

12. Prednáška

Odparovanie kvapalín

Odparovanie kvapalín

Ciel': Zahustenie roztokov, získavanie kryštálov látok, regenerácia rozpúšťadla...

Odparka - systém zariadení v ktorých sa uskutočňuje odparovanie (1 odparovač, alebo viacej odparovačov, odlučovač kvapiek, kondenzátor, chladič...)

Dej: periodický (pretržitý), alebo nepretržitý (kontinuálny)

Pracovný tlak: P_{atm} atmosferický; $P > P_{atm}$; $P < P_{atm}$ (vákuové odparky)

Surovina : čerstvý roztok

Produkt: zahustený roztok, štiavna (brýdová) para, kryštály tuhej fázy

Zapojenie viacčlennej odparky: súprúdové usporiadanie

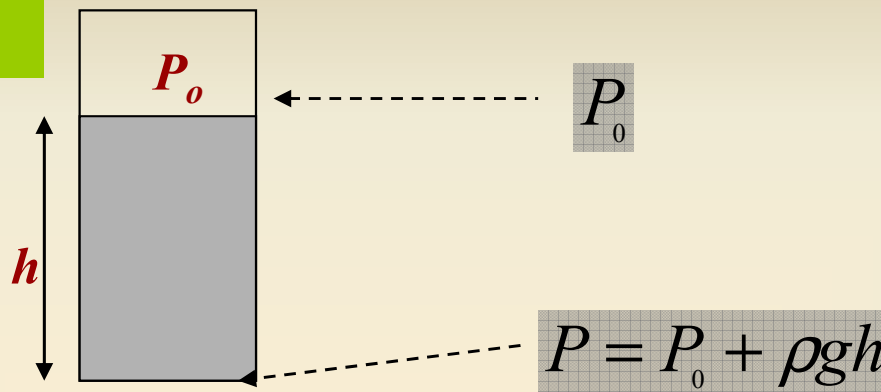
protiprúdové usporiadanie

paralelné usporiadanie

kombinované usporiadanie

Odparovanie kvapalín

Určujúci tlak v odparovači



$$P = P_0 + \frac{1}{2} \rho gh$$

Teplota varu rozpúšťadla

Clausiova – Clapeyronova rovnica

$$\frac{d \ln P}{dT} = \frac{M \Delta_{\text{vyp}} h}{RT^2}$$

$\Delta_{\text{vyp}} h$ – špecifické výparné teplo rozpúšťadla

M – mólová hmotnosť rozpúšťadla

Teplota varu roztoku pri danom tlaku

Roztok má vždy teplotu varu vyššiu ako má čisté rozpúšťadlo!

PREČO ?

$$P = P_L + P_S = P_L^* x_L + P_S^* x_S$$

Pridaním tuhej zložky do roztoku poklesne tlak pár roztoku – pokles tlaku roztoku vyvolá zvýšenie bodu varu roztoku

Výpočet teploty varu roztoku pri danom tlaku

Prepočtové vzťahy odvodené z Clausiovej – Clapeyronovej rovnice, teplota varu roztoku sa porovnáva: s teplotou varu štandardnej kvapaliny pri tom istom tlaku

Düringovo pravidlo

$$\frac{(t' - t'')}{(t'_s - t''_s)} = k$$

Ramsay-Youngovo pravidlo

$$\frac{T}{T_s} = k$$

• porovnáva sa tlak pár skúmaného roztoku s tlakom pár štandardnej kvapaliny pri tej istej teplote

Othmer-Coxovo pravidlo

$$\frac{\ln P'' - \ln P'}{\ln P''_s - \ln P'_s} = k$$

Baboovo pravidlo

$$\frac{P}{P_s} = k$$

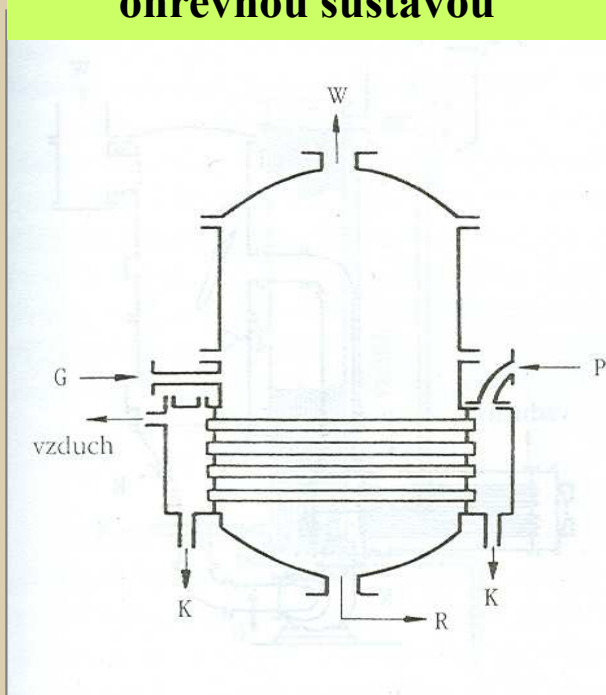
Typy odparovačov

Otvorené nádrže – odparovanie z voľnej hladiny (pod teplotou varu , NaCl)

Uzavreté nádrže vyhrievané parou: s prirodzenou cirkuláciou, s nútenou cirkuláciou, filmové odparky

Odparovače s prirodzenou cirkuláciou

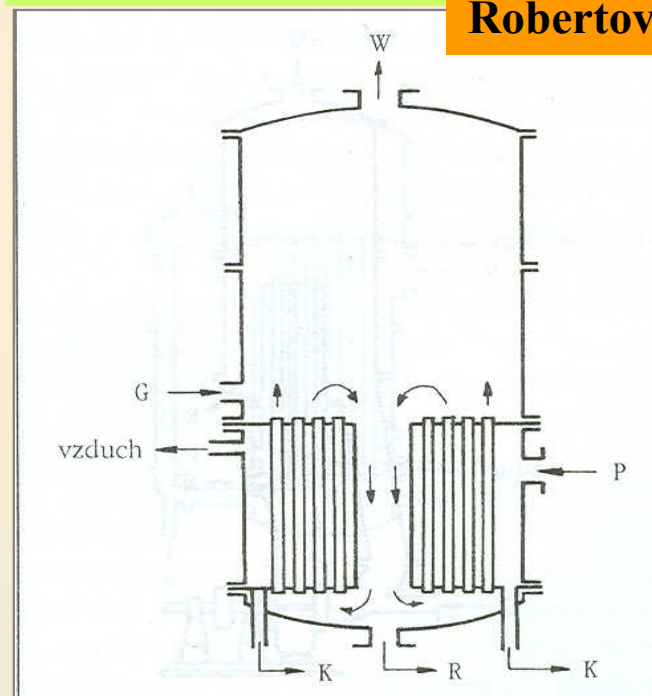
Odparka s horizontálnou ohrevnou sústavou



Ohrevná para prúdi vo vnútri rúrok,

- slabá cirkulácia roztoku, viskozita ↓, bez kryštalizácie, ! jednoduché a lacné

Odparka s vertikálnou ohrevnou sústavou

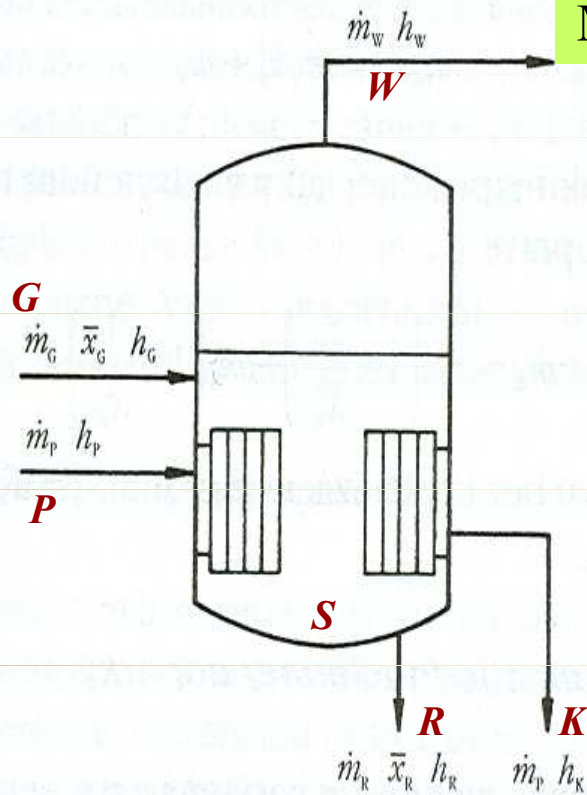


Robertov-Kasalovského odparovač

Roztok prúdi vo vnútri rúrok a ohrevná para kondenzuje v oplášťovanej časti, stredná časť slúži na cirkuláciu roztoku

Jednočlenná odparka

Prúdová schéma jednočlennej odparky



G – čerstvý roztok

R – zahustený roztok

W – štiavna (brýdová) para

P – ohrevná para

K – kondenzát pary

S – tuhá fáza

Materiálová bilancia jednočlennej odparky (bez kryštalizácie)

$$\dot{m}_G = \dot{m}_R + \dot{m}_W$$

$$\dot{m}_G x_G = \dot{m}_R x_R$$

$$\dot{m}_W = \dot{m}_G \left(1 - \frac{x_G}{x_R} \right)$$

Materiálová bilancia jednočlennej odparky s kryštalizáciou

$$\dot{m}_G = \dot{m}_R + \dot{m}_W + \dot{m}_S$$

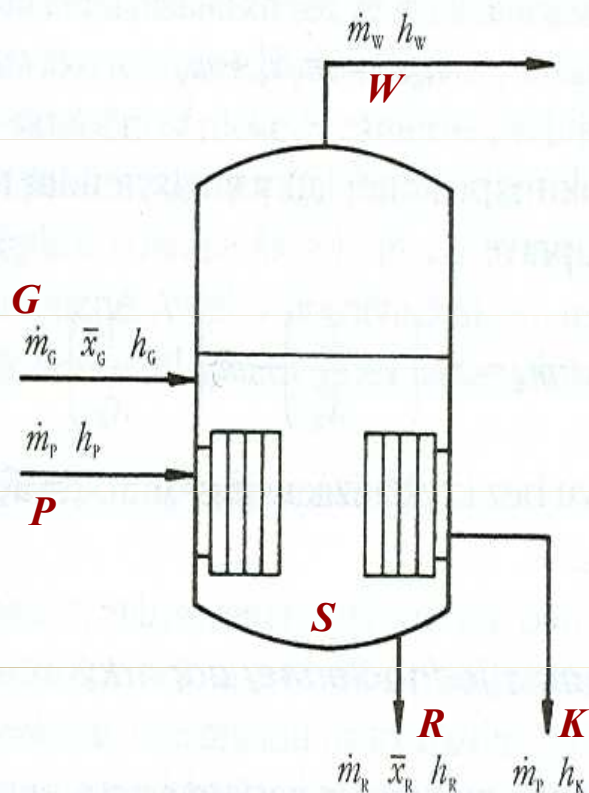
$$\dot{m}_G x_G = \dot{m}_R x'_R + \dot{m}_S$$

x'_R – nasýtený roztok

$$\dot{m}_W = \dot{m}_G \left(1 - \frac{x_G}{x'_R} \right) - \dot{m}_S \left(1 - \frac{1}{x'_R} \right)$$

Jednočlenná odparka

Prúdová schéma jednočlennej odparky



G – čerstvý roztok

R - zahustený roztok

W – štiavna (brýdová) para

P – ohrevná para

K – kondenzát pary

S – tuhá fáza

Entalpická bilancia jednočlennej odparky

$$\dot{m}_G h_G + \dot{m}_P h_P = \dot{m}_R h_R + \dot{m}_W h_W + \dot{m}_S h_S + \dot{m}_K h_K + \dot{Q}_{St}$$

Množstvo tepla, ktoré sa prevedie z ohrevnej pary do roztoku za jednotku času

$$\dot{Q} = \dot{m}_P (h_P - h_K)$$

Voľba referenčného stavu (napr.):

pre ohrevnú paru: $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, (l), P^θ

pre zložky roztoku: stav čistých zložiek pri $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Použitie ref. stavov: h_P , h_K , h_W – parné tabuľky a diagramy

h_G , h_R – výpočet

Poznámky k riešeniu entalpickej bilancie jednočlennej odparky

Výpočet entalpie roztoku: h_G a h_R

$^*, t_0 \rightarrow ^*, t_G \rightarrow$ roztok, t_G

$$h_G = \left[\bar{c}_{PS} x_G + \bar{c}_{PL} (1 - x_G) \right] (t_G - t_0) + \Delta h_{t_G}^M$$

Špecifické tepelné kapacity tuhej zložky a rozpúšťadla

Analógia pre h_R - zahustený roztok R

Δh_i^M – špecifická zmiešavacia entalpia roztoku pri zodpovedajúcej teplote t - (!!! funkcia t, x)

Výpočet Δh_i^M z integrálnych rozpúšťacích tepiel roztokov Δh_i^S – tabelované data

$$\Delta h_i^M = x_i \Delta h_i^S$$

Štiavna (brýdová) para

- Odchádza pri teplote varu roztoku – prehriata para pri pracovnom tlaku odparovača (pri zjednodušených výpočtoch - nasýtená para)
- Ak má dostatočne vysokú teplotu, používajú sa ako ohrevné médium v ďalšom odparovači **Odnáša najviac tepla (takmer celé množstvo tepla privedeného ohrevnou parou)**
- Odlučovač kvapiek – odstránenie kvapiek roztoku
- Straty tlaku v parnom potrubí – rozmery potrubia

Výpočet ohrevnej plochy odparovača

Sústava rúrkových výmenníkov tepla

$$A = \frac{\dot{Q}}{k\Delta t}$$

Hnacia sila - rozdiel teploty ohrevnej pary a roztoku

(dá sa regulovať znížením tlaku (do 100 Torr), maximálny rozdiel 30 K – blanový var)

Úhrnný koeficient prechodu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_u}{\lambda_u} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Tepelný odpor usadenín (na strane vriaceho roztoku)

Zmena úhrnného koeficienta prechodu tepla s časom v dôsledku tvorby usadenín

$$k = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{k_0^2} + C\tau}}$$

k_0 - na začiatku prevádzky, bez usadenín

τ - doba prevádzky zariadenia

C - empirická konštanta

α - zo strany vriaceho roztoku – rýchlosť cirkulácie roztoku v odparovači (s konštrukciou);
výška hladiny roztoku; koncentrácia roztoku (μ); t_v , roztoku - μ , k (! Δt , ! P_{min})

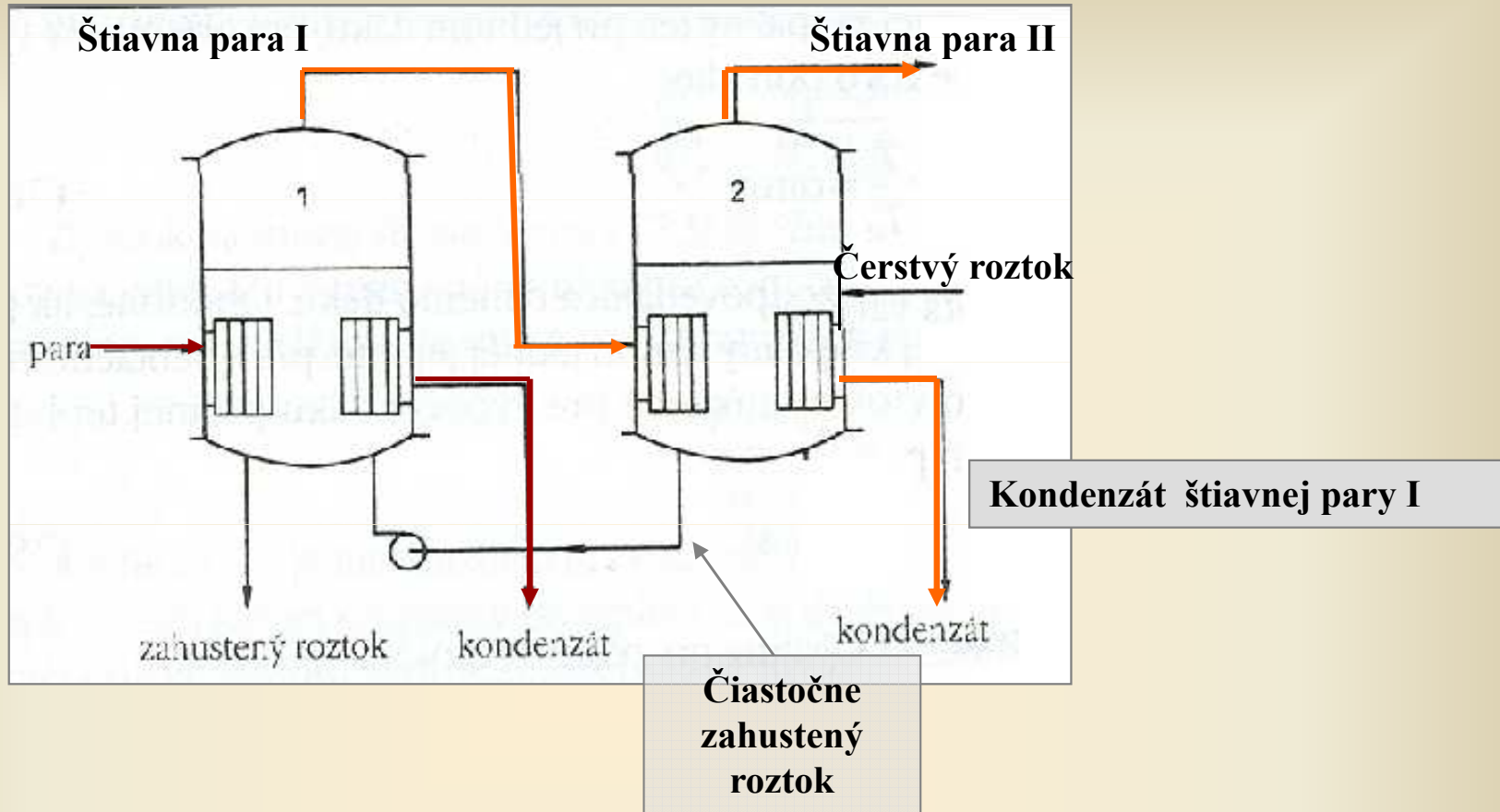
Index hospodárnosti

Návrh odparky – aby sa na minimálnej ploche odparilo maximálne množstvo kvapaliny – konštrukcia odparky čo najhospodárnejšia

Index hospodárnosti – množstvo štiavnej pary odparenej jednotkovým množstvom ohrevného média

- **Teplotou čerstvého roztoku** - s teplotou roztoku vzrastá index hospodárnosti (aj vyšší ako 1 – samoodparovanie roztoku – predhrievanie roztoku na teplotu vyššiu ako je teplota varu daného roztoku v odparovači (P↓))
- **Teplotou (tlakom) v odparovači** – pri nižšom tlaku je index hospodárnosti o niečo vyšší (roztok sa zohrieva na nižšiu teplotu varu)
- **Teplotou kondenzátu ohrevnej pary**
- **Tepelnými stratami**
- **Rekompresia štiavnej pary** – adiabatická kompresia štiavnej pary na tlak spätnej pary (5 atm, vysoká entalpia, nie je vhodná konať mechanickú prácu) zvýši sa t_K - štiavna para je spôsobilá na ohrev v odparovači (index hospodárnosti 1.5 až 3)
- **Zapojenie niekoľkých odparovačov – viacčlenné odparky**

Viacčlenné odparky s protiprúdovým usporiadaním



← Smer vzrastu koncentrácie

← Smer vzrastu teploty varu

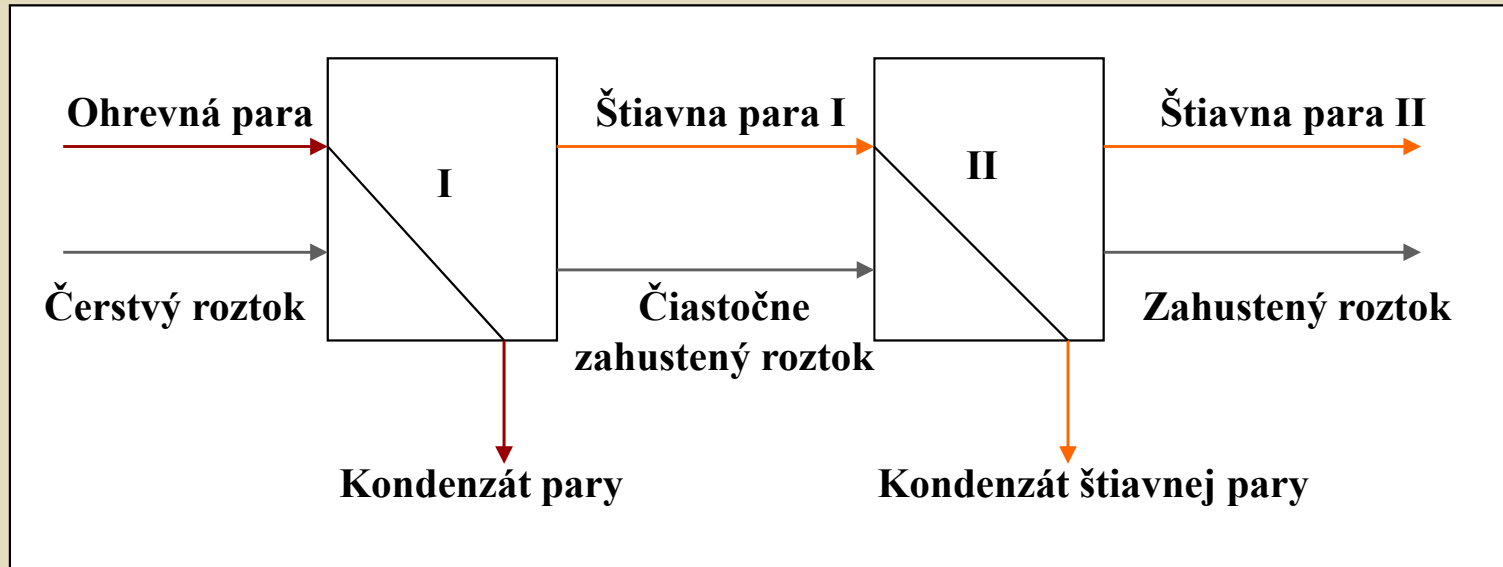
Výhody:

- výhodné podmienky z pohľadu μ a k

Nevýhody:

- zapojenie čerpadiel pre transport roztoku

Viacčlenné odparky so súprúdovým usporiadaním



→ Smer vzrastu koncentrácie

→ Smer vzrastu teploty varu !

Výhody:

-roztok tečie samotokom v dôsledku udržiavaného tlakového spádu (nie je potrebné čerpadlo)

Nevýhody:

-potreba (poklesu teploty varu) poklesu tlaku v jednotlivých členoch – zapojenie vývevy, ⇒ nevýhodné podmienky z pohľadu μ a k ,

-spravidla 1. člen vyšší tlak ako P_{atm} , posledný člen P_{atm}

Viacčlenné odparky s kombinovaným usporiadaním

- kombinácia výhod súprúdového a protiprúdového usporiadania
- prívod čerstvého roztoku do stredného člena - postačí 1 čerpadlo

Viacčlenné odparky s paralelným usporiadaním

- prívod čerstvého roztoku súčasne do všetkých členov odparky
 - vhodný aj pre kryštalizujúce roztoky
 - problém s reguláciou prietokov
- Využitie:** príprava destilovanej vody

Optimálny počet členov odparky

Každý člen odparky zvyšuje index hospodárnosti , ! OPTIMUM

Bilancia investičných a prevádzkových nákladov

$$m_P^o = 1.22 m_W^o \frac{1}{n}$$

Spotreba chladiacej vody v kondenzátore štiavnej pary

Počet členov odparky