

# OBLICZANIE

## POWIERZCHNI OGRZEWALNEJ

### PRZYRZĄDÓW STĘŻĄCYCH W PRÓŻNI.<sup>1)</sup>

Do stężania soków używane są w cukrowniach przyrządy zwane parownikami albo przyrządami stężającymi w próżni albo wreszcie przyrządami o działaniu wielokrotnem.

Przyrządy te składają się z kotłów czyli t. zw. przedziałów, w których utrzymuje się stopniowaną próżnię w tym celu, ażeby wrzenie płynów odbywało się przy temperaturach stałych, stosunkowo niskich i stopniowo coraz niższych, w miarę jak syrop staje się tęższym. Para odwrotna znajdujących się w fabryce maszyn działających bez skroplania,—ogrzewa pierwszy przedział przyrządu, skroplając się na rurach, w których krążą soki. Para skroplona całkowicie w tym pierwszym przedziale, zasila w postaci wody kotły parowe, skutkiem czego ten pierwszy oddział przyrządu zgęszczającego można uważać za rzeczywisty skroplacz maszyn parowych. Para odwrotna maszyn zwykle posiada jeszcze ciśnienie  $\frac{1}{4}$  atmosfery; sok zawarty w kotle wre o tyle łatwiej pod wpływem tej temperatury, o ile prężność pary powstającej przy jego wrzeniu zmniejszoną jest działaniem próżni, wytworzonej w przedziale.

Para powstająca przy parowaniu soku w pierwszym kotle, skropla się w oddziale rurowym następującego przedziału, wywołując tamże wrzenie soku już gęściejszego a poddanego działaniu takiego stopnia próżni, że ciepło potrzebne do podtrzymania wrzenia może być całkowicie dostarczone przez parę z pierwszego przedziału. Skutek wywołany działaniem pary pierwszego przedziału na sok drugiego przedziału, przenosi się w tenże sam sposób z drugiego na trzeci i t. p.; budowane są bowiem przyrządy o podwójnem, potrójnem i poczwórnem działaniem. Para

<sup>1)</sup> Artykuł p. *Horsin-Déon'a* z Journ. des fabr. de sucre, przełożony przez K. Czapuczyńskiego.

z ostatniego przedziału zostaje skroploną w oddzielnym w tym celu zbudowanym przyrządzie za pomocą wtryskiwania wody.

W ostatnim przedziale wytwarza się próżnię za pomocą pompy prowadzącej wodę wtryskową, powstałą ze skroplenia się par a nadto powietrze zawarte w wodzie i w całym przyrządzie.

Niekiedy zamiast pompy używa się rury pionowej, długiej 11—12 metrów, w górnej części której wytwarza się próżnia barometryczna, przyczem woda powstaje ze zgęszczenia się par i woda wtryskiwana odchodzi dolnym końcem rury, pogrążonym w zbiorniku, pompa zaś powietrzna prowadzi tylko gazy nie dające się zgęścić.

Pod wpływem próżni płyn w przedziale zaczyna wrzeć, otrzymując ciepło potrzebne do parowania od ścian rur, w których krąży para. Oziębienie, spowodowane przez samo odparowanie, wywołuje zgęszczenie się par przedziału poprzedzającego, w którym takowe krążą naokoło rur napełnionych sokiem. Skroplanie się par wyradza w części próżnię nad płynem mniej gęstym, który sam przez to przechodzi w stan wrzenia i w ten sam sposób wytwarza próżnię w poprzedzającym przedziale i tak dalej. W skutek tego próżnię wytwarza się tylko w ostatnim przedziale, przez co powstaje próżnia i w innych przedziałach; na tej samej podstawie ogrzewa się tylko pierwszy przedział a inne wyżej wytlómaczonem działaniem same zostają ogrzane, — dla tego to, przyrząd taki otrzymał nazwę przyrządu o podwójnem, potrójnem i poczwórnem działaniu. Rezultat ekonomiczny, jaki przy takim działaniu otrzymujemy, jest następny: para z kotłów parowych, wykonawszy pracę utrzymywania w ruchu maszyn, pomp i t. p., t. j. wykonawszy całą swą pracę wytwórczą, skroplając się wywołuje wyparowanie ilości wody, równej w przybliżeniu wadze pary, pomnożonej przez liczbę przedziałów przyrządu stężającego. Ogólnie przyjmuje się, że para wytworzona w kotle parowym, jest zdolną odparować  $\frac{5}{6}$  swej wagi wody w innym kotle.

Przystępujemy teraz do obliczenia stosunku powierzchni rur, jaki zachodzić powinien między przedziałami, ażeby osiągnąć zupełne skroplenie i zużytkowanie pary, w warunkach czasu, stopnia ciepła i wagi płynu, istniejących w każdym przyrządzie, — warunkach, które powinny być o ile możności ściśle ekonomiczne.

W tym celu postaramy się o wynalezienie wzorów ogólnych, odpowiadających wszelkim możliwym wypadkom.

Niech będzie:  $P$  waga syropu zawartego w przedziale,

$p$  — ilość wody do wyparowania z  $P$ ,

$T$  — temperatura pary wchodzącej do przedziału,

$t$  — temperatura początkowa syropu,

$\tau$  — temperatura wrzenia syropu,

$q$  — ilość pary skroplonej przy doprowadzeniu  $P$  do temperatury  $\tau$ ,

$q'$  — ilość pary skroplonej przy odparowaniu  $p$ ,

$Q$  — cała ilość pary parującej  $p$  i podtrzymującej wrzenie płynu w jednostce czasu, na jednostce powierzchni ogrzewalnej, przy normalnem działaniu przyrządu,

$c$  — średnie ciepło właściwe płynu w każdym przedziale

Przedewszystkiem przedstawiają się nam 3 możliwe wypadki:

1<sup>o</sup> Sok wstępujący do przedziału może mieć temperaturę niższą od temperatury jego wrzenia w przyrządzie, czyli że  $\tau > t$ ,

2<sup>o</sup> Temperatura soku wchodzącego do przedziału może być równą temperaturze jego wrzenia, czyli  $\tau = t$ ,

3<sup>o</sup> Wreszcie, sok wychodząc z jednego przedziału dla przejścia do drugiego, przechodzi od wyższego do niższego stopnia temperatury, przyczem natychmiast wrzeć zaczyna a wtedy  $\tau < t$ .

W pierwszym wypadku  $q$  jest ilością dodatnią, gdyż płyn należy wygrzewać, w drugim  $q = 0$ , w trzecim wypadku  $q$  powinno być ilością ujemną, t. j. że płyn zamiast pochłaniać ciepło, powinienby je sam oddawać.

Rozważymy tu tylko dwa wypadki, pierwszy, gdy  $\tau > t$  i trzeci gdy  $\tau < t$ , drugi bowiem możemy dowolnie do jednego z nich sprowadzić zakładając w wyprowadzonych wzorach  $\tau = t$ .

*Wypadek I-y, kiedy  $\tau > t$ .*

Pierwszem zadaniem pary będzie podniesienie temperatury wagi syropu  $P$  od temperatury początkowej  $t^0$  do  $\tau^0$ .

Dla przejścia od temperatury  $t$  do  $\tau$  syrop zużyje  $P(\tau - t)c$  jednostek ciepła (ciepłostek).

Całkowita ilość ciepła, które się wydzieli z pary skroplającej się na ścianach rur przy ogrzewaniu soku, wyrazi się wzorem *Régault'a*:

$$L = A + B T, \text{ w którym:}$$

$L$  wyraża całkowitą ilość ciepła zawartego w parze,

$T$  — temperaturę skroplającej się pary,

$A = 606,5$ ,

$B = 0,305$ .

Powyższa ilość  $P(\tau - t)c$  jednostek ciepła powstaje ze skroplenia się  $Q$ , które przy stężaniu wydaje  $q(A + B T - \tau)$  jednostek ciepła.

Dwie te ilości muszą być oczywiście sobie równe t. j.

$$P(\tau - t)c = q(A + B T - \tau), \text{ skąd:}$$

$$q = \frac{P c (\tau - t)}{A + B T - \tau}$$

Należy przytem przypuścić, że  $Q$  skroplając się, ma też samą temperaturę  $\tau$  co i płyn który ogrzewa; jest to właściwie temperatura wody powstającej ze skroplenia się pary. Kiedy syrop dojdzie już do temperatury  $\tau$ , wtenczas para zaczyna wyparowywać  $p$  kilogramów wody zawartej w syropie. Niech będzie  $q'$  ilość pary potrzebna do wykonania tej pracy;  $q'$  skroplając się oddaje  $(A + B T - \tau)q'$  jednostek ciepła,  $p$  zaś ulatniając się przy temperaturze  $\tau$  unosi  $(A + B \tau)p$  jednostek ciepła.

Przy tem parowaniu syropu z wagi jego pierwotnej pozostaje  $P - p$ ; z początku przy stężaniu soku znajdowało się w nim  $P c \tau$  jednostek ciepła, po wyparowaniu zaś pozostaje  $(P - p) c \tau$ .

Liczba jednostek ciepła oddanych przez parę przy skroplaniu się jej, powiększona o liczbę jednostek ciepła, które zawierał płyn (syrop), powinny być równe liczbie jednostek ciepła pozostających w płynie, zwiększonych o tę ilość, która odeszła z parą, czyli:

$$(A + B T - \tau) q' + P c \tau = (A + B \tau) p + (P - p) c \tau,$$

$$\text{z kąd} \quad q' = \frac{p [A + (B - c) \tau]}{A + B T - \tau}.$$

Mamy więc:

$$q + q' = \frac{A p + c P (\tau - t) + (B - c) p \tau}{A + B T - \tau},$$

albo:

$$q + q' = \frac{p [A + (B - c) \tau] + c P (\tau - t)}{A + B T - \tau}.$$

Taka jest ilość pary, potrzebnej w tym pierwszym wypadku do odparowania wagi wody  $p$  z wagi soku lub syropu  $P$ . Wzór ten jednak nie jest zupełnym, brak w nim określenia przeciągu czasu, potrzebnego do wykonania czynności.

Dwie przyczyny wpływają na czas trwania zjawiska:

a) natura ścianek rur ogrzewających,

β) czynniki fizyczne, warunkujące zjawisko ogrzewania t. j. stopień różnicy temperatury początkowej i końcowej, ogrzewania i wrzenia, jednym słowem prawa *Newton'a*.

Natura ścianek wpływa na całą ilość skroplonej pary, gdy tymczasem prawa ogrzewania wywierają wpływ tylko na wielkość  $q$ ; tak więc  $q$  podlega połączonemu wpływowi  $\alpha$  i  $\beta$ . Co do  $q'$ , to czas skroplania się pary, czyli czas pochłaniania ciepła przez wywiązującą się z syropu parę wodną, zależeć będzie tylko od natury ścianek rurowych.

$\alpha$ . Ilość ciepła  $k$ , jaka w danym czasie  $\Theta$ , wyparowywać może ze ścian rur, wyraża się wzorem:

$$k = \Theta \frac{K}{e} (T - \tau) S, \text{ w którym:}$$

$K$  stanowi współczynnik przewodnictwa ciepła danego metalu,

$e$  — grubość ścian metalowych,

$S$  — powierzchnię ogrzewalną.

Jeśli założymy:  $\Theta = 1$  sekundzie,  $S = 1 \text{ m}^2$ ,  $T^0 - \tau^0 = 1^0$ , to otrzymujemy wzór:

$$k = \frac{K}{e}$$

Dajmy na to, że rury przyrządu stężającego są mosiężne, a grubość ich ścian wynosi około  $0,001^{\text{m}}$ . Współczynnik przewodnictwa ciepła miedzi  $K = 69$ , t. j. że ilość ciepła wydana przez blachę mosiężną 1 metr grubości mającą, której obie strony są utrzymywane przy jednej stałej temperaturze, wynosi 69 jedno-

stek ciepła na  $1 \text{ m}^2$ , na jedną godzinę i przy różnicy temperatur  $= 1^\circ$ . Przy grubości więc blachy  $= 0,001 \text{ m}$ , otrzymamy ilość ciepła  $k = 69000$  ciepłostek, co odnośnie do ilości pary skroplonej na takiej powierzchni odpowiada  $\frac{69000}{650} = 103 \text{ kgm}$  pary.

Spółczynnik ten jest teoretyczny i daje się przyjąć tylko w tym wypadku, gdy płyn zwilżający powierzchnię jest odnawiany ze znaczną szybkością, co w praktyce nie ma miejsca; zmienia się on w rozległych granicach zależnie od sposobu ustawienia i rodzaju naczynia i wcale nie jest jednakowym, a to w miarę tego, czy będziemy używać do ogrzewania naczynia z dnem podwójnem, z węzownicami lub też rurami. W tym ostatnim wypadku przyjmuje się, że  $1 \text{ m}^2$  powierzchni ogrzewalnej wyparowuje na 1 godzinę  $8 \text{ kgm}$  wody przy podniesieniu temperatury o  $1^\circ$ .

Jeśli przeto  $Q$  jest całkowitą ilością pary skroplonej przy wyparowaniu  $p$ , to wymagana i wystarczająca wielkość powierzchni ogrzewalnej, jaką należy dać przedziałom przyrządu stężającego będzie:

$$S = \frac{Q}{8(T - \tau)}$$

β. Czynniki fizyczne pracy przyrządu zgęszczającego są dwójakiego rodzaju, mamy bowiem wywołać dwa zjawiska: najprzód ogrzanie, — następnie zaś wrzenie masy  $P$ . Czas ogrzewania będzie tem dłuższy, im więcej ciepła należy wytworzyć, co zresztą jest widocznem i da się wyrazić temi słowy, że: szybkość ogrzewania jest odwrotnie proporcjonalną do przewyżki temperatury pary ogrzewającej nad średnią temperaturą masy  $P$  przed parowaniem. Co do wrzenia  $P$ , lub parowania  $p$ , to szybkość z jaką ono mieć będzie miejsce, jest proporcjonalną do nadmiaru temperatury pary ogrzewającej nad temperaturą wrzenia, a to podług prawa *Newton'a*, które można zastosować w tych razach gdzie temperatury nie są zbyt wysokie,

Niech będzie więc  $\frac{t + \tau}{2}$ , temperatura średnia soku przed zawrzeniem; — para skroplając się przejdzie od  $T$  do  $\frac{t + \tau}{2}$  czyli ilość ciepła jaką para straci skroplając się, wyrazi się wzorem:  $(T - \frac{t + \tau}{2})$ ; wreszcie  $(T - \tau)$  będzie różnicą pomiędzy temperaturą pary i temperaturą soku wrzącego.

Co do przeciągu czasu, to w jednostce jego dla wyparowania z soku żądanej ilości wody, skropi się pary:

$$Q = q' + \frac{T - \tau}{T - \frac{t + \tau}{2}} q;$$

wstawiając zaś poprzednio znalezioną wartość na  $q'$ , będzie:

$$Q = \frac{Pc(\tau - t)}{A + BT - \tau} \times \frac{T - \tau}{T - \frac{t + \tau}{2}} + \frac{p[A + (B - c)\tau]}{A + BT - \tau}, \text{ skąd:}$$

$$Q = \frac{p[A + (B - c)\tau] \left( T - \frac{t + \tau}{2} \right) + (T - \tau)(\tau - t)Pc}{\left( T - \frac{t + \tau}{2} \right) (A + BT - \tau)}.$$

Taką jest ilość pary potrzebna i wystarczająca do wyparowania wody w jednostce czasu w warunkach właściwego działania przyrządu stężającego.

Z powiedzianego wyżej w ustępie  $\alpha$ , wielkość powierzchni ogrzewalnej potrzebnej do wykonania takiej pracy będzie:

$$S = \frac{p[A + (B - c)\tau] \left( T - \frac{t + \tau}{2} \right) + (T - \tau)(\tau - t)Pc}{8 \left( T - \frac{t + \tau}{2} \right) (A + BT - \tau) (T - \tau)}.$$

Kształt cylindryczny naczynia pociąga za sobą jeszcze jeden warunek, który należy uwzględnić w powyższym wzorze. Każdy metr kwadratowy powierzchni ogrzewalnej odpowiada średnio objętości 0,266 hektolitra, co daje nam wagę soku  $= 0,266 \times D$ . Jeśli  $D$  jest gęstość danego soku, to otrzymamy:

$$P = S \times 0,266 D.$$

Wstawiając więc we wzorze powyższym wartość na  $P$  otrzymamy:

$$S = \frac{p[A + (B - c)\tau] \left( T - \frac{t + \tau}{2} \right) + (T - \tau)(\tau - t)S \times 0,266 Dc}{8 \left( T - \frac{t + \tau}{2} \right) (A + BT - \tau) (T - \tau)},$$

$$S = \frac{p[A + (B - c)\tau] \left( T - \frac{t + \tau}{2} \right)}{(T - \tau) \left( T - \frac{t + \tau}{2} \right) (A + BT - \tau) 8 - 0,266 (\tau - t) Dc}.$$

Wypadek 2-gi, kiedy  $\tau < t$ .

W tym drugim wypadku, syrop natychmiast przechodzi w stan wrzenia, tracąc pewną ilość ciepła, które w połączeniu z ciepłem pary doprowadzonej posłuży do wyparowania  $p$ . Waga syropu  $P$  traci  $P(t - \tau)c$  jednostek ciepła, odpowiadających ilości ciepła potrzebnego do wyparowania  $Pc \frac{t - \tau}{A + BT - \tau}$  kilogramów wody.

Do wyparowania pozostanie więc tylko  $p - Pc \frac{t - \tau}{A + BT - \tau}$  kilogramów wody. Jeżeli  $q$  jest ilością pary, jaką potrzeba skropić

dla wyparowania powyższej wagi wody, to  $q$  skroplając się wyda  $(A + B T - \tau) q$  jednostek ciepła.

Powyższa zaś waga wody parując unosi z sobą:

$(A + B \tau) \left( p \frac{P c (t - \tau)}{(A + B T - \tau)} \right)$  jednostek ciepła, przyczem pozostaje waga syropu  $= P - p$ .

Sok w chwili rozpoczęcia parowania zawiera  $P c \tau$  jednostek ciepła, po wyparowaniu zaś wody pozostaje  $(P - p) c \tau$ . Otrzymujemy więc podobnie jak i w pierwszym razie, po wykonaniu wszelkich skrótów, wzór:

$$q = \frac{p [A + (B - c) \tau] (A + B T - \tau) - (A + B \tau) (t - \tau) P c}{(A + B T - \tau)^2}$$

Co się tyczy czasu potrzebnego do wyparowania, to ten zależy będzie tylko od różnicy temperatur  $T$  i  $\tau$ , a szybkość wyparowania będzie proporcjonalną do  $(T - \tau)$ , a ponieważ w tym wypadku  $q = Q$ , to na wielkość powierzchni ogrzewalnej otrzymamy wzór:

$$S = \frac{q}{8 (T - \tau)};$$

ponieważ zaś  $P = S \times 0,266 D$ , to:

$$S = \frac{p [A + (B - c) \tau] [A + B T - \tau]}{(A + B T - \tau)^2 (T - \tau) 8 + (A + B \tau) (t - \tau) 0,266 D c}$$

Taką powierzchnię ogrzewalną dać należy przyrządowi zgęszczającemu w tym wypadku, gdy  $t$  będzie różne od  $\tau$ . Jeżeli zaś  $t = \tau$ , to wzór powyższy zmieniłby się na następujący:

$$S = \frac{p [A + (B - c) \tau]}{8 (T - \tau) (A B T - \tau)}$$

### Zastosowanie wyprowadzonych powyżej wzorów.

W przyrządach stężających o wielokrotnem działaniu, używanych w cukrowniach, pierwszy przedział ogrzewany jest parą powrotną maszyn, samą tylko lub też z dodatkiem świeżej pary. Sok dopływa do przedziału z temperaturą stosunkowo niską, temperatura wrzenia soku jest wyższą od temperatury początkowej i to tem wyższą, im niższy jest stopień próżni panującej w pierwszym przedziale. W pierwszym więc przedziale przyrządu stężającego mamy wypadek I, w którym  $\tau > t$ ; sok z pierwszego przedziału przechodzi do drugiego dochodząc w nim do temperatury  $\tau$ . Para wywiązująca się w pierwszym przedziale ma także temperaturę  $\tau^0$ , przechodzi ona do systemu rur przedziału drugiego, ogrzewając sok otaczający rury i przyjmując także temperaturę  $\tau^0$ . W drugim więc przedziale, temperatura początkowa syropu i temperatura pary ogrzewającej go, są sobie równe, t. j.  $T = t$ . Ponieważ jednak stopień próżni w drugim przedziale jest wyższy, niż w pierwszym, to para z syropu powstaje przy temperaturze niższej od



temperatury początkowej, którą sam syrop przyjmuje; w drugim więc przedziale mamy  $\tau > t$ , czyli II wypadek. Toż samo powtarza się we wszystkich następujących przedziałach.

Badając wzory powyżej wyprowadzone widzimy, że wypadek II potrzebuje mniej pary, aniżeli pierwszy, w pierwszym więc przedziale należy się starać o to, ażeby o ile możliwości jak najbardziej zbliżyć się do tego zjawiska, jakie ma miejsce w drugim przedziale, co można w praktyce osiągnąć wprowadzając do pierwszego przedziału sok o możliwie wysokiej temperaturze. Jeżeli rozważymy III wypadek, to łatwo spostrzedz można, że ażeby uczynić  $q$  o ile możliwości małym, trzeba będzie albo zmniejszyć licznik powyższego wyrażenia, albo też powiększyć mianownik, co osiągniemy zwiększając  $T$  lub też zmniejszając  $Q$ . Jeżeli jednak zmniejszymy  $Q$  dla jednego przedziału, zmniejszymy także  $T$  w drugim, lub też jeżeli  $T$  powiększymy dla jednego przedziału, to przez to tylko, że zwiększymy  $Q$  w poprzedzającym przedziale. Należy więc zrównoważyć temperaturę w przedziałach, t. j. wziąć sumę jednostek ciepła, jaką jesteśmy w stanie dać wszystkim przedziałom i podzielić ją na taką liczbę części równych, z ilu przedziałów składa się przyrząd stężający.

Uwaga I. Winniśmy zauważyć, że ciepło właściwe odpowiadające rozmaitym stopniom gęstości soku jest następujące:

Gęstość soku.	Ciepło właściwe.
1,0000	1,0
1,0685	0,9
1,1370	0,8
1,2055	0,7
1,2740	0,6
1,3425	0,5.

Wskazówki te są wystarczające dla rozmaitych wypadków, w jakich można się znaleźć, tem więcej, że przy zmieniającym się składzie soku, zależnym od roku, pory przerobu buraków i przebiegu samej roboty, podanie stałych granic dla liczb powyższych jest niemożliwem.

Uwaga II. Obliczenia powyższe wyprowadzone zostały w przypuszczeniu, że do ogrzania mieliśmy wagę  $P$  soku, która po stężeniu w przedziale pierwszym zmniejsza się i staje się równą  $(P-p)$ ; waga soku  $(P-p)$  przechodzi do przedziału drugiego i tam po stężeniu staje się równą  $(P-p-p')$ , która przechodzi do przedziału trzeciego i t. d. W praktyce jednak podczas działania przyrządu nie może to mieć miejsca. Sok jest żywiony ciągłym ruchem i objętość jego w każdym przedziale jest prawie stałą. Zjawisko zaś, które przyjęliśmy za podstawę obliczenia, odbywa się tylko w częściach wagi ogólnej soku, których suma jest równą  $P$  a które to części stanowią strumienie soku przechodzące przez kurki i przepustniki rur przedziału w pewnym danym czasie. Rozumowanie nasze jednak niemniej jest pra-



wdziwe, jeżeli bowiem rozważymy cząstkę wagi soku  $\frac{P}{n}$  to ona, da ilość  $\frac{P}{n}$  pary, a objętość jej po odparowaniu będzie  $\frac{P-p}{n}$ ; cząstka ta soku zawierać będzie  $\frac{(P-p) c \tau}{n}$  jednostek ciepła. Jeżeli rozumowanie nasze powtórzymy  $n$  razy t. j. tyle razy, ile razy doprowadzimy kurkami i odprowadzimy świeżą porcją soku  $= \frac{P}{n}$ , wielkości tak małej jak tylko zechcemy, to w końcu zawsze dojdziemy do tegoż samego rezultatu, jakibyśmy otrzymali rozważając naraz całą masę soku.

Uwaga III. W przypuszczeniu, że zwiększająca się gęstość soku nie wpływa na szybkość wyparowywania, w miarę jak się zbliżamy do punktu krystalizowania syropu, wykonaliśmy w laboratorium doświadczenie, które nas doprowadziło do następujących rezultatów:

1 kgm syropu dla przejścia od gęstości 5° do 12° Bm., co odpowiada 0,5 kgm wody wyparowanej, potrzebował w naszym przyrządzie 12 minut czasu.

1 kgm syropu dla przejścia od gęstości 12° do 24° Bm. czyli dla wyparowania ilości wody = 0,5 kgm., potrzebował 14 minut czasu.

1 kgm syropu, dla przejścia od gęstości 24° Bm., do punktu gotowania na masę, czyli do wyparowania 0,57 kgm wody, potrzebował 45—48 minut czasu.

Widzimy więc, że jednakowego prawie czasu potrzeba na przeprowadzenie syropu od gęstości 5 do 12° i 12 do 24° Bm. i te okresy czasu za zupełnie równe uważać będziemy. Dla przejścia zaś od gęstości 24° Bm. do punktu krystalizacji, syrop potrzebuje 3—4 razy dłuższego czasu i dla tego będziemy zmuszeni dla przedziałów stężających syropu o gęstości przewyższającej 24° Bm., oprzeć się na nowych rozumowaniach i zastrzedz, że 1 m<sup>3</sup> powierzchni ogrzewalnej wyparowuje nie 8, lecz 2 kgm.

wody na sekundę, czyli że  $\frac{R}{e} = 2$ .

Uwaga IV. Podług *Péclet'a* powierzchnie ogrzewalne kotłów, powinny być w stosunku odwrotnym do przewyżki temperatur. Wzory powyżej wyprowadzone wykazały nam, że najlepszymi warunkami będą te, przy których przewyżki temperatur są równe. Osiągnąć to możemy przy przedziałach równych co do wielkości, z warunkiem wprowadzenia pewnych modyfikacji zależnych od zmiany gęstości i ciepła właściwego, co dalej rozberzemy; czyli że nazywając przez  $S, S', S''$  powierzchnie ogrzewalne przedziałów a przez  $t, t', t''$  — temperatury ogrzewania, powinniśmy otrzymać:

$$8S(t - t') = 8S'(t' - t'') = 8S''(t'' - t'''). \dots,$$

w którym to wzorze, każdy z jego wyrazów przedstawia nam ilość pary skroplonej w każdym oddzielnym przedziale, że zaś te ilości są sobie równe, otrzymamy więc  $S = S' = S''$

### Przyrząd stężający o potrójnem działaniu.

Przyrząd stężający o potrójnem działaniu składać się będzie z trzech przedziałów i jednego skroplacza; winien on odpowiadać następującym warunkom:

Dla podniesienia gęstości soku burakowego z 5° do 25° Bm., należy wyparować  $\frac{3}{4}$  objętości soku, czyli oddalić z niego 75% wody, t. j. po 25% wody na każdy przedział. Przypuścimy, że temperatura pary ogrzewającej 1-szy przedział wynosi 110°; z tego co poprzednio mówiliśmy widzimy, że temperaturę wszystkich 3-ch przedziałów zrównoważyć można, summując ilość jednostek ciepła, którą rozporządzać możemy i udzielając trzecią część tej summy każdemu z przedziałów. W trzecim więc przedziale wrzenie będzie się odbywało pod wpływem najwyższego stopnia próżni np. 67<sup>mm</sup>, przyczem temperatura pary wynosić będzie 50° C.

Każdy z przedziałów mieć będzie temperaturę o  $\frac{110 - 50}{3} = 20^\circ$  niższą od przedziału poprzedzającego, czyli  $t - t' = 20^\circ$ . Jeżeli więc założymy, że temperatura pary działającej na 1-y przedział = 110°, to:

Para wywiązująca się z 1-go przedziału	mieć będzie	90°
„ „ 2-go	„ „	70°
„ „ 3-go	„ „	50°

Nasuwa się pytanie, przy jakim stopniu próżni, woda jest w stanie wrzeć przy przytoczonych wyżej temperaturach? Według *Gay-Lussac'a* prężność pary przy tych temperaturach jest następująca:

Przy 90° prężność pary 52,528...235<sup>mm</sup>. słupa rtęci

„ 20° „ „ 22,907...531<sup>mm</sup>. „ „

„ 50° „ „ 8,874...671<sup>mm</sup>. „ „

Do tych czynników należy jeszcze dodać średnią gęstość plynu trzech przedziałów i odpowiadające jej ciepło właściwe, a otrzymamy tablicę następującą:

N <sup>o</sup> przedziału	Wysokość słupa rtęci	Ilość wody wyparowanej	Średnia gęstość	Ciepło właściwe
1	235 <sup>mm</sup> = 8" i 8 linii	25%	1,042	0,95
2	531 <sup>mm</sup> = 19" i 6 „	25%	1,070	0,90
3	671 <sup>mm</sup> = 24" i 9 „	25%	1,142	0,85

Przypuściwszy, że mamy do czynienia z objętością soku burakowego = 100, otrzymamy wszystkie dane potrzebne do zasto-

1) hektolitr =  $\frac{1}{10}$  metra sz. = 3,53 st. sz. ang.

sowania powyżej wyprowadzonych wzorów; w rachunku tym za jednostkę objętości przyjęto hektolitr <sup>1)</sup>, za jednostkę zaś miary powierzchni ogrzewalnej — metr.

*Przedział I.* Dla pierwszego przedziału mamy następujące dane:

$$p = 25, T = 110, t = 80, \tau = 90, D = 1,042, c = 0,95$$

W pierwszym kotle  $t < \tau$ , jest to więc wypadek pierwszy; wstawiając te dane we wzorze dla  $S$ , otrzymamy:

$$S = \frac{25 [606.5 + (0.305 - 0.950) 90] \left(110 - \frac{80 + 90}{2}\right)}{(110 - 90) \left(110 - \frac{80 + 90}{2}\right) (606.5 + 0.305 + 110 - 90) 8] - (90 - 80) \times 1.012 \times 0.95 \times 0.266.}$$

$$S = 0,157$$

*Przedział II.* Dla drugiego przedziału mamy następujące dane:

$$p = 25, T = 90, t = 90, \tau = 70, D = 1,070, c = 0,90$$

W drugim kotle  $t > \tau$ , jest to więc wypadek drugi. Wstawiając powyższe dane w odpowiedni wzór znajdziemy:

$$S = 0,157.$$

*Przedział III.* W trzecim przedziale  $t > \tau$ , a wartość na  $S$  otrzymamy znowu z wzoru wstawiając:

$$p = 25, T = 70, t = 60, \tau = 50, D = 1,142, c = 0,85.$$

Rozwiązując wzór znajdziemy:  $S = 0,157$ .

Uwaga I. Jak widzimy samo już obliczenie prowadzi nas do tego, żeby wszystkie przedziały przyrządu stężającego były sobie równe.

Uwaga II. Liczba  $0,157 \text{ m}^2$ , znaleziona z rachunku na wielkość powierzchni ogrzewalnej, jest 36 razy mniejszą od używanej w praktyce, co zależy poczęści od samego systemu ułożenia rur w przyrządzie, ganionego przez niektórych autorów, od obecności par amoniakalnych nagromadzających się pod górną płytą rur i zajmujących tym sposobem pewną część powierzchni ogrzewalnej, a także i od naskorupień tworzących się na rurach. Przyrząd stężający działa daleko lepiej w pierwszych chwilach puszczenia go w ruch, aniżeli później; gdyby więc jego siła to jest wielkość powierzchni ogrzewalnej obliczoną była tylko według danych teoretycznych, to zmuszeni byłibyśmy wkrótce zatrzymać fabrykę. W rzeczy samej przekonano się, że naskorupienie grubości  $1^{\text{mm}}$  na rurach parowych, osłabia siłę parowania 25 razy, przy warstwie naskorupienia  $2^{\text{mm}}$  grubej siła parowania maleje 50 razy, a współczynnik 8, t. j. ilość wody w kilogramach, wyparowywana przez 1 metr kwadratowy powierzchni ogrzewalnej, staje się równym 1,46 i dla tego też niektórzy autorowie są zdania, że przyrządom stężającym należy dawać powierzchnię ogrzewalną 66 razy większą od wskazanej przez teorię.

Uwaga III. Kiedy w cukrowniach wprowadzano po raz pierwszy przyrządy stężające o potrójnem działaniu, inżynierowie powzięli myśl dawania każdemu z przedziałów przyrządu wymiarów wzrastających w ten sposób, że pierwszy z nich był najmniejszym, trzeci zaś największym, przyczem opierano się na tem rozumowaniu, że para ogrzewająca pierwszy przedział jako mająca najwyższą temperaturę, potrzebuje mniejszej powierzchni ogrzewalnej aniżeli w przedziale 2-im a nadewszystko w 3-im, gdzie temperatura pary wynosi tylko 70°. Rozumowanie to było fałszywe, jak o tem mogliśmy się przekonać z rozwiązania powyżej wyprowadzonych wzorów. Tymczasem zaczęto budować przyrządy stężające o potrójnem działaniu o przedziałach różniczkowych, które działają bardzo dobrze, chociaż nie tak ekonomicznie, jak przyrządy o przedziałach równych. W fabrykach jednak posiadających znaczną obfitość pary powrotnej, przyrządy takie dobrze i szybko działają i odpowiadają zupełnie potrzebom przemysłu cukrowniczego. Inaczej rzecz by się miała, gdyby fabryka dla jakiegobądź przyczyny była ubogą w parę powrotną i była zmuszoną do używania pewnej części świeżej pary.

Przy budowaniu tych przyrządów różniczkowych, zrazu nie umiano dokładnie obliczyć wzajemnych wielkości każdego przedziału i w skutek tego cały przyrząd działał źle. W rzeczy samej, widzieliśmy np. w działaniu przyrząd stężający przezczasem do przerobu 2 200 hektolitrow na dobę, o wymiarach i danych co do działania jego następujących:

Przedział	Próżnia cali	mm.	Temperatura wrzenia	Gęstość Bm.	Powierzchnia ogrzewalna.	Objętość przedziałów.
1	5	135	95°	10°	82,98	24 hektol.
2	15	406	80°	16°	110,28	26 "
3	22	595	63°	25°	128,00	35 "

Temperatura pary ogrzewającej wynosiła 121°.

Stosując do tego przyrządu wzór podany w uwadze II-iej powinniśmy otrzymać następujące równania:  $82,98 (121 - 95) = 110,28 (95 - 80) = 128 (80 - 63)$ . Ponieważ różnice temperatur są: 26, 15 i 17, a drugi przedział ma mniejszą powierzchnię ogrzewalną aniżeli 3-ci, to iloczyn powstały z pomnożenia liczby wyrażającej wielkość powierzchni ogrzewalnej 2-go przedziału przez 15, nie może być równym iloczynowi z powierzchni kotła 3-go przez 17, co w rzeczy samej ma miejsce. Wykonawszy wyżej wskazane mnożenie, otrzymujemy trzy następujące liczby:

2147,58                      1654,20                      2176,00

Pierwsza i trzecia liczba mało się od siebie różnią, za to druga znacznie jest od nich mniejszą, a dla otrzymania równości należałoby powiększyć jeden z czynników: powierzchnię ogrzewalną, albo też temperaturę. Zwiększając powierzchnię ogrzewalną, należałoby ją dać  $= 143 m^2$ ; wtenczas otrzymalibyśmy prawie jednakowe liczby:

2157,48

2158

2176.

Różnica pomiędzy temi liczbami jest zbyt małą, ażeby ją brać pod rozbiór, ze względu zmienność temperatury i ciśnienia. Naturalnym wynikiem tego będzie, że jeżeli zatrzymamy taką formę przyrządu, to działanie jego przy tych warunkach, dla których przyrząd jest zbudowanym, będzie niemożliwe; pierwszy bowiem przedział będzie dawać nadmiar pary, którego drugi nie będzie w stanie skroplić — i temu nadmiarowi pary zmuszeni będziemy dać jakiegokolwiek ujście, co w rzeczy samej miało miejsce w przyrządzie, który powyżej przytoczyliśmy. Dla przeprowadzenia z drugiego przedziału do trzeciego nadmiaru pary nie-skroplonej, musiano dać osobny przewód, skutkiem czego przedział trzeci działał tak, jak gdyby para dla ogrzewania takowego pochodziła jedynie z drugiego przedziału w ilości równoważnej tej, jakiej dostarczał pierwszy przedział. Inny dowód niedostateczności powierzchni ogrzewalnej drugiego przedziału, można wyciągnąć z obliczenia objętości jaką powinny mieć przedziały. Dajmy na to, że mamy obliczyć objętość, jaką dać należy przedziałom przyrządu o potrójnem działaniu dla dziennego przerobu 2 200 hektolitrow soku. W przeciągu tego czasu objętość soku = 2 200 hektolitrow, musi przejść przez pierwszy przedział, przyczem ta ilość soku zostaje sprowadzoną do objętości 1073,6 hektolitrow, które przejdą do drugiego przedziału, gdzie sok po wyparowaniu, zejdzie do objętości 666,6 hektol. i w tej ilości przejdzie do trzeciego przedziału. Wreszcie z tego przedziału wyjdzie tylko 422,8 hekt. syropu o gęstości 25° Bm. Proces więc stężania soku odbywać się będzie tak, jak gdyby:

W przedziale 1 wyparowało się 47 hektol. wody w przeciągu 1 godz.

"	2	"	17	"	"	"	1	"
"	3	"	10	"	"	"	1	"

Że zaś parując 47 hektol. wody w pierwszym przedziale, paruje się tyleż w drugim i trzecim, to wypadaloby, żeby drugi przedział zawierał  $\frac{47}{17}$  razy więcej pynu do wyparowania, aniżeli przeznaczone mu tylko 17 hektol., trzeci zaś  $\frac{47}{10}$  razy większą ilość

Jeżeli więc pierwszy przedział mieścił w sobie 2 200 hektolitrow, to otrzymamy następujące wymiary przedziałów:

1 przedział o objętości	2 200 hektol.
2 " "	$\frac{47}{17} \times 1073,6 = 2968,1$ "
3 " "	$\frac{47}{10} \times 666,6 = 3133,02$ "

Innemi słowy stężając 2 200 hektol. soku od 5°—10° Bm.

stężymy	2968,10	"	"	10—16°	"
"	3133,02	"	"	16—25°	"



Liczby powyższe dadzą się zastosować w praktyce. Trzeci przedział miał stężyć 422,8 hektol. soku w 24 godzinach, czyli że co godzinę powinniśmy otrzymywać z niego 17,61 hektol. Z liczb zaś powyższych widzimy, że należy mu dać objętość dwa razy większą, tak ażeby co godzinę otrzymywać 35 hektol. syropu, t. j. ażeby co godzinę można było spuścić połowę jego zawartości. Otrzymamy więc następujące liczby dla trzech przedziałów: 1-y 24,5 hektol na godz. 2-gi 33,1 i 3-ci 55 hektol.

Objętości kotłów przyrządu, który wyżej opisaliśmy, mają się do siebie jak 24 : 26 : 35, pierwszy więc i trzeci zgadzają się z powyższymi liczbami, lecz drugi jest zupełnie niewystarczający do pracy, jaką mu przeznaczamy, a rozważywszy cały proces, jaki zachodzi w przyrządzie znajdziemy: że ponieważ 2-gi przedział powoli i słabo pracuje, przeto syrop dopływający do 3-go przedziału jest za rzadki, w skutek czego zbyt wielka ilość wody, którą trzeba było wyparować w tym ostatnim przedziale nie pozwalała mu wrzeć przy odpowiedniej niskiej temperaturze, a próżnia słabła. Jeżeli chciano przyspieszyć działanie przyrządu silniejszym wygrzewaniem pierwszego przedziału, to próżnia słabła w obu pierwszych przedziałach, trzeci bowiem przedział nie był w stanie zużyć tyle ciepła, ile mu dostarczały dwa pierwsze przedziały—para w nich powstająca nie mogła się skroplać, próżnia bowiem w drugim przedziale była osłabioną przez nadmiar pary, która się tworzyła pod wpływem zbyt wielkiej ilości ciepła wytwarzanego przez pierwszy przedział. Streszczając powyższe uwagi,—znajdujemy, że przyrządy o potrójnem działaniu powinny się składać z przedziałów równej wielkości, jeżeli przyrząd ekonomicznie ma działać, w przyrządach zaś o przedziałach różniczkowych, dwa drugie powinny być prawie równe sobie i w stosunku podanym powyżej.

Uwaga IV. Zamierzano budować przyrządy stężające o wielokrotnem, np. poczwórnem działaniu. Dane dla takiego przyrządu byłyby następujące:

Przedział	Temperatura wrzenia	Ciśnienie mm.	Ilość wody w parow.	Średnia gęstość.	Ciepło właściwe.
1	95°	126	25%	1042	0,95
2	80°	408	25%	1070	0,90
3	65°	577	25%	1142	0,85
4	50°	671	15%	1401 (masa)	0,45

W takich przyrządach stężanie dochodziłoby aż do stopnia ugotowania na war.

Wielkość powierzchni ogrzewalnej każdego z przedziałów na mocy wzorów, byłyby następująca:

1 przedział	$S = 0,208$
2 „	$= 0,208$
3 „	$= 0,210$
4 „	$= 0,865$

Zauważymy tu, że 4-ty przedział będzie wyparowywać w tym-że samym czasie tyleż wody co inne trzy, za to powinien mieć powierzchnię ogrzewalną 4 razy większą od innych, służy bowiem już do gotowania, nie zaś do stężania, a wiemy, że w tym pierwszym razie, parowanie jest 4 razy wolniejsze. Przedziały przyrządu o poczwórnem działaniu powinny być w ogóle większe od przedziałów przyrządu o potrójnem działaniu i to w stosunku  $\frac{210}{157}$ , co zresztą łatwo da się wytłomaczyć tem, że dla wykonania jednakowej pracy w każdym przedziale przyrządu o potrójnym skutku rozmieszczamy więcej ciepła, aniżeli w przedziałach przyrządu o poczwórnem działaniu. Powierzchnie ogrzewalne przedziałów powinny być odwrotnie proporcjonalne do nadmiarów temperatury. Przyrządy więc o poczwórnem działaniu, jakkolwiek ekonomiczne pod względem ilości zużywanej pary, są niedogodne dla zbyt wielkich wymiarów, jakie im dać należy. Odwrotnie znów przyrządy o podwójnem działaniu, przy mniejszej stosunkowo objętości, działają silniej, aniżeli przyrządy o potrójnem działaniu, te ostatnie są za to o wiele ekonomiczniejsze i przez to szybko pokrywają wyłożony kapitał nakładowy i dla tego pozostaną one zawsze właściwą granicą, od której nie należy odstępować w przyrządach stężających o wielokrotnem działaniu.