

### 3 ODPARKY

Odparovanie patrí medzi veľmi často používané operácie v anorganickej aj organickej technológii, pri výrobe liečiv, celulózy, vo väčšine potravinárskych technológií (cukrovarníctve, mliekarenstve, pri výrobe ovocných štiav) a pod. Cieľom odparovania je získanie zahusteného roztoku, prípadne kryštálov rozpustenej látky. V tom prípade, ak sa ďalším odparovaním už nedosiahne zvýšená koncentrácia rozpustenej látky, ale táto začína vypadať z roztoku vo forme kryštálov, roztok sa odparuje v stave nasýtenia. Niekedy je odparovanie článkom separačných procesov, ktoré na seba nadväzujú, ako napríklad pri regenerácii organických rozpúšťadiel.

Systém zariadení, v ktorom sa uskutočňuje odparovanie, sa nazýva odparka. Odparka môže pracovať vsádzkovo (diskontinuálne) alebo nepretržite (kontinuálne) ako otvorený prietokový systém. Diskontinuálna prevádzka popri istých výhodách je predsa len v porovnaní s nepretržitou prevádzkou menej výhodná, a preto sa budeme ďalej zaoberať prevažne kontinuálne pracujúcimi odparkami.

Odparka môže pracovať pri atmosférickom tlaku, zvýšenom alebo zníženom. Surovinou pre odparku je čerstvý roztok, produktom je zahustený roztok, ktorý môže byť nasýteným roztokom (v tom prípade ďalším produktom sú kryštály tuhej fázy) a napokon v každom prípade pary rozpúšťadla tzv. štiavne pary (brýdové pary).

Odparka sa môže skladať z jediného zariadenia, v takom prípade ide o jednočlennú odparku alebo z viacerých navzájom spojených zariadení, vtedy ide o viacčlennú odparku (dvojčlen, trojčlen, mnohočlen a pod.).

#### **ROZDELENIE ODPARIEK**

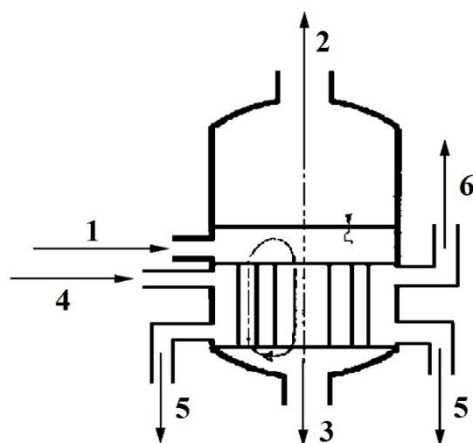
- **podľa dĺžky a polohy rúrok**
  - *odparky s krátkymi vertikálnymi rúrkami* (roztok vrie vo vnútri rúrok, ohrev je z vonkajšej strany, patria sem odparky typu „Robertova“),
  - *odparky so stredne dlhými vertikálnymi rúrkami* (s varákom umiestneným obvykle vedľa varnej sústavy, patria sem odparky typu „Block“, „Wiegand“),
  - *odparky s dlhými vertikálnymi rúrkami* (patria sem odparky typu „Kestner“),
  - *odparky so šikmými rúrkami* (s varákom umiestneným vedľa varnej sústavy, patria sem odparky typu „Vogelbush“, „Buffalo“, „Prache-Bouillon“).
  
- **podľa funkcie rozoznávame**
  - *odparky s prirodzenou cirkuláciou,*
  - *odparky prúdové,*
  - *odparky akceleratorové* (podľa pôvodnej Claassenovej odparky),
  - *odparky s nútenou cirkuláciou,*
  - *odparky akceleratorové s nútenou cirkuláciou,*
  - *filmové odparky,*
  - *doskové odparky.*
  
- **podľa počtu členov**
  - *jednočlenné odparky,*
  - *viacčlenné odparky.*

## PRINCÍP VÝPOČTU ODPARKY

### JEDNOČLENNÁ ODPARKA

Roztoky sa najčastejšie odparujú v odparkách kotlového typu s rúrkovou ohrevnou sústavou, v ktorej sa ako teplotonosná látka používa vodná para. Najviac sa používajú systémy so zvislými rúrkami, kde para kondenzuje na vonkajšom povrchu rúrok a kvapalina vrie vo vnútri rúrok.

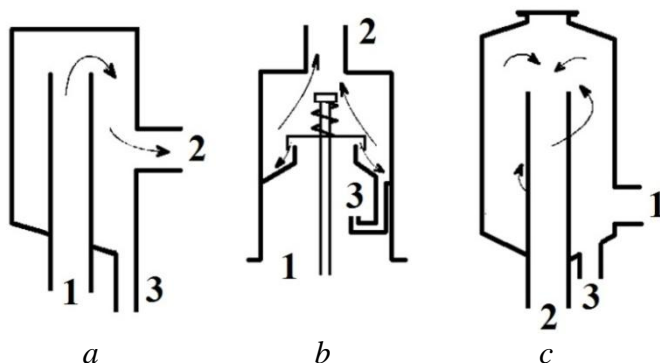
Pri nepretržite pracujúcej odparke sa roztok odparuje tak, že počas procesu sa odvádza zahustený roztok požadovanej koncentrácie a súčasne sa privádza toľko čerstvého roztoku, aby sa hladina udržala na konštantnej výške. Odparovanie roztoku prebieha prakticky pri jeho konečnej koncentrácii, takže roztok má značné zvýšenie teploty bodu varu a vysokú viskozitu, čo vplýva na zníženie úhrnného súčiniteľa prestupu tepla. Vznikajúce štiavne pary, ak majú dostatočne vysokú teplotu, sa ešte môžu využívať na vyhrievanie ďalších členov (pri viacstupňovom odparovaní) alebo iných zariadení. Ak sa štiavne pary nevyužívajú ako ohrevná látka, vedú sa do kondenzátora.



Obr. 3.1. Schéma jednočlennej odparky [9]:

1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup štiavnej pary, 3 – výstup zahusteného roztoku,  
4 – vstup pary, 5 – výstup kondenzátu, 6 – výstup vzduchu

Štiavna para, ktorá opúšťa hladinu roztoku, strháva so sebou vplyvom prudkého varu vždy určité množstvo roztoku vo forme drobných kvapiek. Únos kvapiek z roztoku je škodlivý jav, lebo unášané kvapky obsahujú časť rozpustenej látky. Únosu sa zabraňuje konštrukciou dostatočne veľkého parného priestoru nad hladinou roztoku v odparke, a najmä odlučovačmi kvapiek, ktoré zaraďujeme medzi parný priestor odparky a potrubie na odvod štiavných pár. Odlučovače kvapiek sú založené na princípe pôsobenia zotrvačných alebo odstredivých síl na kvapky roztoku. Na obrázku 3.2 sú znázornené tri najčastejšie používané typy odlučovačov.

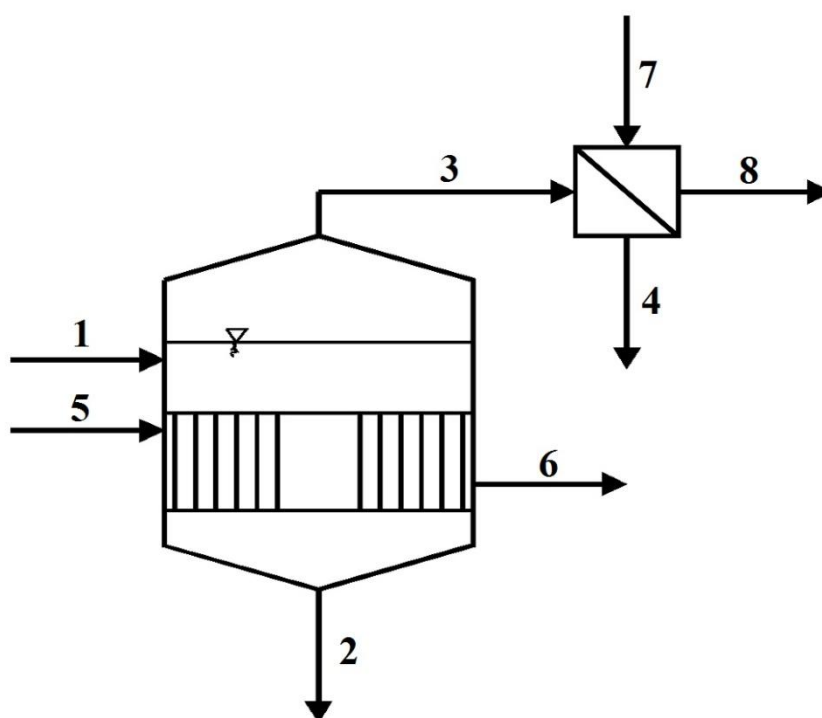


Obr. 3.2. Základné typy odlučovačov kvapiek [9]:

a – stúpačkový, b – deflektorový, c – tangenciálny,

1 – prívod štiavnej pary, 2 – odvod štiavnej pary, 3 – odvod odlúčených kvapiek

• **materiálová bilancia**



Obr. 3.3. Schéma pre materiálovú a entalpickú bilanciu jednočlennej odparky [9]:  
 1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup zahusteného roztoku, 3 – výstup štiavných pár,  
 4 – výstup kondenzátu zo štiavných pár, 5 – vstup pary, 6 – výstup kondenzátu,  
 7 – vstup chladiva, 8 – výstup chladiva

Pre jednočlennú odparku pracujúcu v ustálenom stave bez kryštalizácie platí z obrázka 3.3.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (3.1)$$

kde

- $\dot{m}_1$  – hmotnostný tok čerstvého roztoku (kg. s<sup>-1</sup>)
- $\dot{m}_2$  – hmotnostný tok zahusteného roztoku (kg. s<sup>-1</sup>)
- $\dot{m}_3$  – hmotnostný tok štiavných pár (kg. s<sup>-1</sup>)

Pre rozpustenú zložku platí

$$\dot{m}_1 \bar{x}_1 = \dot{m}_2 \bar{x}_2 \quad (3.2)$$

kde

$\bar{x}_1$	– hmotnostný zlomok rozpustenej látky v čerstvom roztoku	(kg. kg <sup>-1</sup> )
$\bar{x}_2$	– hmotnostný zlomok rozpustenej látky v zahustenom roztoku	(kg. kg <sup>-1</sup> )

• **entalpická bilancia**

Za predpokladu, že ohrev odparky zabezpečuje kondenzujúca para, entalpická bilancia zariadenia má tvar

$$\dot{m}_1 i_1 + \dot{m}_p i_p = \dot{m}_2 i_2 + \dot{m}_3 i_3 + \dot{m}_p i_k + \dot{Q}_s \quad (3.3)$$

kde okrem už zavedeného označovania

$\dot{m}_p$	– hmotnostný tok pary	(kg. s <sup>-1</sup> )
$i_p$	– entalpia pary	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_1$	– entalpia čerstvého roztoku	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_2$	– entalpia zahusteného roztoku	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_3$	– entalpia štiavných pár	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_k$	– entalpia kondenzátu	(J. kg <sup>-1</sup> )
$\dot{Q}_s$	– tepelné straty zariadenia	(W)

V ustálenom stave, keď zahustený roztok nie je nasýtený a hmotnostné prietoky prúdov sú konštantné, môžeme upraviť rovnicu (3.3) na tvar

$$\dot{m}_1 i_1 + \dot{m}_p (i_p - i_k) = \dot{m}_2 i_2 + \dot{m}_3 i_3 + \dot{Q}_s \quad (3.4)$$

Druhý člen ľavej strany rovnice (3.4) je teplo vymenené medzi ohrevnou parou a roztokom vyjadrené rovnicou

$$\dot{Q} = \dot{m}_p (i_p - i_k) = \dot{m}_2 i_2 + \dot{m}_3 i_3 - \dot{m}_1 i_1 + \dot{Q}_s \quad (3.5)$$

z ktorej úpravou a použitím rovnice (3.1) dostaneme

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 (i_3 - i_1) - \dot{m}_2 (i_3 - i_2) + \dot{Q}_s \quad (3.6)$$

V odparkách vyhrievaných kondenzujúcou parou je ohrevná sústava rúrková, t. j. ide o rúrkový výmenník tepla a jeho ohrevnú plochu počítame zo vzťahu (1.3). Pri procese odparovania musíme však vziať do úvahy, že stredná skutočná teplotná diferencia  $\Delta T_{s,sk}$  je nižšia ako  $\Delta T_s$  pri výmenníkoch tepla. Vplýva na to zvýšenie bodu varu roztokov, hydrostatický tlak odparovaného roztoku a hydrodynamická tlaková strata. Teplota bodu varu roztoku je vyššia ako teplota bodu varu čistého rozpúšťadla pri danom tlaku. Vplyv hydrostatického tlaku odparovaného roztoku sa prejavuje tak, že teplota bodu varu roztoku je vyššia ako zodpovedá tlaku štiavných pár, čo sa prejavuje tým viac, čím je nižší tlak v odparke. Z týchto dôvodov má byť výška hladiny najmä

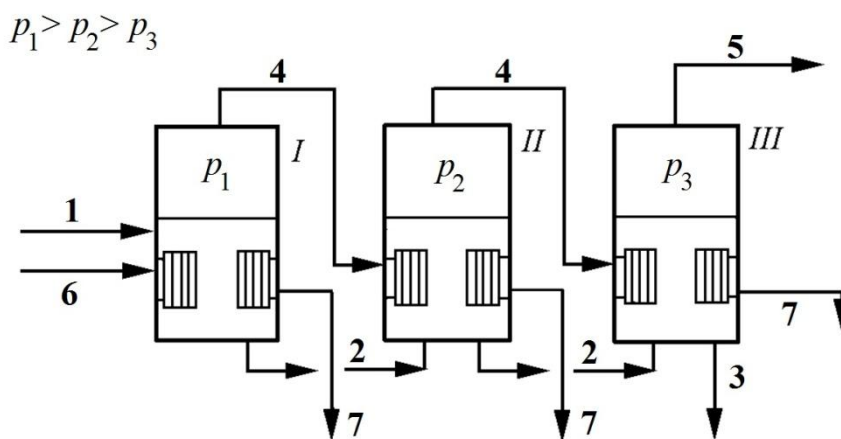
pri vákuových odparkách čo najnižšia. Tlaková strata vzniká pri pohybe roztoku, čo má za následok zvýšenie teploty bodu varu roztoku.

Zvýšenie teploty bodu varu roztoku sa prejavuje najmä pri anorganických roztokoch s vysokými koncentráciami (napr. KOH; NaOH; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Pri viacčlenných odparkách sa to prejavuje najmä v posledných členoch.

### VIACČLENNÁ ODPARKA

Najviac tepla z odparky odnáša so sebou štiavna para, čo by sa dalo využiť na odparovanie v druhej odparke (druhom člene), keby v nej bola teplota bodu varu roztoku nižšia ako v člene, z ktorého para odchádza. Tak by sa zaručil teplotný rozdiel potrebný pre prestup tepla. Táto myšlienka je realizovaná vo viacčlennej odparke, pozostávajúcej z viacerých členov, pracujúcich pri stále nižšom tlaku. Tým sa dosahuje, že v určitom člene je nižšia teplota bodu varu, ako v predchádzajúcom. Schéma súprúdneho variantu trojčlennej odparky je znázornená na obr. 3.4.

Do prvého člena sa privádza čerstvý roztok, ktorý preteká po čiastočnom zahustení do druhého a odtiaľ do tretieho člena pôsobením tlakového spádu. V dôsledku tlakového spádu je medzi jednotlivými členmi aj teplotný spád, takže štiavna para z prvého člena sa používa ako ohrevná para v druhom člene a štiavna para z druhého člena ako ohrevná para v treťom člene. Takto sa jedným kilogramom pary privádzanej do prvého člena trojčlennej odparky odparí približne 3 kg vody z roztoku. Prakticky sa množstvo odparenej vody pohybuje okolo 2,5 kg, čo spôsobuje spotreba tepla na ohriatie roztoku a tiež tepelné straty do okolia. Oblasť tlaku, v ktorej odparka pracuje, sa volí podľa toho, ako je roztok citlivý na pôsobenie vyšších teplôt. Pri vyšších tlakoch má roztok vyššiu teplotu bodu varu, a tým nižšiu viskozitu, čím sú podmienky pre prestup tepla priaznivejšie.



Obr. 3.4. Schéma trojčlennej súprúdnej odparky [9]:

1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – roztok, 3 – zahustený roztok, 4 – štiavna para,  
5 – výstup štiavnej pary, 6 – vstup pary, 7 – výstup kondenzátu

Aj keď viacčlenné odparky zhospodárňujú výrobu, jednako počet členov odparky je obmedzený. Správny počet členov odparky sa určí na základe ekonomickej bilancie, zahŕňajúcej investičné a prevádzkové náklady na odparovanie.

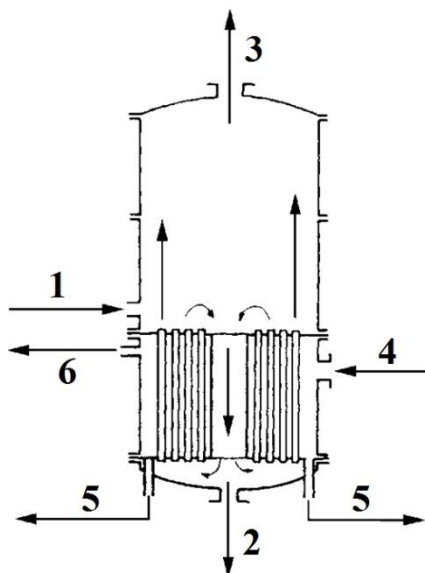
## TYPY ODPARIEK

V priemyselnej praxi sa využíva veľa typov odpariek, ktorých ohrev sa uskutočňuje vodnou parou, prípadne nasýtenými parami iných látok.

Parou vyhrievané odparky môžeme rozdeliť do troch skupín:

- **odparky s prirodzenou cirkuláciou roztoku**

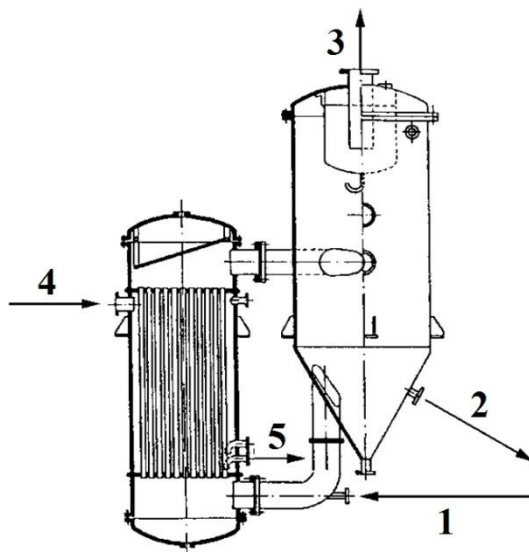
V odparkách s prirodzenou cirkuláciou je pohyb roztoku spôsobený rozdielom lokálnych hustôt, ktorý je zasa vyvolaný teplotným rozdielom alebo bublinami pary. Voľbou vhodnej konštrukcie možno doceliť dostatočne intenzívnu cirkuláciu roztoku v odparke. Často používaný systém je stredová cirkulačná rúra. Na obrázku 3.5 je vyobrazená odparka s vertikálnou ohrevnou sústavou. Cirkuláciu zabezpečuje rúrka s väčším priemerom, ktorá prechádza stredom ohrevného systému. Cirkulácia roztoku je naznačená šípkami.



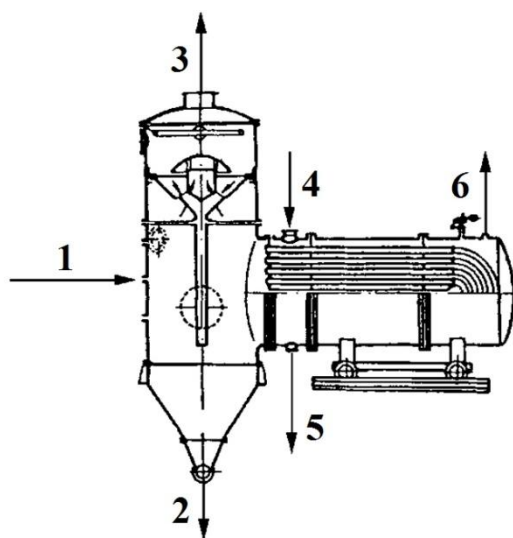
Obr. 3.5. Schéma odparky s vertikálnou ohrevnou sústavou [9]:

1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup zahusteného roztoku, 3 – výstup štiavnych pár,  
4 – vstup pary, 5 – výstup kondenzátu, 6 – výstup vzduchu

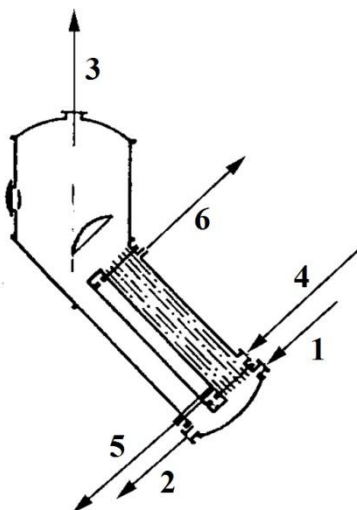
Odparky znázornené na nasledujúcich troch obrázkoch majú vonkajšiu cirkulačnú rúru. Je to odparka s vertikálnou vysunutou vykurovacou sústavou (obr. 3.6), odparka s dvojchodovým horizontálnym vysunutým vykurovacím systémom (obr. 3.7) a odparka so šikmým registrom rúrok (obr. 3.8).



Obr. 3.6. Schéma odparky s vertikálnou vysunutou vykurovacou sústavou [9]:  
 1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup zahusteného roztoku, 3 – výstup štiavných pár,  
 4 – vstup pary, 5 – výstup kondenzátu



Obr. 3.7. Schéma odparky s dvojchodovým horizontálnym vysunutým vykurovacím systémom [9]:  
 1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup zahusteného roztoku, 3 – výstup štiavných pár,  
 4 – vstup pary, 5 – výstup kondenzátu, 6 – výstup vzduchu

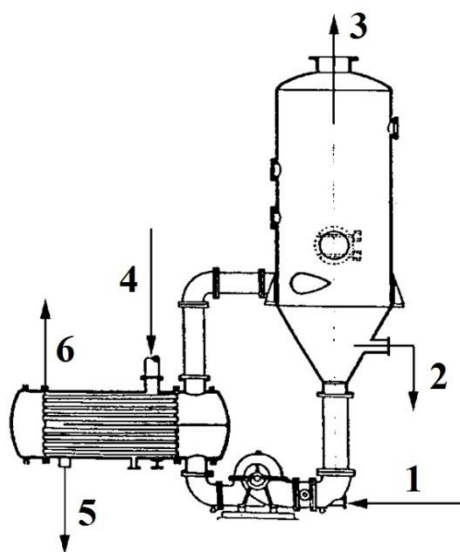


Obr. 3.8. Schéma odparky so šikmým registrom rúrok [9]:  
 1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup zahusteného roztoku, 3 – výstup štiavných pár,  
 4 – vstup pary, 5 – výstup kondenzátu, 6 – výstup vzduchu

Tieto typy odpariek majú vonkajšiu cirkulačnú rúru, ktorá nie je priamo vyhrievaná, a preto je cirkulácia veľmi intenzívna. Pri naklonenej ohrevnej sústave je lepší prístup k rúrkam pri ich čistení a zariadenie vyžaduje menšiu stavebnú výšku.

- **odparky s nútenou cirkuláciou roztoku**

Pri odparkách s nútenou cirkuláciou zabezpečuje cirkuláciu čerpadlo. Na obrázku 3.9 je vyobrazená odparka s nútenou cirkuláciou a horizontálnym dvojchodovým vykurovacím systémom. Odparky s nútenou cirkuláciou sú vhodné na odparovanie viskóznejších kvapalín, pre ktoré by sa nemohli použiť odparky s prirodzenou cirkuláciou. Aj tvorba inkrustov pri týchto odparkách je pomalšia vzhľadom na intenzívnu cirkuláciu roztoku.



Obr. 3.9. Schéma odparky s nútenou cirkuláciou a horizontálnym dvojchodovým vykurovacím systémom [9]:  
 1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup zahusteného roztoku, 3 – výstup štiavných pár,  
 4 – vstup pary, 5 – výstup kondenzátu, 6 – výstup vzduchu

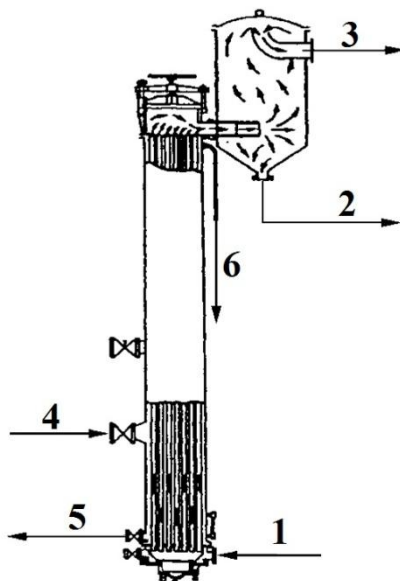


• **odparky s kvapalinovým filmom**

Pri odparkách s prirodzenou a nútenou cirkuláciou zotrúva kvapalina značnú dobu vo varnom priestore. V periodicky pracujúcich zariadeniach je to až niekoľko hodín, pri kontinuálnych asi hodinu, pretože objem kvapaliny predstavuje mnohonásobok objemového prietoku čerstvého roztoku. Táto skutočnosť je nepriaznivá pri roztokoch podliehajúcich teplotným vplyvom, napr. pri ovocných šťiavách, krvnej plazme, živočíšnych extraktoch, vitamínoch a pod. Pri týchto látkach sa styk s teplovýmennou plochou musí obmedziť na veľmi krátky čas, aby bolo vylúčené nebezpečenstvo ich znehodnotenia.

Krátky čas kontaktu sa dosahuje vytvorením tenkého kvapalinového filmu vo filmových odparkách. Na obrázku 3.10 je odparka so vzliňajúcim filmom Kestner. Tvorí ju dlhý zväzok rúrok, do spodnej časti ktorých sa privádza surový roztok. Zmes kvapaliny a pár je hnaná značnou rýchlosťou nahor, pretože na dlhých rúrkach dochádza k rýchlemu odpareniu a značnej tvorbe pár, ktoré strhávajú kvapalinu vo forme tenkého povlaku (filmu) pozdĺž stien rúrok. Kvapalina odchádza z oddeľovača, do ktorého s parami vstupuje tangenciálne.

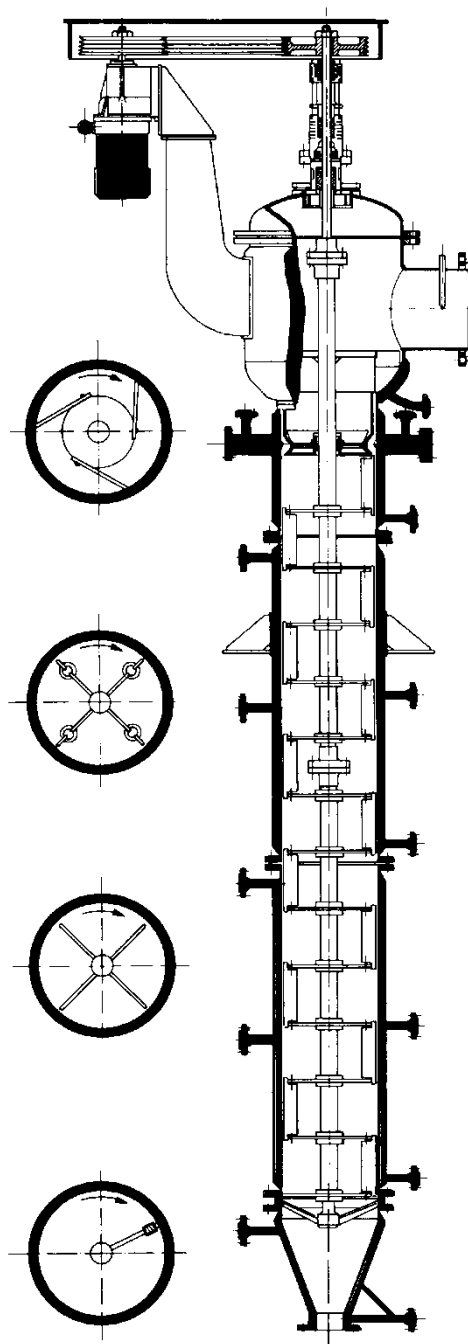
Tento typ odparky sa používa pre husté a penivé roztoky. Nie je vhodná pre inkrustujúce roztoky, pretože dlhé registre sa zle čistia. Výhodou odparky so vzliňajúcim filmom je skutočnosť, že v ňom nenastáva zvýšenie teploty varu, spôsobenej hydrostatickým tlakom kvapalinového stĺpca v odparke. Nie sú však vhodné pre odparovanie viskóznějších kvapalín.



Obr. 3.10. Schéma odparky so vzliňajúcim filmom Kestner [9]:

1 – vstup čerstvého roztoku, 2 – výstup zahusteného roztoku, 3 – výstup štiavných pár,  
4 – vstup pary, 5 – výstup kondenzátu, 6 – výstup vzduchu

Aby bolo možné použiť filmovú odparku aj pre viskóznější kvapaliny, boli skonštruované odparky so stieraným filmom. Kvapalinový film sa vytvára rotujúcimi lopatkami rôznej konštrukcie. Hrúbka kvapalinového filmu závisí od viskozity kvapaliny a pohybuje sa v rozsahu od 0,1 mm do 1 mm. Na obrázku 3.11 je odparka so stieraným filmom s rôznymi typmi stieračov.



Obr. 3.11. Schéma odparky so stieraným filmom [9]

ZOZNAM SYMBOLOV

$i_k$	– entalpia kondenzátu	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_p$	– entalpia pary	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_1$	– entalpia čerstvého roztoku	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_2$	– entalpia zahusteného roztoku	(J. kg <sup>-1</sup> )
$i_3$	– entalpia štiavných pár	(J. kg <sup>-1</sup> )
$\dot{m}_p$	– hmotnostný tok pary	(kg. s <sup>-1</sup> )

$\dot{m}_1$	– hmotnostný tok čerstvého roztoku	(kg. s <sup>-1</sup> )
$\dot{m}_2$	– hmotnostný tok zahusteného roztoku	(kg. s <sup>-1</sup> )
$\dot{m}_3$	– hmotnostný tok štiavných pár	(kg. s <sup>-1</sup> )
$\bar{x}_1$	– hmotnostný zlomok rozpustenej látky v čerstvom roztoku	(kg. kg <sup>-1</sup> )
$\bar{x}_2$	– hmotnostný zlomok rozpustenej látky v zahustenom roztoku	(kg. kg <sup>-1</sup> )
$\dot{Q}$	– tepelný tok	(W)
$\dot{Q}_s$	– tepelné straty zariadenia	(W)