náklady na pořízení odparky a vlastní zahušťování odpadů mohou být ekonomicky únosné. Zaslouhou podnikového ředitele *O. Gojše* byl postup výroby toruly podle *Grégra - Dyra - Bárty* realizován celoprovozně v závodě Uničov. V této práci zveřejňujeme zkušenosti z Uničova, pokud se týkají vlastní likvidace odpadních vod odpařováním. Prvá část práce se zabývá obecně problematikou odpařování odpadních vod. Druhá část je věnována konkrétnímu řešení vhodných odpařovacích soustav.

Odparka v Uničově

K sestavení odparky bylo použito vyřazených ocelových odpařováků typu „Robert“ ze zrušené potašárny. Odparka byla upravena jako trojčlen s finalizérem takto:

I. těleso	57 m ² střední topné plochy;
II. těleso	75 m ² střední topné plochy;
III. těleso	75 m ² střední topné plochy;
Finizér	57 m ² střední topné plochy;
Celkem	264 m ² střední topné plochy.

Průměry topných trubek u těles 57 m² byly 82 mm, u těles 75 m² asi 65 mm. Zásadně bylo počítáno s tím, že odparka bude pracovat jako trojčlen s finalizérem. Byla však možnost provozovat odparku i jako čtyřčlen. Toto zapojení se neosvědčilo. Výkon čtyřčlenu byl nedostatečný pro vysoké škodlivé teplotové spády, vyplývající z velkého zvýšení bodu varu při vyšších koncentracích. Pokud byly topné plochy málo inkrustovány, stačil troj-

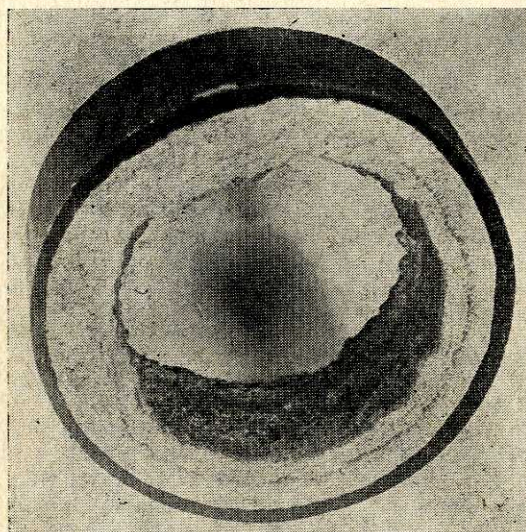
člen bez finalizéru zahustit odpad až na finální koncentraci 75 °Bg, a to i při občasném zvýšeném množství odpadních vod (při předčasném rušení kontaminovaných kádí). Výkon odparky klesal po krátké době s postupující inkrustací, avšak díky finalizéru bylo možno i při sníženém výkonu trojčlenu odpadní vody dohustit, i když spotřeba páry byla poněkud vyšší. Při vyřazení koroze narušených těles byla odparka zapojena jako dvojčlen s finalizérem a i v této sestavě zdolala veškeré odpadní vody, při ještě nižší hospodárnosti.

Přes všechny uvedené těžkosti podal jednoroční provoz v Uničově důkaz o životaschopnosti nového postupu výroby toruly s úplnou likvidací odpadních vod. I odbyt koncentráту je zajištěn. Hodí se k výrobě kyanidů, přičemž výtěžnost je vyšší, nežli z výpalků lihovarnických. Jsou ovšem i další možnosti jeho zužitkování.

Kdybychom měli shrnout zkušenosti z Uničova, můžeme říci, že při odpařování se uplatňují výrazně zvláště dva nepříznivé činitelé:

1. Inkrustace
2. Koroze.

1. Při tepelném zatížení I. tělesa q asi 8000 až 9000 kcal/m²h vylučuje se na jeho topné ploše týdně 0,5 až 1 mm inkrustací, tj. řádově asi desetkrát více nežli např. u cukrovarek. Je to patrné z fotografie kroužku vyříznutého z inkrustované trubky I. tělesa asi po 70 dnech provozu. Po vyčištění stačí u I. tělesa, při uvedeném tepelném zatížení, teplotový spád asi 5° C, který narůstá zpočátku pomaleji, později prudčeji až na 30° C, přičemž nakonec klesá i tepelné zatížení, a tím i výkon odparky asi o $\frac{1}{3}$. Z toho lze odvodit vodivost inkrustace λ asi 2 kcal/m²h °C. Tepelný odpor 100 mm vrstvy je pak asi $0,01 : 2 = 0,005^\circ \text{C/kcal/m}^2\text{h}$ nebo $5000 \cdot 10^{-6}$. Je-li tepelný odpor prostupu tepla při čisté ploše asi $400 \cdot 10^{-6}$, pak inkrustovaná plocha má celkový odpor $5000 + 400 = 5400 \cdot 10^{-6}$ a součinitel prostupu tepla klesne na $1 : (5400 \cdot 10^{-6}) = 185 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ \text{C}$. Je to pokles z původní hodnoty asi 2500 kcal/m²h



Obr. 1

$^{\circ}\text{C}$ na pouhých 7,5 %! Tělesa II., III. a finizér inkrustují podstatně méně, asi v té míře, jako cukrovarské odparky a narůstání tepelného odporu je zde pomalejší a menší (viz obr. 1).

2. Před rušením poslední kádě se přidává soda a zvyšuje pH. Přesto mají odstředěné odpady $\text{pH} < 6$. Na straně varné není koroze odparky nějak pronikavá, neboť v odpadech je značné množství látek inhibičních a kromě toho tvoří určitou ochranu i vrstva inkrustací. Zato do výparů I. a II. tělesa přecházejí těkavé kyseliny. Při kondenzaci těchto výparů v komorách II. a III. tělesa vznikají kyselé kondenzáty s $\text{pH} \leq 5$, bez inhibičních látek. Proto jsou topné komory II. a III. tělesa silně atakovány. Po necelém roku provozu musela být odparka nově otrubkována a opravena. Velmi trpí korozemi i potrubí a armatury a konečně i nádrže na odpad.

Tyto skutečnosti ukazují, že k zajištění životnosti musela by se odparka zhotovit z rezistentního materiálu (nerez, měď), přičemž by ovšem nebyla vyřešena otázka abnormálních inkrustací. Bylo by nutno vybudovat rezervní topnou plochu, aby byla možná výměna inkrustované plochy za čistou bez přerušení provozu. Koroze by nás donutily budovat odparku a příslušenství z ušlechtilého materiálu, inkrustace zase k tomu, abychom budovali rezervní plochu. Vnucuje se myšlenka, zda by nebylo efektivnější, upravit odpadní vody před vlastním odpařováním tak, aby byla snížena inkrustační schopnost na normální míru a odstraněna agresivita. Většina inkrustací se vylučuje v I. tělese pouhým termickým procesem. Smíme proto předpokládat, že alkalizací a vyhřátím odpadních vod a následující filtrací dostali bychom odpadní vody alkalické s podstatně sníženou inkrustační schopností. Pak by mohla být vybudována odparka s menší topnou plochou, ocelová. Vzniklá úspora by byla podstatně vyšší, nežli náklad na zřízení úpravy vod před odparkou. Tato cesta se zdá být efektivní a pro ověření budou provedeny příslušné laboratorní pokusy.

Početní podklady pro projektování odparek

Množství odpadů se pohybuje kolem hodnoty 1500 % na vyrobené sušené zboží (min. 1000 %, max. 2000 %).

Sušina kolísá okolo 5 $^{\circ}\text{Bg}$. Kolísavost sušiny má na výkon odparky nepatrný vliv, neboť odchylka ± 2 $^{\circ}\text{Bg}$ se promítne odchylkou necelých 3 % do množství odpařené vody za předpokladu sušiny koncentráту 75 $^{\circ}\text{Bg}$. Výtěžek koncentráту by se ovšem lišil o ± 29 %.

Pro výpočty a úvahy předpokládáme:

Denní výroba toruly	10 t/24 h
Denní množství odpadu	200 t/24 h
Denní množství koncentráту 75 $^{\circ}\text{Bg}$	10 t/24 h

Aby se nestala odparka ani za nepříznivých okolností brzdou výroby, počítáme s maximálním množstvím odpadních vod. Množství koncentráту při výpočtech (sušina odpadu 5 $^{\circ}\text{Bg}$, koncentráт 75 $^{\circ}\text{Bg}$) by bylo 13,3 t/24 h.

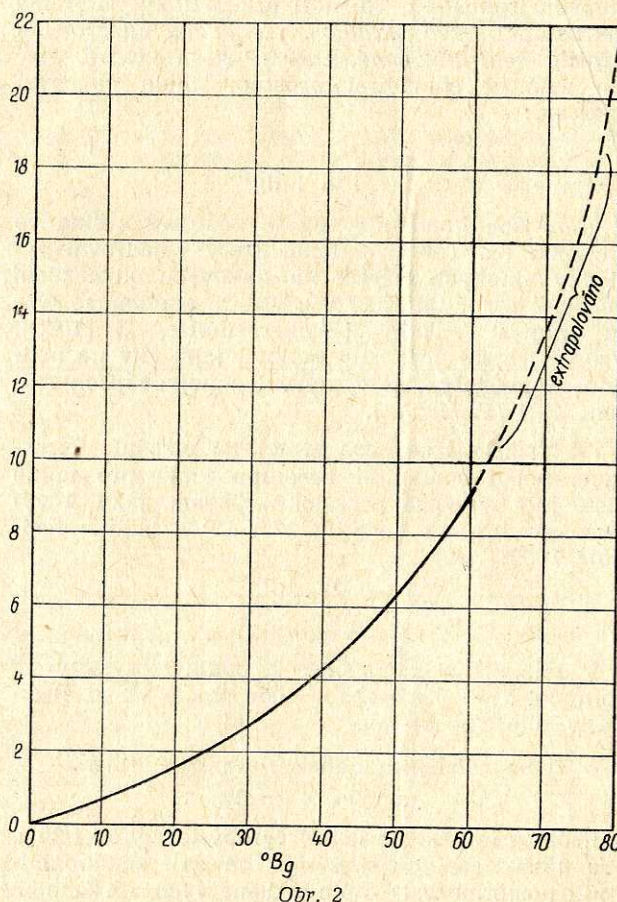
Specifické teplo sušiny odpadních vod je $\sim 0,3$ kcal/kg $^{\circ}\text{C}$, vody 1 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$. Enthalpie roztoku je vyšší než součet enthalpií obou složek, a to o směšovací teplo roztoku. Tuto okolnost respektujeme tím, že pro výpočet specifického tepla roztoku zvyšujeme specifické teplo sušiny o 50 % na 0,45 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$.

Specifické teplo:

roztoku 5 $^{\circ}\text{Bg}$ je: $(5 \cdot 0,45 + 95) : 100 = 0,977$ kcal/kg $^{\circ}\text{C}$,

roztoku 75 $^{\circ}\text{Bg}$: $(75 \cdot 0,45 + 25) : 100 = 0,587$ kcal/kg $^{\circ}\text{C}$.

Zvýšení bodu varu bylo určeno do 60 $^{\circ}\text{Bg}$ a je znázorněno graficky (obr. 2). Křivka byla extrapolována až do 80 $^{\circ}\text{Bg}$. Pro jiný nežli barometrický tlak, resp. teplotu sytosti výparu, je nutno násobit hodnoty zvýšení bodu varu, odečtené z křivky, fak-



tory odvozenými podle vztahu *Clapeyronova-Clausiova*, uvedenými v tabulce 1.

Tabulka 1

Opravné faktory pro zvýšení bodu varu

Teplota sytosti výparu	Faktor <i>f</i>	Teplota sytosti výparu	Faktor <i>f</i>
60 ⁰	0,76	100 ⁰	1,00
70 ⁰	0,82	110 ⁰	1,06
80 ⁰	0,88	120 ⁰	1,14
90 ⁰	0,94	130 ⁰	1,22

Příklad: Při 60 °Bg a vzduchoprázdnotě 61 cm Hg je podle tabulky bod varu vody, tj. teplota sytosti páry 60,2°. Podle grafu na obr. 2 odpovídá 60 °Bg zvýšení bodu varu 9,3°; pro teplotu sytosti výparu 60,2°, tj. okrouhle 60° je opravný faktor 0,76; zvýšení bodu varu bude $9,3 \cdot 0,76 = 7,1^{\circ}$. Bod varu zahuštěných odpadů bude $60,2 + 7,1 = 67,3^{\circ}\text{C}$. Při stejné vzduchoprázdnotě byl by bod varu při 75 °Bg 74,3 °C.

Zvýšení bodu varu je několikanásobně vyšší než u cukerných roztoků. Tato okolnost je velmi závažná pro vícečlenné odpařování, neboť zvýšení bodu varu konzumuje značnou část teplotového spádu a omezuje počet stupňů prakticky na tři, jak se ukázalo též u prověřovací odparky v Uničově, kde výkon čtyřčlenu byl příliš nízký. Pro takové případy je právě vhodné schéma s finizérem, které dává odpařovací soustavě potřebnou elasticitu.

Součinitel prostupu tepla *K* klesá obecně se stupněm zahuštění. To platí pro roztoky normálně inkrustující. Předpokládáme, že budou odpařovány odpady neutralizované, zahřáté a filtrované. Pak lze vyjádřit součinitel prostupu tepla obecným vzorcem:

$$K = \frac{A}{n + Bg^2}$$

A a *n* jsou konstanty, *Bg* je zdánlivá sušina ve stupních Bg. Tohoto vztahu, který vyjadřoval výsledky mnohých měření na tlakových odparkách, používal autor od r. 1926 a vzorec podobného tvaru uvádí i T. Baloh [Zuckerbeihfte, 35 (1956)]. Vzorec nebere zřetel na teplotu, jejíž vliv na hodnotu *K* je malý, jak vyplývá i z nejnovějších měření ZVÚ (F. Mucha).

Při vyčíslení se bere zřetel na střední inkrustace, neboť součinitel prostupu tepla pro úplně čisté plochy nemá praktický význam. Jako *A* vyhovovala by pak hodnota $17 \cdot 10^5$ a jako *n* hodnota 1000:

$$K = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + Bg^2}$$

V dalším budeme počítat *K* podle této jednotné formule. Eventuální chyba bude pak u všech alternativ relativně stejná.

Volba schématu odparky na zahušťování odpadu z toruly

Budeme vycházet z denní výroby toruly 10 t/24 h. Pro větší nebo menší výrobu se dají snadno odvodit poměrná čísla. Dále budeme vycházet z množ-

ství odpadů 2000 %, tj. 200 t/24 h, aby odparka za žádných okolností nebrzdila provoz.

Hodinové množství odpadu	8,34 t/h = 8340 kg/h
Nutný odpar vody	7,8 t/h = 7800 kg/h
Množství koncentráту 75 °Bg	0,54 t/h = 540 kg/h

Alternativa I

Pokud by nešlo o izolaci součástí koncentráту, které jsou citlivé na teplotu, může se odpařování posunout do vysoké teplotové oblasti. Kyanizační test tím neutrpí. Pak by přicházel v úvahu tlakový dvojčlen s finizérem. Samotný dvojčlen by nebyl výhodný, neboť při finální koncentraci 75 °Bg bylo by zvýšení bodu varu asi 18°, teplota varu ve druhém tělese 120°, neboť by na něm musel být malý přetlak. Při užitečném teplotovém spádu 10° byla by I. brýda 130° teplá a topná pára pro I. těleso musela by mít teplotu nejméně 142°, tj. tlak asi 3 atp. Schéma by bylo velmi náročné na topnou plochu a málo elastické. Výhodou schématu by bylo, že by odpadla kondenzace; přebytek II. brýdové páry a výpar z finizéru by odcházely do ovzduší. Části brýdových par by se použilo k náhřevu odpadu před odparkou a pro úpravu odpadů před odpařováním. Náhřev před odparkou by se prováděl ve 2 nebo lépe ve 3 stupních. II. brýdová pára by nahřála odpad na 92°, I. brýdová pára 125° teplá na 115° a topná pára pro I. těleso (průtah z topné komory I. tělesa) na 127°. Spotřeba tepla k náhřevu, při předpokládané teplotě odpadu 20° C, by byla:

První stupeň:

$8340 \cdot (92 - 20) \cdot 0,977 = 586\,700 \text{ kcal/h}$. Při sdělném teple páry z II. tělesa asi 540 kcal/kg a s připočtením ztrát 5 % byl by odběr páry:

$586\,700 : 540 = 1086 \text{ kg/h} \cdot 1,05 = 1141 \text{ kg/h}$ z II. tělesa.

Náhřev z I. tělesa:

$8340 \cdot (115 - 92) \cdot 0,977 = 187\,400 \text{ kcal/h}$; odběr včetně 5 % ztrát 370 kg/h z I. tělesa.

Předpokládáme, že by se odpařovalo na dvojčlenu do 50 °Bg, kdy je zvýšení bodu varu asi 6,5°. Celkový odpar dvojčlenu by byl v tom případě:

$8340 - (8340 \cdot 5) : 50 = 7505 \text{ kg/h}$, okrouhle 7500 kg/h. Při celkovém odparu 7800 kg/h zbývalo by na finizér $7800 - 7500 = 300 \text{ kg/h}$.

Obraz odpařování:

I. těleso	$370 + 1141 + x$; odpar:	3935 kg/h
II. těleso	$1141 + x$; odpar:	3565 kg/h

Celkem $370 + 2282 + 2x = 7500$; $x = 2424 \text{ kg/h}$ 7500 kg/h

Prvnímu tělesu by se přivedlo $3935 \cdot 1,05 = 4130 \text{ kg/h}$ páry. Dohřátí odpadu na bod varu ze 115 na 127° si vyžádá:

$8340 \cdot (127 - 115) \cdot 0,977 = 97\,790 \text{ kcal/h}$ nebo s připočtením 5 % ztrát 194 kg/h topné páry.

Celkem by spotřeboval dvojčlen $4130 + 194 = 4324 \text{ kg/h}$ páry. K tomu by přistoupila spotřeba páry na finizér $300 \cdot 1,05 = 315 \text{ kg/h}$. Zahuštění by si vyžádalo $4324 + 315 = 4640 \text{ kg/h}$ páry.

Do ovzduší odchází 2424 kg/h páry z II. tělesa a 300 kg/h z finizéru, celkem 2724 kg/h. Toto množství odpadní páry by se zmenšilo o spotřebu na termochemickou úpravu odpadní vody před odparkou. Za předpokladu prochlazovacích ztrát při alkalizaci a filtraci 40° bylo by třeba k dohřátí $8340 \cdot 40 \cdot 0,977 = 322\,000 \text{ kcal/h}$ nebo asi 640 kg/h

II. brýdové páry, takže únik do ovzduší by se zmenšil na $2724 - 640 = 2084$ kg/h, okrouhle 2,1 t/h. Náhrev na úpravu vody před odparkou provedl by se tedy tepelně „zadarmo“.

Topná plocha:

I. těleso: Zahuštění po I. tělese $8340 - 3935 = 4405$ kg/h. Při 5°Bg vstupní sušiny bude sušina výstupní:

$$(5 \cdot 8340) : 4405 = 9,5^\circ\text{Bg}$$

$$K_I = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + 9,5^2} = 1550 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Užitečný teplotový spád $138 - 127 = 11^\circ$.

Tepelné zatížení topné plochy $q_I = 11 \cdot 1550 = 17\,050$ kcal/m²h.

Přenos tepla $Q_I = 3935 \cdot 521 = 2\,050\,000$ kcal/h.

Topná plocha $F_I = Q_I : q_I = 2\,050\,000 : 17\,050 = 120,2$ m².

II. těleso: Zahuštění na výstupní sušinu 50°Bg .

$$K_{II} = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + 50^2} = 487 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Užitečný teplotový spád $125 - (102 + 6,5) = 16,5^\circ$ (I. brýdová pára 126° , ztráta mezi brýdovým prostorem I. tělesa a topnou komorou II. tělesa 1° , v topné komoře $126 - 1 = 125^\circ\text{C}$).

Přenos tepla $Q_{II} = 3565 \cdot 538 = 1\,918\,000$ kcal/m²h.

Topná plocha $F_{II} = Q_{II} : q_{II} = 1\,918\,000 : (16,5 \cdot 487) = 238,5$ m².

Finizér: $Q_F = 300 \cdot 538 = 161\,400$ kcal/h

$$K_F = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + 75^2} = 257 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Zvýšení bodu varu $\sim 17^\circ$. Užitečný teplotový spád $138 - (102 + 17) = 19^\circ$.

$q_F = 19 \cdot 257 = 4880$ kcal/m²h.

Topná plocha:

$$F_F = Q_F : q_F = 161\,400 : 4880 = 33,1 \text{ m}^2$$

Rekapitulace topných ploch:

I. těleso	120,2 m ²
II. těleso	238,5 m ²
Dvojčlen	358,7 m ²
Finizér	33,1 m ²
Celkem	391,8 m ²

Z výrobních důvodů sestavil by se dvojčlen z 3 stejných těles po 120 m², přičemž II. člen by se skládal ze 2 odpařováků A a B. Finizér by se provedl větší, aby mohl vyrovnat event. nižší výkon dvojčlenu, tj. 60 m².

Sestavení odparky:

I. těleso	120 m ²
II. těleso A	120 m ²
II. těleso B	120 m ²
Finizér	60 m ²
Celkem	420 m ²

Alternativa II

Použití kondenzace by umožnilo upotřebení trojčlenu, který by zahušťoval na 50°Bg . Dohušťování by se provedlo ve finizéru, který by mohl být topen I. brýdovou parou (alternativně). Odpařování by se posunulo do nižší teplotové oblasti. Veškeré odběry by se provedly z I. tělesa, u kterého předpokládáme teplotu brýdové páry asi 110°C . K nahřátí 8340 kg/h odpadních vod o 1° je zapotřebí,

jak snadno vypočítáme, okrouhle 16 kg/h páry. Náhrev ze 20° na 96° by si vyžádal $16 \cdot (96 - 20) = 1220$ kg/h páry. Prochlazení 40° při teplé úpravě odpadů před odparkou by spotřebovalo $16 \cdot 40 = 640$ kg/h páry a finizér $300 \cdot 1,05 = 315$ kg/h páry. Celkový odběr z I. tělesa $1220 + 640 + 315 = 2175$ kg/h páry.

Obraz odpařování:

I. těleso	2175 + x; odpar	3950
II. těleso	x; odpar	1175
III. těleso	x; odpar	1175
<hr/>		
2175 + 3x = 7500;		7500 kg/h
x = (7500 - 2175) : 3 = 1775		

Sušina po I. tělese $9,5^\circ\text{Bg}$, po II. tělese $15,9^\circ\text{Bg}$ a po III. tělese 50°Bg . Finizér dohušťuje na 75°Bg . Při těchto sušinách budou součinitelé prostupu tepla K:

$$\begin{aligned} K_I &= 1560 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \\ K_{II} &= 1360 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \\ K_{III} &= 487 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \\ K_F &= 257 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Kdybychom se přidrželi koncepce stejných těles, provedli bychom celou odparku z těles po 70 m², přičemž těleso I. by bylo dvojitě, A a B, tj. 140 m².

Zvýšení bodu varu:

$$\begin{aligned} \text{I. těleso } 0,5 \cdot 1,05 &= 0,5^\circ \\ \text{II. těleso } 1,1 \cdot 0,98 &= 1,0^\circ \\ \text{III. těleso } 6,5 \cdot 0,76 &= 5,0^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_I &= 3950 \cdot 534 = 2\,105\,000 \text{ kcal/h} \\ Q_{II} &= 1775 \cdot 545 = 955\,000 \text{ kcal/h} \\ Q_{III} &= 1775 \cdot 560 = 966\,000 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Tepelné zatížení q:

$$\begin{aligned} q_I &= 2\,105\,000 : 140 = 15\,050 \text{ kcal/m}^2\text{h} \\ q_{II} &= 955\,000 : 70 = 13\,650 \text{ kcal/m}^2\text{h} \\ q_{III} &= 966\,000 : 70 = 13\,800 \text{ kcal/m}^2\text{h} \end{aligned}$$

Užitečný teplotový spád:

$$\begin{aligned} \text{I. } q_I : K_I &= 15\,050 : 1560 = 9,7^\circ; \text{ zaokrouhleno } 10^\circ \\ \text{II. } &= 13\,650 : 1360 = 10,0^\circ; \text{ zaokrouhleno } 10^\circ \\ \text{III. } &= 13\,800 : 487 = 29,0^\circ; \text{ zaokrouhleno } 29^\circ \end{aligned}$$

Za předpokladu vzduchoprázdnoty 60 cm Hg, tj. teploty sytosti výparu $\sim 62^\circ$ a bodu varu ve III. tělese $62 + 5 = 67^\circ$ dostavil by se teplotový a tlakový režim na odparce uvedený v tabulce 2.

Tabulka 2

Těleso	Teplota $^\circ\text{C}$			Tlak ata	
	topná pára	teplota varu	teplota výparu	top. komora	brýda
I.	119,5	109,5	109	2,0	1,41
II.	108	98	97	1,36	0,92
III.	96	67	62	0,89	0,22

Spotřeba páry pro I. těleso $3950 \cdot 1,05 = 4140$ kg/h. Dohřátí z 96 na $109,5^\circ$: $16 \cdot (109,5 - 96) = 216$ kg/h.

Celková spotřeba páry $4140 + 216 = 4356$, okrouhle 4360 kg/h.

Tato alternativa je asi o 280 kg/h páry, tj. 6 % úspornější.

Finizér by vykazoval zvýšení bodu varu 17° . $0,76 = 13^\circ$. Při vzduchozředění 60 cm Hg byl by bod varu $62 + 13 = 75^\circ$. Topná pára z I. tělesa

by měla teplotu 108° , teplotový spád by byl $108 - 75 = 33^{\circ}$; $q_F = 33 \cdot 257 = 8500 \text{ kcal/m}^2\text{h}$. Při $Q_F = 300 \cdot 560 = 168\,000 \text{ kcal/h}$ byla by topná plocha F_F :

$$F_F = 168\,000 : 8500 = 19,8 \text{ m}^2$$

K zajištění elasticity celé soustavy provedl by se finizér s topnou plochou asi dvojnásobnou, tj. 40 m^2 . Celková topná plocha byla by $280 + 40 = 320 \text{ m}^2$.

Alternativa III

Trojčlen s paroproudovou termokompresí + finizér. Předpokládáme teplotu varu v I. tělese 108° . Kompresor přemáhá tlakový rozdíl $0,5 \text{ at}$, tj. teplotový rozdíl 10° , a odsává I. brýdovou páru asi $0,4 \text{ atp}$, kterou komprimuje na tlak páry topné, asi $0,9 \text{ atp}$ (118°). V kotelně předpokládáme tlak 10 atp , na kompresor 9 atp , tj. 10 ata . Při obvyklé účinnosti expanze $0,8$ a komprese $0,75$ je injekční koeficient $n = 0,92$, tj. 1 kg hnací páry komprimuje $0,92 \text{ kg}$ páry brýdové. Hnací pára $a \text{ kg/h}$ komprimovala by tedy $a \cdot n \text{ kg/h}$ páry brýdové. Ze směsi $a + a \cdot n$ odebíralo by se z topné komory na dohřátí odpadu před odparkou o 12° na bod varu $12 \cdot 16 = 192 \text{ kg/h}$ páry. Odpar I. tělesa byl by tedy $a + a \cdot n = 192 \text{ kg/h}$. Z I. tělesa odebíralo by se na náhřev před odparkou o 76° asi $76 \cdot 16 = 1220 \text{ kg/h}$ a na krytí prochlazovací ztráty 40° při úpravě odpadu před odparkou $40 \cdot 16 = 640 \text{ kg/h}$. Dále by pokryla I. brýdová pára spotřebu finizéru 315 kg/h . Celkový odběr by byl $1220 + 640 + 315 = 2175 \text{ kg/h}$.

Obraz odpařování:

I. těleso $a + a \cdot n$ — 192	odpar	5894 kg/h
II. těleso a — 2175 — 192	odpar	803 kg/h
III. těleso a — 2175 — 192	odpar	803 kg/h

$$3a + a \cdot n = 2 \cdot 2175 + 3 \cdot 192 = 7500 \quad 7500 \text{ kg/h}$$

Za n dosadíme $n = 0,92$

$$3,92a = 7500 + 2 \cdot 2175 + 3 \cdot 192 = 12\,426$$

$$a = 12\,426 : 3,92 = 3170 \text{ kg/h}$$

Zahuštění bude $17,1 - 25,4 - 50 - 75^{\circ}\text{Bg}$

$$K_I = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + 17,1^2} = 1320 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$$

$$K_{II} = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + 25,4^2} = 1030 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$$

$$K_{III} = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + 50} = 487 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$$

$$K_F = \frac{17 \cdot 10^5}{1000 + 75^2} = 257 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_I = 5894 \cdot 533 = 3\,140\,000 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{II} = 803 \cdot 543 = 436\,000 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{III} = 803 \cdot 560 = 450\,000 \text{ kcal/h}$$

$$Q_F = 300 \cdot 560 = 168\,000 \text{ kcal/h}$$

Zvýšení bodu varu $1,3 - 2,0 - 5 - 13^{\circ}$.

U I. tělesa jsme vázání zvolenými parametry kompresoru, abychom dodrželi celkový teplotový spád, v daném případě 10° . U ostatních těles je větší volnost a můžeme sestavit přehled teplotového režimu tak, že vycházíme zpětně od vzduchozředění, v daném případě 60 cm Hg a odpovídající teploty sytosti výparu $\sim 62^{\circ}$.

Tabulka 3

Těleso	Teplota $^{\circ}\text{C}$			Užitečný teplotový spád
	topná pára	var	výpar	
I.	118	109,3	108	8,7
II.	107	92	90	15
III.	89	67	62	22
Finizér	107	75	62	32

Tepelné zatížení q :

$$q = K \cdot \Delta t$$

kde Δt = užitečný teplotový spád

$$q_I = 1320 \cdot 8,7 = 11\,500 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

$$q_{II} = 1030 \cdot 15 = 15\,400 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

$$q_{III} = 487 \cdot 22 = 10\,700 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

$$q_F = 257 \cdot 32 = 8\,200 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

Topná plocha $F = Q : q$:

$$F_I = 3\,140\,000 : 11\,500 = 273 \text{ m}^2$$

$$F_{II} = 436\,000 : 15\,400 = 28,3 \text{ m}^2$$

$$F_{III} = 450\,000 : 10\,700 = 42,0 \text{ m}^2$$

$$F_F = 168\,000 : 8\,200 = 20,5 \text{ m}^2$$

Topnou plochu finizéru volili bychom asi o 100% větší; z hlediska výrobního bychom provedli i II. a III. těleso po 40 m^2 .

I. těleso	270 m ²
II. těleso	40 m ²
III. těleso	40 m ²
Finizér	40 m ²
Celkem	390 m²

Spotřeba páry $3170 \cdot 1,05 = 3330 \text{ kg/h}$.

Odpařování dá se provést i v jiných variantách, které zde nebudou uváděny, neboť probrané tři alternativy jsou typické a lze z nich snadno odvodit i varianty další.

Zhodnocení a srovnání výše uvedených alternativ

Tabulka 4

Alternativa	I	II	III
Spotřeba páry kg/h	4640	4360	3330
Topná plocha m ²	420	320	390
Pára do kondenzace kg/h	—	2075	1103
Chladicí voda na kondenzaci 15°C t/h	—	41,5	22,0
Výkon vývěvy m ³ /min	—	6,9	3,6

Z přehledu vysvítá, že alternativa I nepotřebuje kondenzaci. Odpadá proto i chladicí voda a vývěva a spotřeba energie pro vývěvu a vodní čerpadlo. Jinak je tato alternativa nejnáročnější na spotřebu páry a na potřebnou topnou plochu. Do ovzduší odchází asi $2,1 \text{ t/h}$ páry z II. tělesa a finizéru, která by se dala popřípadě zhodnotit pro kalorické účely (ohřívání vody, otápění místností apod.). Koncentrovaný odpad vře ve finizéru při 119° , vzhledem k velikému zvýšení bodu varu. Proto nelze k jeho otápění použít I. brýdové páry 126° teplé. Tato alternativa by se dala provést též s termokompresí. Při tlaku hnací páry 10 ata byl by ovšem injekční součinitel $n = 0,65$. Při odběru páry na dohřívání před odparkou a finizér z topné komory I. tělesa byla by celková spotřeba páry včetně 5% ztráty 3330 kg/h , jako při alternativě

III. Do ovzduší by odcházela 1,0 t/h páry. Vyšší hospodárnosti se dosahuje tím, že převážná část náhřevu se může realizovat z II. tělesa. Předpokládá se, že je k dispozici ostrá pára 10 atp.

Alternativa II je vhodná tam, kde je nutno konзумovat vratnou páru. Stačí protitlak 1 atp. Je méně náročná na topnou plochu; za to je třeba instalovat kondenzaci. Tím se získává teplotový spád v podtlakové oblasti. Pokud jde o výkonnosti, je nejelastičtější. Dá se také očekávat, že čištění této odparky bude lehčí, neboť obvykle inkrustace, vzniklé za nižších teplot, jsou měkčí. Neodvádí se žádná pára do ovzduší. Kdyby byl k dispozici vyšší tlak topné páry, daly by se odběry na náhřev přenést z větší části na II. těleso. Tím by se snížila spotřeba páry asi o 400 kg/h. V případě potřeby vyššího výkonu může se zavést na finizér alternativně pára vratná nebo ostrá. Tím lze podstatně vystupňovat výkon soustavy, ovšem na úkor hospodárnosti.

Alternativa III je neekonomičtější, je však náročná na dodržování teplotového (tlakového) spádu u I. tělesa, neboť kompresor pracuje ekonomicky jen v poměrech, na které je počítán a sestrojen. Rušivě působí inkrustace, které zvyšují teplotový spád a je požadavkem, aby tvorba inkrustací byla co nejvíce potlačena. Výkon termokompresoru závisí též na dodržení tlaku hnací páry. Vhodná je štěrbínová konstrukce, neboť se dá kompresor změnou šířky štěrbiny snadno přizpůsobit odlišným provozním parametrům.

Paroproudová termokomprese se může ekonomicky uplatnit i u alternativy II tehdy, je-li k dispozici nedostatek páry vratné, např. 2,5 t/h proti celkové spotřebě 4,36 t/h. Kdybychom přidávali přes termokompresor 1 t/h ostré páry, kterou bychom zhušťovali I. brýdovou páru na tlak páry topné, klesla by celková spotřeba páry při injekč-

ním koeficientu $n = 0,92$ asi o 0,32 t/h na 4,04 t/h. Rovněž by došlo k zhospodárnění, jestliže by se před trojčlen postavilo nulové těleso na ostrou páru (předvářeč). Ušetřila by se $\frac{1}{4}$ přídavné ostré páry, tj. $1,86 : 4 = 0,46$ t/h. Spotřeba páry by byla pak 3,9 t/h.

Všechny tyto alternativy počítají s termochemickou úpravou odpadních vod před vlastním zahušťováním, aby se odstranila agresivita a snížila inkrustační schopnost. To umožní upotřebení ocelového zařízení a uchrání před korozí nejen odparku, ale i zásobníky na odpadní vody. Bez této úpravy probíhalo by odpařování neregulérně i tehdy, kdyby se použilo ke zhotovení odparky rezistentního materiálu, neboť rozhodujícím činitelem by se staly inkrustace. Termochemická úprava odpadů před zahušťováním měla by velký význam při rozšiřování výroby toruly, neboť by se mohlo upotřebit k sestavení odparek zařízení ze zrušených cukrovarů. Dále se získají nezávadné kondenzáty, vhodné k napájení kotlů, tím se sníží výrobní teplo páry a uspoří na palivu.

Závěr

Zkušenosti získané v Uničově ukazují, že se při odpařování odpadů z toruly uplatňují výrazně nadměrné inkrustace a koroze. V této souvislosti se poukazuje na nutnost termochemické úpravy odpadů (alkalizace vápnem, vyhřátí, filtrace). Odpařování by pak probíhalo regulérně a dalo by se upotřebit odparek z obvyklého materiálu. Dále je určeno zvýšení bodu varu v závislosti na koncentraci odpadů a je odvozen vztah mezi koncentrací a součinitelem prostupu tepla. Jsou prodiskutovány tři alternativy odpařovacích soustav a jejich varianty.

Došlo do redakce 3. 5. 1960.

ВЫПАРКА ВОДЫ ОТХОДЯЩЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДРОЖЖЕЙ СОРТА ТОРУЛА

В статье рассматривается вопрос эксплуатации выпарочных установок для обработки воды отходящей при производстве дрожжей сорта ТОРУЛА на заводе в Уничове. Опыт показывает, что выпарки страдают от коррозии и чрезмерного образования инкрустаций, из чего вытекает необходимость термохимической обработки воды путем ошелачивания добавками извести, нагревом и фильтрацией. Процесс выпаривания протекал бы после такой подготовки нормально и выпарные установки могли бы изготовляться из доступных, нормальных материалов. В статье далее рассматривается повышение точки кипения в зависимости от концентрации и выводится формула выражающая зависимость между концентрацией и коэффициентом теплопередачи. Рассматриваются также 3 различных системы выпарок и их возможные варианты.

VERDAMPFSTATION FÜR ABWÄSSER AUS DER TORULAEERZEUGUNG

Der Artikel befasst sich mit der Problematik der Konzentrierung der Abwässer aus der Torulaproduktion in Uničov. Die gesammelten Erfahrungen zeigen, dass sich bei der Konzentrierung der Torulaabfälle übermäßige Inkrustationen und Korrosion geltend machen. Es wird auf die Notwendigkeit einer thermochemischen Aufbereitung der Abfälle (Alkalisierung durch Kalkzugabe, Erhitzen, Filtration) hingewiesen. Das Verdampfen würde dann einen normalen Ablauf haben und es wäre möglich, Verdampfstationen aus üblichem Material anzuwenden. Im weiteren wird die Erhöhung des Siedepunktes in der Abhängigkeit von der Konzentration der Abfälle ermittelt und das Verhältnis zwischen der Konzentration und dem Wärmedurchgangskoeffizient abgeleitet. Drei Alternativen von Verdampfsystemen und ihre Varianten werden diskutiert.

EVAPORATING INSTALLATIONS FOR WASTE WATER IN PLANT MANUFACTURING TORULA YEAST

The article deals with some problems connected with the evaporation and condensation of waste water emerging from manufacturing processes in the Uničov plant producing yeast of Torula class. Experience so far obtained with evaporating units indicates, that the installation suffers from extensive corrosion and incrustations. A suitable thermochemical treatment is therefore necessary prior to evaporation. It may include alkalization by introducing lime, overheating and filtration. After a suitable preliminary treatment regular evaporation can be expected and the installations can be manufactured of current materials. Relation between the boiling point and concentration rate, as well as relation between the concentration rate and the heat transfer coefficient are discussed, too. Three various designs of evaporators and their modifications are described in detail.