



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

## PRŮMYSLOVÉ ODPARKY PROCESNÍCH VOD

INDUSTRIAL EVAPORATORS FOR PROCESS WATER TREATMENT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tereza Cacková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Mgr. Marek Vondra

BRNO 2017

## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Studentka:	Tereza Cacková
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Mgr. Marek Vondra
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Průmyslové odparky procesních vod

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Odpařování je dlouho známým a osvědčeným způsobem k zahušťování či odvodňování různých typů procesních a odpadních suspenzí (kapalina s rozptýlenými pevnými částicemi). Využívány jsou k přípravě konečných výrobků v potravinářství, farmacii či v chemickém průmyslu. Uplatnění naleznou i při úpravě mnohých odpadních vod, a to zejména tam, kde je požadavek na zpětné využití látek v odpadní vodě obsažených. Samotné odpařování probíhá zpravidla za sníženého tlaku, který zajišťuje var vody i při nižších teplotách (pod 100 °C). Bakalářská práce, která stručně a přehledně představí současnou situaci na trhu s odparkami pro průmyslové vody, bude jistě přínosem pro odbornou i laickou veřejnost, která se bude chtít v problematice rychle zorientovat.

Veškeré další informace a upřesnění údajů včetně grafických interpretací naleznete na webových stránkách <http://upi.fme.vutbr.cz/studium/temata-bakalarskych-praci-2016-2017> nebo přímo u garanta zadání.

Cíle bakalářské práce:

1. Teoretické představení průmyslových odparek, kategorizace, základní princip činnosti.
2. Rešerše výrobců průmyslových odparek, tvorba databáze komerčně nabízených výrobků.
3. Zhodnocení rešerše, představení typických provozních parametrů, porovnání odparek s jinými technologiemi pro zahušťování procesních vod.

Seznam doporučené literatury:

PERRY, R. H., GREEN, D. W. a MALONEY, J. O.. Perry's chemical engineers' handbook. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1997, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 0-07-049841-5.

MCCABE, W. L., SMITH, J. C. a HARRIOTT, P. Unit operations of chemical engineering. 5th ed. New York: McGraw-Hill. McGraw-Hill chemical engineering series, 1993. ISBN 978-0-07-044844-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma průmyslové odparky procesních vod vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechnu použitou literaturu a jiné podklady.

V Brně 21. 5. 2017

Podpis .....

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Ing. Mgr. Marku Vondrovi za odborné vedení mé práce, užitečné připomínky a cenné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na průmyslové odparky procesních vod. V rámci práce byly popsány základy odpařování a představeny různé typy průmyslových odparek. Stěžejní částí práce byla důkladná rešerše a tvorba databáze průmyslových odparek, která je zároveň sondou do současné situace na trhu s odparkami procesních a odpadních vod. Součástí práce je rovněž porovnání odpařování s jinými zahušťovacími technologiemi.

## **Klíčová slova**

Odparka, odpařování, zahušťování, procesní vody, odpadní vody, spotřeba energie

## **Abstract**

Bachelor thesis is focused on industrial process water evaporators. The basic principles of evaporation were described and various types of industrial water evaporators were introduced. The main part of the thesis was a thorough research and creation of a database of industrial water evaporators, which is also a probe into the current situation on the water evaporator and sewage sludge market. Part of the thesis is also comparing evaporators with other thickening technologies.

## **Key words**

Evaporator, evaporation, thickening, process water, waste water, power consumption

# Seznam

Úvod.....	9
1. Odpařování .....	11
2. Odparky .....	13
2. 1. Konstrukce odparek.....	14
2. 1. 1. Tělo odparky .....	14
2. 1. 2. Topná soustava .....	14
2. 1. 3. Separátor kapek.....	16
2. 2. Dělení odparek.....	17
2. 3. Cirkulační odparky .....	19
2. 3. 1. S přirozenou cirkulací.....	19
2. 3. 2. S nucenou cirkulací .....	21
2. 4. Filmové odparky .....	22
2. 4. 1. Stoupající film (rising film) .....	22
2. 4. 2. Padající film (Falling film evaporator).....	22
2. 4. 3. Deskové odparky .....	23
2. 5. Odparky s mechanickým prvkem .....	24
2. 6. Rotační odparky.....	24
2. 7. Vícestupňové odparky .....	25
2. 8. Vakuové odparky .....	26
2. 9. Odparky vytvářející mlhu .....	26
2. 9. 1. Tříštvivé odparky .....	27
2. 9. 2. Rozprašovací tryskové odparky .....	27
2. 9. 3. Rozprašovací rotační odparky.....	27
2. 10. Výběr odparky.....	28
3. Rešerše průmyslových odparek.....	29
3. 1. Databáze odparek.....	29
3. 2. Srovnání odparek podle měrné spotřeby energie.....	31
3. 2. 1. Srovnání podle množství kondenzátu .....	31
3. 2. 2. Srovnání podle zdroje tepla .....	33
3. 2. 3. Srovnání podle stupňů odparky.....	34

4. Porovnání odparek s dalšími technologiemi zahušťování procesních vod .....	35
4. 1. Hnací energie .....	35
4. 2. Požadavek na kvalitu vstupů .....	35
4. 3. Požadavek na kvalitu produktů .....	36
5. Závěr .....	37
Seznam použité literatury .....	38
Seznam obrázků .....	42
Seznam příloh .....	43



## Úvod

Odpařování rozpouštědla z řídkého roztoku, suspenze či emulze probíhá v zařízeních nazývaných odparky. Účelem odparek může být zahuštění roztoku, neboli zmenšení jeho množství. V některých procesech je důležitý výsledný koncentrát, který je možné v dalších zařízeních podle potřeby dále vysoušet či nechat zkrystalizovat. Jindy je naopak důležitější získání čistého rozpouštědla a zahuštěná část je pouze odpadem [44].

Odparky se uplatňují v potravinářství, při výrobě mléčných výrobků či džusů, v zemědělství, při výrobě hnojiv, v chemickém průmyslu nebo také ve farmacii [29]. Nalezneme je ve strojním průmyslu, např. u výroby emulzí, i ve zlatnickém průmyslu, jako součást výrobního procesu. Odpařováním je možné oddělit odpad od rozpouštědla, které je možné opětovně využít [10]. Odparek je též zapotřebí v podstatě v každém technologickém postupu, při němž se využívá koncentrát. Jejich význam je velký i pro ekonomiku, zejména při převozu, kdy je možné výrazně snížit objem a váhu nákladu. Odparky mají své místo i v ekologii. Pomáhají při likvidaci kontaminovaných vod.

V medicíně jsou odparky nepostradatelné k detekci a analýze léčiv, jako jsou například antiepileptika, v tělních tekutinách. Léčiva jsou zde obsažena ve velmi malých koncentracích a jsou ovlivněna organickými sloučeninami, při přípravě vzorků se používají organická rozpouštědla, která je třeba následně odpařit [34].

Díky širokému a častému použití odparek v průmyslu nalezneme na dnešním trhu mnoho různých typů odparek. Třídít odparky můžeme podle mnoha kritérií, jako je pracovní tlak, pohyb kapaliny v těle odparky, počet stupňů či způsob vytápění. Velikosti odpařovacích zařízení se pohybují od laboratorních stolních zařízení s kapacitou pod půl litru řídkého roztoku až po odparky dosahující desítek metrů, ve kterých je možné najednou odpařovat desítky až stovky hektolitrů procesních či odpadních vod (viz obr 1) [36].



obr 1: Příklad dvoustupňové vakuové odparky od společnosti FORMECO [9]

Výrobou odparek se zabývá mnoho firem a je proto možné nalézt zařízení optimální pro konkrétní použití. Na webových stránkách samotných výrobců jsou texty vysvětlující princip odparek a není výjimkou, že jsou zde vystaveny i názorné obrázky a videa. Avšak každý výrobce poskytuje jiné údaje o nabízených odparekách a jednotky se také liší. Při hledání neoptimálnějšího řešení není srovnání jednotlivých odparek snadné. Nejsledovanějším parametrem odparek je celková měrná spotřeba energie, ze které lze vysledovat, jak vysoké budou provozní náklady. Obecně platí, že větší odpařované objemy pracují s menším měrným teplem. Pro úsporu je možné využít též kompresi brýdové páry, tepelné čerpadlo či zapojení více odparek do řetězce. Ve všech možnostech spoření energie se pracuje s teplem, které bylo na začátku přivedeno do roztoku [36].

Mimo odparek je možno použít pro zahuštění procesních vod i jiné technologie. Každá vyžaduje jiné parametry vstupní směsi, odebírá jiné množství energie a disponuje jinou čistotou výstupní směsi. Ve výrobním procesu je často výhodné, aby na sebe jednotlivé zahušťovací metody navazovaly, čímž lze docílit ekonomičtějšího celku [43].

# 1. Odpařování

Odpařování je fyzikální proces, při kterém se uvolňuje nasycená pára nejen z povrchu, ale též z celého objemu kapaliny [50]. Jevu se dosáhne správnou kombinací teploty a tlaku odpařované látky. Tuto kombinaci je v některých případech možné dohledat v tabulkách či diagramech pro daný roztok suspenzi či emulzi. Pro některé látky nejsou přesné hodnoty specifikovány a pro určení přesné kombinace je třeba provést experiment.

Princip odpařování se opírá o zákon zachování energie. Do systému je dodávána energie v podobě tepla, která se v roztoku mění na kinetickou energii. Molekuly se v roztoku pohybují stále rychleji, až překročí určitou hranici, a přejdou do plynné fáze. Toto množství energie nazýváme kritická energie *Ekrit*. Jinak řečeno, *Ekrit* je energie dostatečná pro překonání veškerých přitažlivých sil, kterými jsou molekuly propojeny [42].

Odpařováním se roztok ochlazuje, neboť molekuly unikající do prostoru s sebou odnášejí velké množství dodané energie. Tuto energii nazýváme výparné teplo. Opačným postupem může být energie do kapaliny zase dodávána. Nasycené páry roztoku předávají své výparné teplo chladnější látce, nemají dále potřebnou energii v setrvání v plynném skupenství a kondenzují. Abychom zjistili, zdali bude daná látka kapalná či bude přecházet do nasycených par, je nutné znát aktuální hodnoty tlaku a teploty [30]. Přesný vztah závislosti tlaku nasycených par na teplotě varu jednosložkové látky popisuje Antoineova rovnice [22].

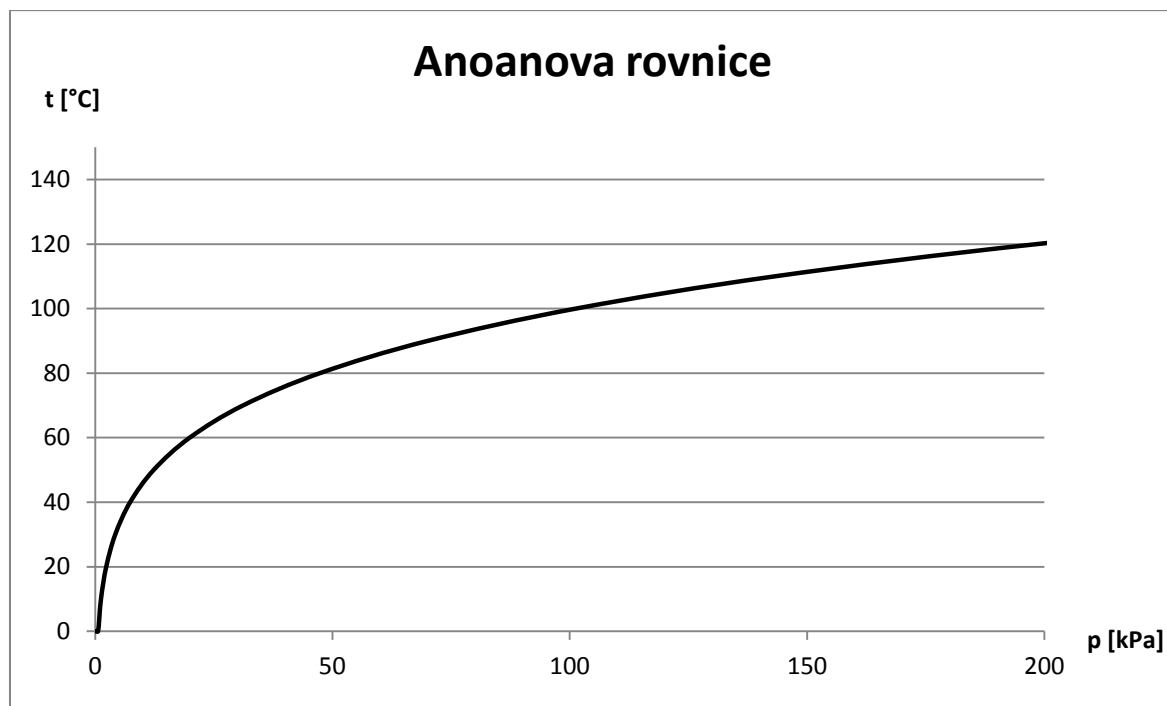
$$\log p = A - \frac{B}{C+t} \quad (1)$$

Kde A, B, C jsou experimentálně naměřené konstanty specifické pro každou látku,

p je tlak udávaný v MPa,

t je teplota ve °C.

Pro vodu a použité jednotky (MPa, °C) jsou konstanty určeny na A = 16,2886; B = 3816,44; C = 227,02 [48]. Graf 1 znázorňuje závislost tlaku nasycených par na teplotě varu vody.



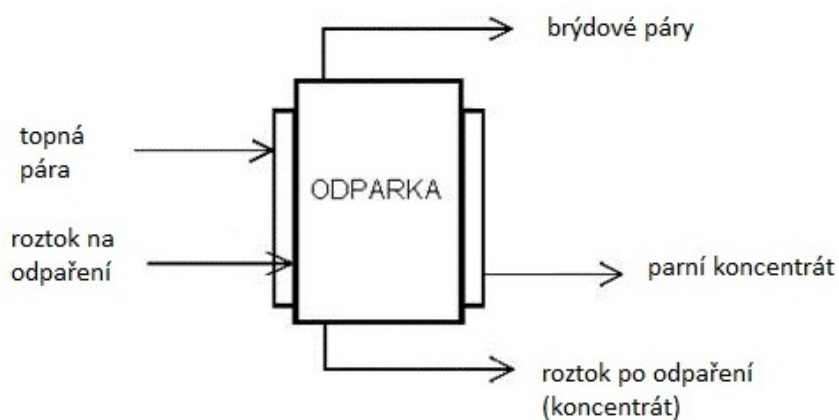
graf 1: závislost teploty varu na tlaku syté páry pro vodu

Molekuly z povrchu roztoku odcházejí neustále. Pouze v případě, kdy je v okolí dostatečná teplota a příhodný tlak, přechází roztok do varu a dojde k odpařování z celého objemu. V odparekách se uplatňují obě možnosti. U odparek cirkulačních se zabýváme odpařováním rozpouštědla z celého objemu, neboť se roztok v odparce zdržuje ve větším množství, na druhou stranu u odparek s filmem opouští většina molekul roztok z povrchu. U filmových odparek je pomocí speciálních metod roztok rozložen jako povlak přes teplosměnnou plochu a zdatelně se sníží poměr objemu ku povrchu roztoku [36].

## 2. Odparky

Odparky jsou zařízení, do kterých přivádíme roztok, abychom z něj odpařili jistou část rozpouštědla. Roztokem rozumíme homogenní směs dvou a více složek, u které nenalezneme přesné rozhraní mezi jednotlivými složkami. Roztok můžeme pozorovat v kapalně i tuhé fázi. Složka, která je více zastoupená v roztoku, je obvykle rozpouštědlo, ve kterém se ostatní složky směsi rozpustí a zajistí tak homogenitu. Jedním z nejčastějších rozpouštědel je voda, ale setkáme se, například ve farmacii, i organickými rozpouštědly [34]. Jako příklad roztoku můžeme uvést vodu se solí či cukrem. Odparku můžeme ovšem plnit též heterogenními směsmi, jako je emulze, tedy směs dvou nemísitelných kapalin s různou hustotou. Příkladem emulze je ropa s vodou či mléko. Ojediněle není ani odpařování suspenzí, tedy heterogenních směsí kapalně a pevné fáze [27], [4]. V dalším textu budeme pracovat s termínem roztok.

Základní schéma odparky zobrazuje *obrázek 2*. Do odparky přivádíme řídký roztok k odpaření. Podle typu odparky je řídký roztok různým způsobem zahušťován, dokud nedostaneme roztok s požadovanou koncentrací, nebo též koncentrát. Při zahušťování řídkého roztoku vznikají brýdové páry. Tyto páry jsou nejprve zbaveny kapiček roztoku, které s sebou nesou, a následně kondenzují zpět do kapalného skupenství v podobě kondenzátu brýdových par [28], [44].



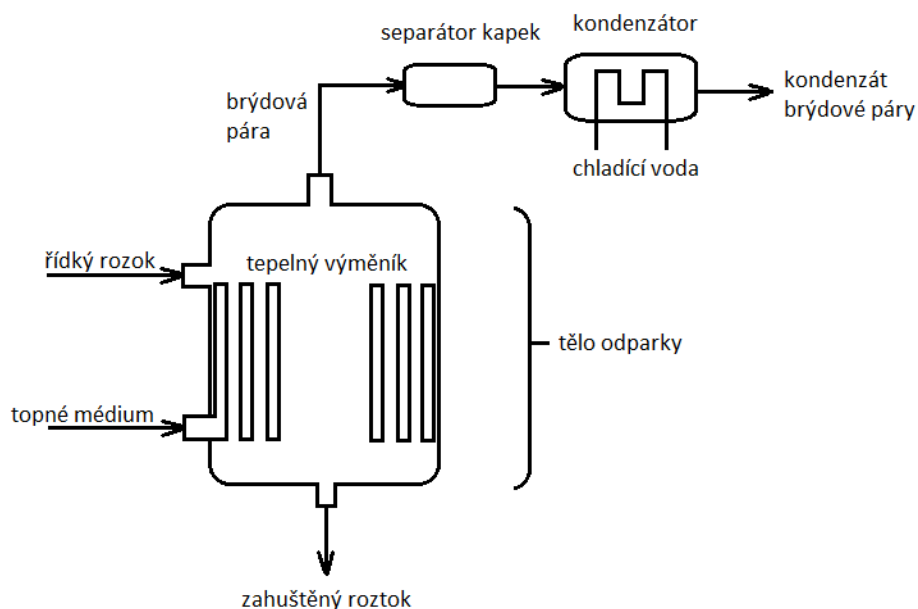
obr 2: schematické znázornění vstupů a výstupů odpařovacího procesu [7]

## 2. 1. Konstrukce odparek

Byť se konstrukce různých typů odparek liší a stále jsou zkoumána a vyvíjena nová vylepšení, v každé odparce nalezneme s různými obměnami tyto části (viz obr 3):

- tělo odparky (prostor, kde probíhá samotné odpařování),
- topnou soustavu (systém, který přivádí teplo do těla odparky),
- separátory kapek z brýdových par,
- přívodní a odvodní potrubí roztoků i par a systém řízení.

K některým zařízením potom připojujeme ještě čerpadla či rotory (míchadla či škrabky), které zajišťují pohyb roztoku, kompresory, vakuotvorná zařízení a měřicí přístroje monitorující hladinu roztoku, teplotu, pěnovitost a tlak. Řídicí systém odparek má více variant. Jednou z možností je manuální ovládání přímo na stroji, v jiných případech je systém částečně nebo plně automatizován [28], [1].



obr 3: schéma jednočlenné odparky s interní topnou soustavou

### 2. 1. 1. Tělo odparky

Tělo odparky je prostor, ve kterém probíhá samotné odpařování. Jeho tvar je obvykle válcový, ale například u laboratorního skleněného vybavení nalezneme i kulaté baňky. Do těla odparky ústí přívod řídkého roztoku a odvádí se zahuštěný roztok a brýdové páry. Je zde většinou umístěna topná soustava [28].

### 2. 1. 2. Topná soustava

Topná soustava přivádí do odparky teplo potřebné na fázovou přeměnu části roztoku. Může být řešena více způsoby. Rozlišujeme odparky s kontaktní a povrchovou topnou soustavou. V případě *kontaktního* způsobu provedení topné soustavy je topné médium přímo vháněno do zahušťované látky. Je tedy použitelné pouze pro roztoky, které nemohou být topným médiem kontaminovány. V případě *povrchového* řešení topné médium protéká trubkami (viz obr 4), deskami (viz obr 5) či pláštěm, ohřívá jejich stěny a na druhé straně předává teplo do roztoku [36]. Musíme se tedy zabývat dvěma přestupy tepla- z topného

média na stěnu topné soustavy a ze stěny k zahušťovanému roztoku. Jelikož má roztok při přebírání tepla tendenci ulpívat na povrchu topné soustavy, je při konstrukci důležité myslet i na čištění. Čištění by nemělo negativně ovlivňovat cirkulaci roztoku a mělo by zachovat co největší teplosměnný povrch [44]. Jako topné médium může být použita *pára*, ať už se jedná o brýdovou páru z předešlého stupně nebo o páru dodanou z externího rozvodu, *spaliny* či *elektřina*. Je také možné vytápět horkou kapalinou, nejčastěji vodou, čehož se využívá zvláště u odparek s topným pláštěm [49].

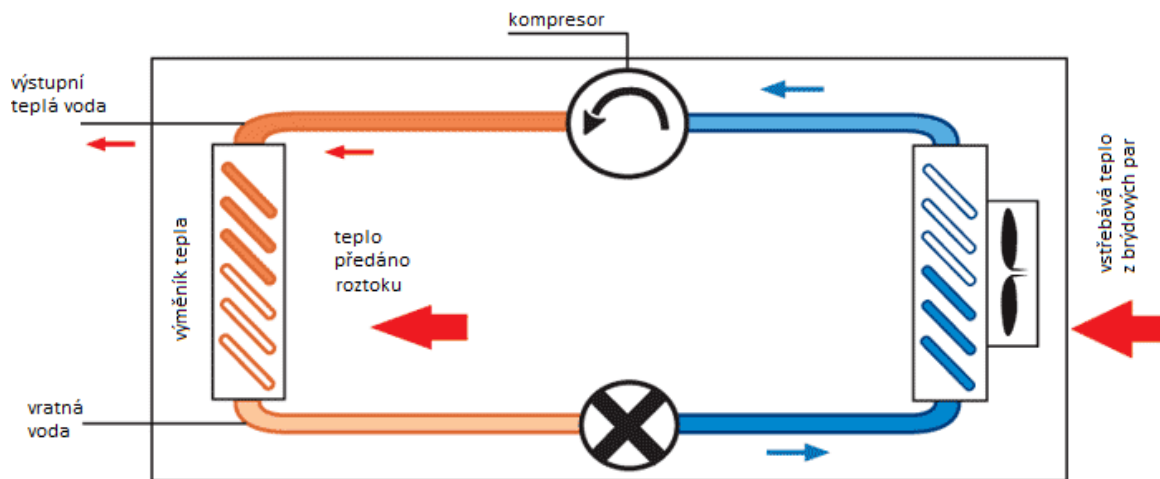


obr 4: trubkový tepelný výměník [13]



obr 5: deskový tepelný výměník [2]

V mnoha odparkách se kvůli úspoře energie využívá kondenzační teplo brýdové páry z prvního stupně. V praxi narazíme na kompresi brýdových par, tepelné čerpadlo či zapojování odparek do více stupňů [40]. V případě využití tepelného čerpadla, koluje v tepelném čerpadle látka s nízkým bodem varu, která prochází okolo brýdových par a odebírá z nich teplo. Ohřátá látka v tepelném čerpadle se odpařuje a pokračuje ke kompresoru. V kompresoru je stlačena tak, aby nepřešla do kapalně fáze, ale přitom je stlačena dostatečně na to, aby se zvedla její teplota a mohla přes tepelný výměník ohřívát roztok v odparce. Po předání tepla látka kondenzuje a přes expanzní ventil se vrací k brýdovým parám [35]. Celý cyklus dokumentuje *obrázek 6*.



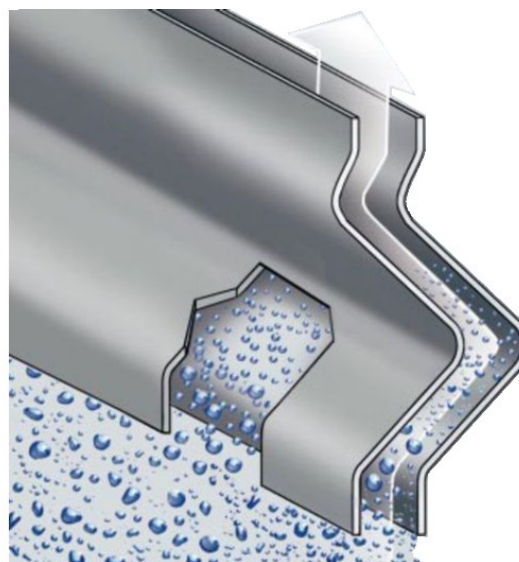
obr 6: schéma tepelného čerpadla [39]

Druhá možnost, při níž se vynechá celá jednotka tepelného čerpadla a brýdové páry se použijí přímo, pracuje s mechanickou kompresí páry čili Mechanical Vapor Compression (MVC). Brýdová pára se nasává kompresorem a mechanicky se stlačuje, čímž se zvyšuje její teplota. Stlačená brýdová pára se následně pouští do tepelného výměníku, kde ohřívá roztok v odparce. Topná pára je tedy zapotřebí pouze na začátku procesu [17]. Variací na tento způsob vytápění může být termokomprese, jinak Thermal Vapor Compression (TVC). Část brýdových pár je přisávána a stlačována topnou parou v ejektoru. Páry se mísí, vyhřívají vnitřní část odparky a následně společně kondenzují. Ušetří se tedy na topné páře [11]. Nevýhodou tohoto způsobu vytápění je, že kondenzát topné páry naředí kondenzát z brýdových par [16], [42], [20], [23].

### 2. 1. 3. Separátor kapek

Běžně používané názvy jsou též odlučovač kapek či demister [3]. Tuto část odpařovacího zařízení nalezneme před vývěvou, v odpařovací komoře, případně u vícestupňových odparek mezi jednotlivými stupni.

Při varu roztoku nese odcházející brýdová pára s sebou i malé kapičky, kterých je třeba se zbavit. Toho se dosáhne zařazením separátoru kapek [41]. Základní princip separátorů kapek je postaven na větší setrvačnosti kapaliny, která nemůže s párou dostatečně rychle měnit směr a naráží do připravených překážek, odkud je většinou působením gravitační síly odváděna. Základní druhy separátorů jsou lamelové separátory, separátory s věnci skloněných lopatek a vložkové separátory.



obr 7: lamelový separátor kapek [32]



*Lamelový separátor* je možné orientovat horizontálně (viz obr 7) i vodorovně. Pára s kapkami vstupuje na jednom konci a její směr je třikrát změněn, nejprve o 45° dále o 90° a zase zpátky o 45° čímž se dostává zase do stejného směru a pokračuje zbavená kapek. Kapky jsou setrvačností vrhány proti stěnám a šikmými kanálky stékají zpět [32].



*Vložkové separátory* (viz obr 8) mají přes celý průřez proudící páry vložkou, která je vyrobena z textilních vláken či z drátků. Páry procházejí, zatímco kapky ulpívají na vložce a dále nepokračují [3].

obr 8: vložkový separátor kapek [3]

*Separátory s věnci skloněných lopatek* využívají kromě gravitačního zrychlení také zrychlení odstředivé. Lopatky jsou uloženy ve věnci okolo rotující hřídele. Páry s kapkami jsou roztočeny tangenciálním vhněním do separátoru i rotujícími lopatkami. Kapky narážejí do lopatek a stěn odkud jsou odváděny, zatímco pára prostupuje na druhou stranu separátoru [42].

## 2. 2. Dělení odparek

Odparky můžeme slučovat do skupin podle mnoha různých kritérií. Odparky z hlediska provozu dělíme na:

- odparky pracující kontinuálně,
- odparky s vsádkovým provozem.

Rozdíl mezi jednotlivými druhy odparek je patrný již podle názvu. Do odparek s vsádkovým provozem se napustí určité množství roztoku a po odpaření těkavější složky se vypustí koncentrát s požadovanou koncentrací. Odparka může být znovu naplněna a proces se opakuje. Do odparek pracujících kontinuálně se trvale přilévá řídký roztok a simultánně vypouští koncentrát, odparka se nezastavuje a pracuje nepřetržitě [1].

Podle pohybu roztoku dělíme odparky:

- s přirozenou cirkulací,
- s nucenou cirkulací,
- filmové s padajícím filmem,
- filmové se stoupajícím filmem,
- odparky rotační,
- odparky s mechanickým prvkem.

Odparky s přirozenou cirkulací jsou konstrukčně jednoduché, jejich předností je jistě skutečnost, že ke svému chodu nepotřebují spotřebovávat další energii na pohánění roztoku.

Tento fakt na druhé straně způsobuje, že se odparky s přirozenou cirkulací neuplatní u roztoků, u kterých je třeba dosáhnout vysoké koncentrace. Odparky s nucenou cirkulací pohání roztok v těle odparky čerpadly či míchadly. U filmových odparek s padajícím i stoupajícím filmem teče roztok po topném tělese v tenkém filmu. Filmu se dosahuje speciálním přívodem roztoku na stěny topné soustavy. Vytvoření filmu v odparkách s mechanickým prvkem je obstaráno rotorem s klapkami. Rotor je umístěn uvnitř těla odparky a trvale roztírá roztok po vyhřívaných stěnách odparky [44].

Dalším sledovaným kritériem může být pracovní tlak. Odparky dělíme na:

- podtlakové,
- atmosférické,
- přetlakové.

Změnou pracovního tlaku docílíme změny bodu varu, což je zapotřebí u roztoků, které ztrácejí svou kvalitu při pobytu ve vyšších teplotách. Příkladem může být výroba ovocných šťáv [17] či mléčných výrobků. Efektu se dále využívá ve vícestupňových odparkách, kde má brýdová pára jednoho stupně za úkol přivést k varu roztok ve druhém stupni. Aby zůstal zachován potřebný rozdíl teplot, je třeba ve druhém stupni snížit tlak a tím i teplotu varu. Tlaky mohou začínat na přetlaku, atmosférickém tlaku i podtlaku a následně klesat. Přetlakové odparky nejsou mnoho používány pro vysoké pracovní teploty, i když jejich výhodou může být absence vývěvy [36].

Podle toho, jsou-li odparky vystavěny na jednom místě, či mohou být převáženy, rozlišujeme odparky:

- mobilní a
- fixní [8].

Kritériem dělení odparek, důležitým zejména pro ekonomii, je dělení podle druhu vytápění:

- odparky s kompresí páry,
- odparky s tepelným čerpadlem,
- odparky s externím zdrojem tepla (horká voda, pára) a
- vícestupňové odparky [8].

Odparky je možné sdružovat a vytvářet tak odparky:

- dvoustupňové,
- třístupňové,
- čtyřstupňové,
- vícestupňové.

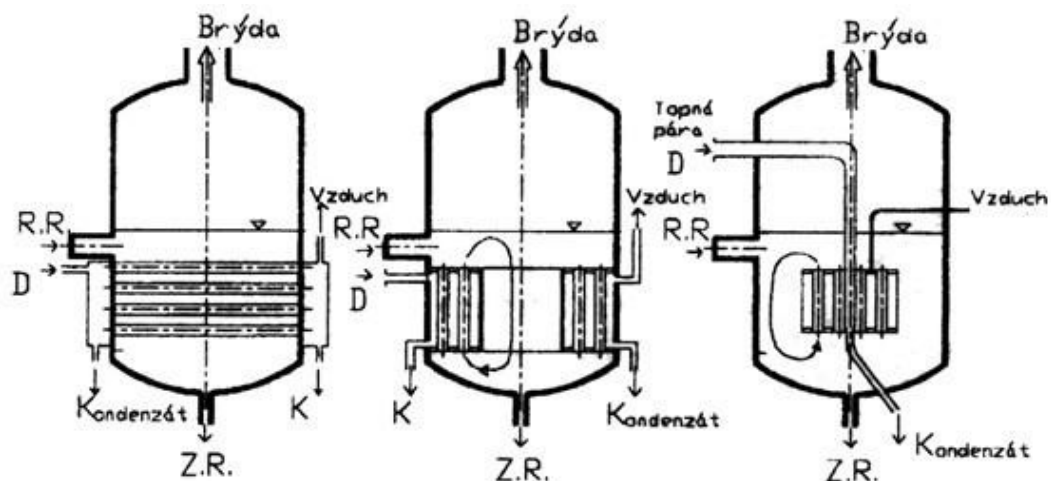
## 2. 3. Cirkulační odparky

Cirkulační odparky jsou nejstarším a nejjednodušším typem odparek [44]. Svůj název získaly podle principu, na kterém pracují. Uvnitř těl cirkulačních odparek se zdržuje větší množství roztoku, který se zde pohybuje vlivem tíhové síly, setrvačné síly, teploty, odcházejících brýdových par a, v případě odparky s nucenou cirkulací, též vlivem čerpadla či míchadla. Cirkulační odparky dělíme právě podle toho, jestli je přirozené cirkulaci pomáháno cizím zařízením či nikoli [15].

### 2. 3. 1. S přirozenou cirkulací

V případě cirkulační odparky s přirozenou cirkulací se jedná o nádobu, ve které se udržuje určitá hladina zahušťovaného roztoku. Topné těleso může být umístěno uvnitř těla odparky i mimo něj [1]. Do odparky se nalije roztok do požadované výšky a kontinuálně se přilévá, aby se vykompenzoval pokles hladiny způsobený výparem brýdové páry a aby tak bylo optimálně využito topné těleso. Roztok vaří a houstne. Jedná-li se o vsádkový provoz, zůstává zahušťovaný roztok stále v odparce a vypouští se, až celý objem dosáhne požadované koncentrace, jedná-li se o kontinuální typ odparky je zahuštěný roztok odčerpáván dnem odparky paralelně s přiléváním řídkým roztokem. Přívod řídkého roztoku nad topným tělesem napomáhá přirozené cirkulaci roztoku. Cirkulace je zajištěna přirozeně, bez čerpadel či míchacích zařízení. Brýdové páry jsou po průchodu oddělovačem kapek odváděny stropem odparky [36].

Hlavní rozdíly mezi jednotlivými typy odparek s přirozenou cirkulací nalezneme u topné soustavy. Topné těleso může být umístěno vodorovně, svisle, nebo šikmo, uvnitř odparky i externě [28].



obr 9: cirkulační odparka a) s vodorovnou topnou soustavou b) Robertova c) košíková [47]

## Odparky s vodorovnou topnou soustavou

Schéma odparky s vodorovnou topnou soustavou ukazuje *obrázek 9 a*). Odparka disponuje větším prostorem a je proto vhodná pro roztoky s vyšší pěnivostí. Nevýhodou konstrukce je špatná čistitelnost topného svazku a menší cirkulace roztoku uvnitř odparky [41], [44].

## Robertova odparka

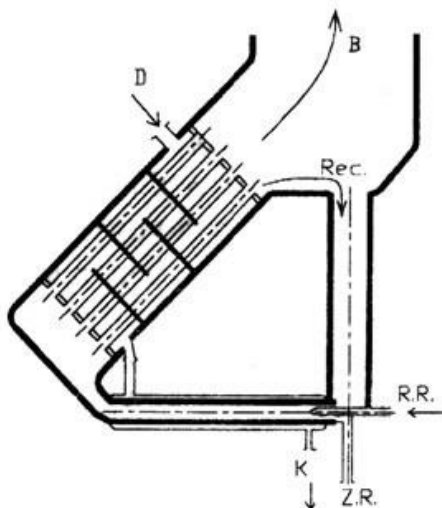
Topná tělesa jsou umístěna svisle po obvodu odparky a uprostřed vzniká větší prostor (viz *obr 9 b*). Toto uspořádání dovoluje roztoku lépe cirkulovat, což je podpořeno také přívodem řídkého roztoku. Čištění je zde snazší než u odparky s vodorovnou topnou soustavou, neboť jsou trubky kratší [36].

## Košíková odparka

U tohoto typu odparky visí topné těleso uprostřed těla odparky a je samostatným členem. Trubky jsou orientovány svisle a stejně jako v předchozím případě vytváří ve středu volnější místo (viz *obr 9 c*). Rozdílem ovšem je, že mezi topným tělesem a pláštěm odparky vzniká další volný prstenec, díky čemu roztok cirkuluje lépe [36], [41].

## Odparky s šikmou topnou soustavou

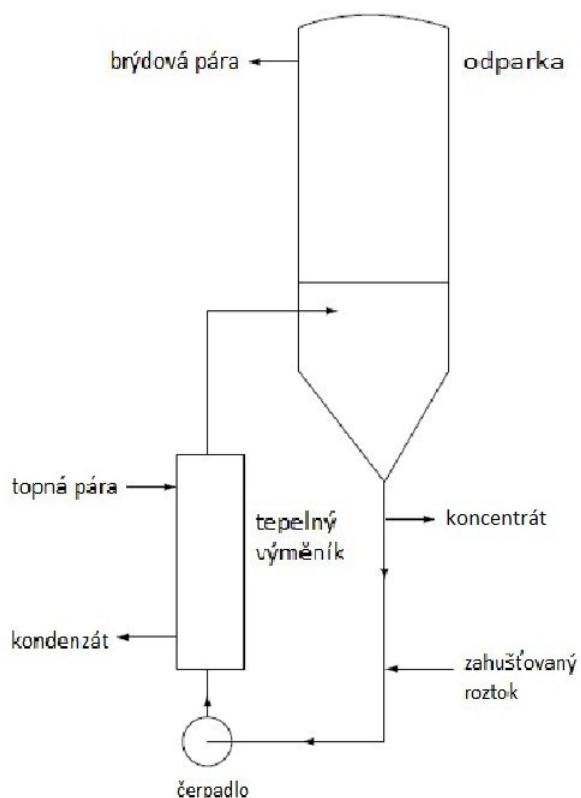
Topná soustava u odparek s šikmou topnou soustavou je, jak již napovídá název, nakloněná a může být uložena mimo tělo odparky, jak vidíme na *obrázku 10*. Docílí se většího povrchu, aniž by se výrazněji projevil vliv hydrostatického tlaku zvyšujícího bod varu. Pozitivem shledáme též snadnější čištění [28].



obr 10: cirkulační odparka se šikmou topnou soustavou [47]

### 2. 3. 2. S nucenou cirkulací

Pro roztoky s vyšší viskozitou jsou odparky s přirozenou cirkulací nevhodné. Nemohou zajistit dostatečný pohyb roztoku, aby nedocházelo k napékání na stěny trubek či ke zbytečnému snižování součinitele prostupu tepla. V případech, kdy je roztok příliš viskózní pro odparky s přirozenou cirkulací, je nutné připojit čerpadlo či míchadlo. Toto přídavné zařízení se projevuje jako spotřebič energie a zvyšuje náklady na provoz [36]. Konstrukce odparek s nucenou cirkulací se neliší od konstrukce odparek s přirozenou cirkulací, do vhodného místa se navíc umístí čerpadlo či míchací zařízení [44], jak můžeme vidět na *obrázku 11*.



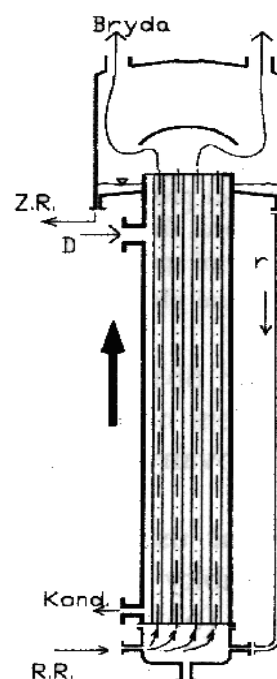
obr 11: cirkulační odparka s nucenou cirkulací roztoku [6]

## 2. 4. Filmové odparky

Filmové odparky se odlišují od cirkulačních odparek způsobem pohybu kapaliny v těle odparky. Zatímco v cirkulačních odparkách se zahušťovaný roztok udržuje ve velkých objemech, ve filmových pracujeme pouze s vrstvou roztoku hnanou vzhůru či dolů. Tloušťka filmu se pohybuje od 0,1 do 1 mm v závislosti na viskozitě roztoku [1]. Aby páry proudící okolo filmu dokázaly unášet roztok, musí mít určitou minimální rychlost, při atmosférickém tlaku mluvíme o rychlostech 20 m/s , při vyšším tlaku až 100 m/s [44]. Konstrukce se také odlišuje od cirkulačních odparek. Trubky topné soustavy jsou mnohem delší (kolem 14 m), neboť se není třeba obávat vlivu hydrostatického tlaku, mohou ovšem nastat problémy při montáži či čištění [44], [1].

### 2. 4. 1. Stoupající film (rising film)

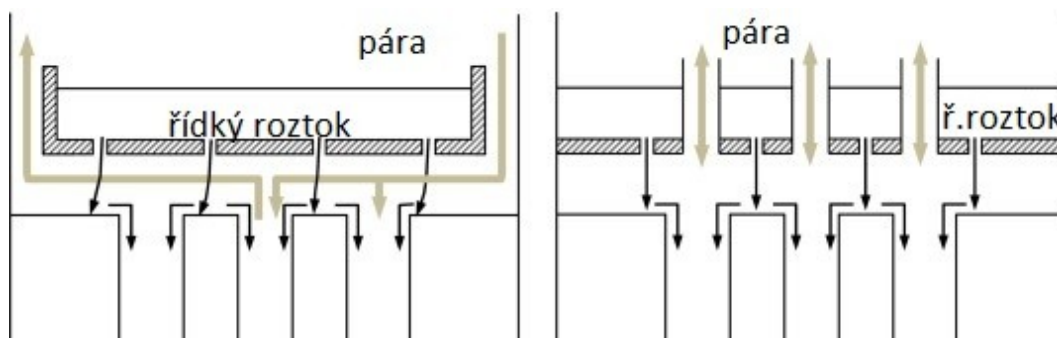
Ve spodní části těla odparky se do vnitřní trubky dodává řídký roztok, dokud nedosáhne výšky  $\frac{1}{4}$  trubek. Do vnějšího pláště je hnána pára. Díky ní začne roztok vřít a v tenkém filmu stoupá s brýdovými parami vzhůru podél stěn. Docílí se velkého zahuštění již při prvním prostupu, přičemž se zde roztok nezdrží více než 10 s. Odpařování je rychlé díky vysokému součiniteli prostupu tepla a vysokému rozdílu teplot (i větším než 14 °C). Tento potřebný teplotní rozdíl na druhé straně může znesnadňovat konstrukci více stupňů [44]. Příklad konstrukce odparky se stoupajícím filmem můžeme vidět na *obrázku 12*.



obr 12: filmová odparka se stoupajícím filmem [7]

### 2. 4. 2. Padající film (Falling film evaporator)

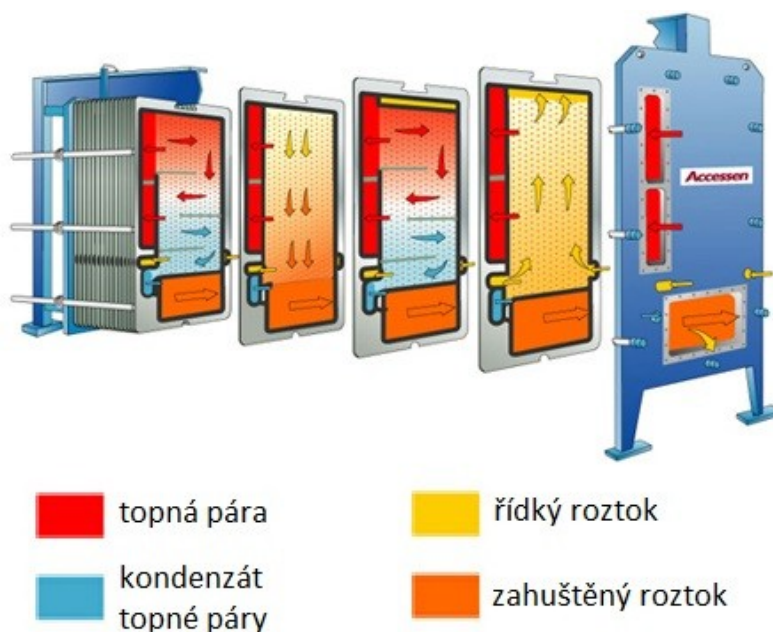
Odparky s padajícím filmem přišly na trh až po odparkách s rostoucím filmem. Přikláníme se k nim tehdy, potřebujeme-li zahustit roztok s vyšší viskozitou. Můžeme pracovat s nižšími tlaky a výhodou je i funkčnost za nižšího rozdílu teplot (kolem 2°C) [44]. Konstrukce je tvořena svislým svazkem trubek, umístěném v těle odparky. Nad trubky je přiváděn řídký roztok, který vtéká do trubek a vytváří na stěnách rovnoměrný film. Aby se trubky roztokem pouze potáhly a nezalily, je třeba použít speciální podavač. Roztok je přiváděn do nádržky s děrovaným dnem umístěným nad topnou soustavou. Dírky v nádržce jsou malé a umístěné tak, aby protékající roztok dopadal mimo trubky topné soustavy. Roztok následně doteče na kraj trubky, přepadává přes okraj a stéká v podobě filmu. Schéma popsaného postupu ukazuje *obrázek 13*. Tento způsob podávání roztoku do odparky ovšem přináší jistá úskalí. Je třeba věnovat pozornost usazeninám a jiným nehomogenitám v roztoku, rychlosti dávkování, průtoku a ucpávání děr a trubek. Dalším druhem podavačů mohou být trysky, díky kterým se ovšem zmíněné problémy nevyřeší [17], [29], [54], [23].



obr 13: schéma přívodu řídkého roztoku do topného systému filmové odparky [31]

### 2. 4. 3. Deskové odparky

Deskové odparky dostaly své jméno podle realizace topné soustavy. Topná tělesa jsou provedená v podobě řady svislých dutých desek. Uvnitř koluje topné médium, přičemž roztok v podobě filmu teče vně (viz obr 14). Byť je obvyklejší typ deskové odparky s padajícím filmem, můžeme narazit i na odparky se stoupajícím filmem, případně mohou být desky uloženy střídavě shora a zespoda a pára s filmem pak putuje střídavě nahoru a dolů [38]. Roztok je třeba rovnoměrně rozmístit na desky, k čemuž se využívají nástřikové otvory. Celý proces probíhá rychle, a aby bylo dosaženo dostatečného zahuštění, je roztok předeheříván, čerpán do odparky pod tlakem či škrcen. Díky tomu dojde k expanzi roztoku a tudíž tvorbě směsi páry s kapalinou. U odparek s padajícím filmem je roztok přiváděn nad desky, stéká a ve spodní části je sbírán do odvodového kanálu spolu s brýdovými parami. Deskové odparky s sebou nesou mnoho výhod, jako je usnadněná čistitelnost, zvětšení topné plochy či snížené náklady na výrobu. Uplatňují se zejména v potravinářství [21], [44].



obr 14: schéma deskové odparky [37]

## 2. 5. Odparky s mechanickým prvkem

U filmových odparek ať už s padajícím či stoupajícím filmem musíme vždy řešit rovnoměrné a stálé potažení topné soustavy roztokem, čehož je obtížné dosáhnout, zejména je-li roztok již poměrně zahuštěn. Tento problém efektivně řeší rotorová odparka (viz *obr 15*), když přidává do konstrukce rotor s lopatkami roztírajícími roztok rovnoměrně po celé ploše tepelného výměníku [44], [53].

Rotorové odparky pracují efektivně jen za vysokého rozdílu teplot, což znemožňuje zapojení více stupňů. Neekonomičnost rotorové odparky může být vyřešena zapojením více stupňů odparek s padajícím filmem, přičemž za poslední člen se umístí odparka rotorová. Roztok se předhustí ve vícestupňové odparce a pak je teprve hnán do odparky rotorové na finální proces. Topné médium je zavedeno do rotorové odparky, neboť vyžaduje nejvyšší teploty. Brýdové páry, které vzniknou v rotorové odparce, jsou následně využity k výhřevu vícestupňové odparky [12].



obr 15: odparka s mechanickým prvkem [53]

## 2. 6. Rotační odparky

Tělo odparky tvoří rotující válec (viz *obr 16*), jehož vnitřní strana se stupňovitě zužuje do tvaru kužele. Řídký roztok je přiváděn do špičky vnitřního kužele, odkud se díky rotaci rovnoměrně rozmístí po celé ploše v podobě tenkého filmu (až 0,1 mm). Roztok prochází odparkou velice rychle, setrvává zde přibližně 1 vteřinu. Vytápění je umístěno v plášti a je zajišťováno párou. Pára předává teplo a kondenzuje na stěně společně s roztokem. Stejným principem jako je roztok uvnitř tlačěn ke stěnám, je od nich kapalina, zkondenzovaná z topné páry, odmršťována. Tímto je zajištěno rychlé odvedení kapaliny ze stěn. Vysoká rychlost rotace vytváří sílu až 200G, čímž zajišťuje pohyb kapalin [52].



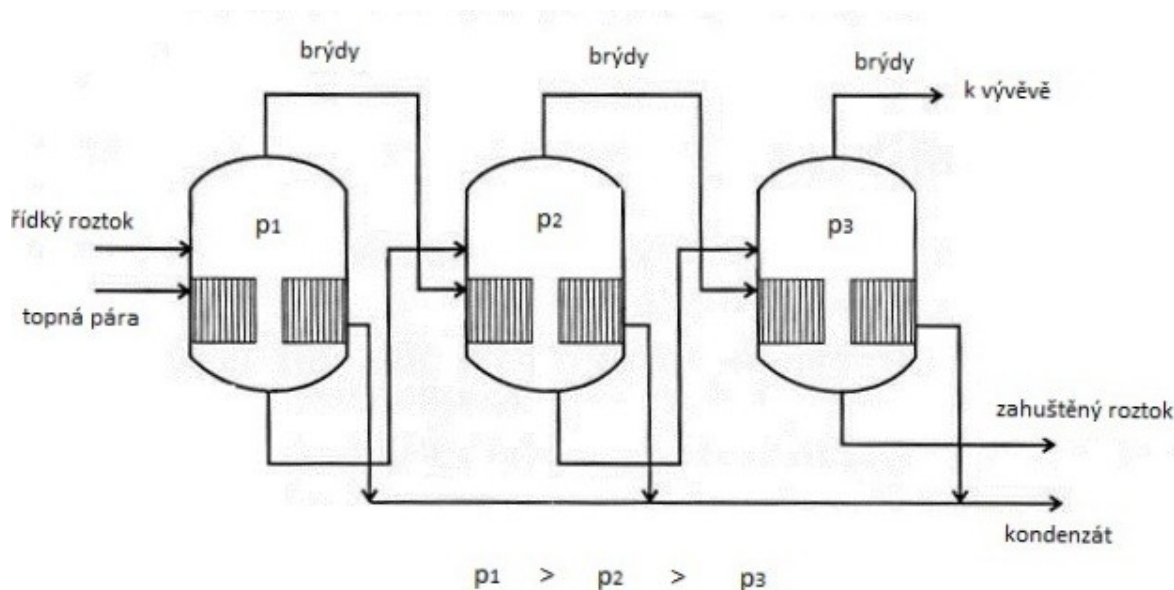
obr 16: Vakuová jednostupňová rotační odparka [52]



## 2. 7. Vícestupňové odparky

Vícestupňové odparky jsou používány ke zvýšení ekonomičnosti odpařovací technologie. Při propojení více odparek za sebou můžeme přiváděné teplo využít ve všech stupních a tak ušetřit za vyhřívání každé odparky zvlášť. Vícestupňové odparky dělíme na souproudé a protiproudé [45], [36], [23].

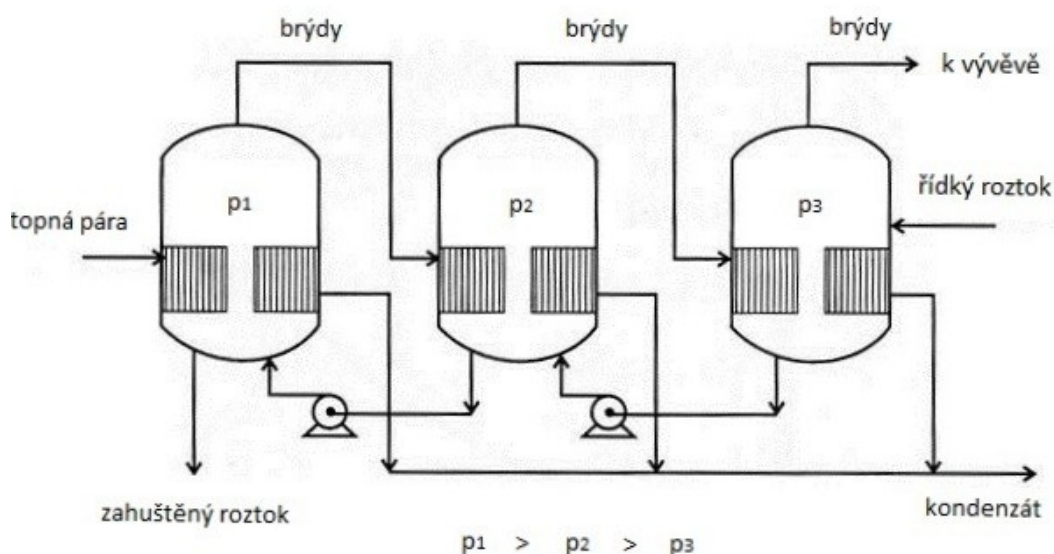
Ve vícestupňových souproudých odparkách (viz obr 17) vstupuje topné médium do prvního stupně odparky a předává své teplo řídkému roztoku. Roztok se odpařuje a vypouští brýdové páry. Řídký roztok se v prvním stupni odparky pouze předhustí a nedosahuje výsledné požadované koncentrace. Předhuštěný roztok pokračuje do druhého stupně odparky, kde je dále zahušťován. Brýdové páry z prvního stupně jsou vedeny přes odlučovač kapek do druhého stupně paralelně se zahušťovaným roztokem. Ve druhém stupni jsou brýdové páry z prvního stupně použity jako zdroj tepla místo topného média. Brýdové páry, které vzniknou ve druhém stupni odpařováním zahušťovaného roztoku, jsou vedeny přes odlučovač kapek do třetího stupně a stejný postup se opakuje obdobně až k poslednímu stupni. Řídký roztok se zahušťuje postupně a postupuje stejným směrem jako brýdové páry od prvního k poslednímu stupni odparky. V posledním stupni dosahuje roztok požadované koncentrace. Teplota brýdových par postupně klesá a je třeba paralelně snižovat i bod varu zahušťovaného roztoku. Snížení teploty bodu varu dosáhneme snížením tlaku v těle odparky [41], [1].



obr 17: schéma vícestupňové odparky souproudé [14]

Protiproudá vícestupňová odparka se od souproudé vícestupňové odparky liší směrem, kterým se pohybuje brýdová pára mezi jednotlivými stupni odparky. V protiproudé vícestupňové odparce (viz obr 18) vyhřívá topné médium poslední stupeň odparky. Brýdové páry, které vzniknou v posledním stupni, jsou vedeny přes odlučovač kapek do předposledního stupně, kde se využijí místo topného média. Brýdové páry, které vzniknou v předposledním stupni, jsou vedeny do předchozího stupně až k prvnímu stupni odparky.

Postup zahušťovaného roztoku je opačný. Řídký roztok je čerpán do prvního stupně a postupně se přelévá po dalších stupních. V každém stupni je více zahuštěn a v posledním stupni pak získává požadovanou koncentraci. Výhodou protiproudého uspořádání víceetapňové odparky je zajištění nejvyšší teploty v posledním stupni odparky, kde je roztok nejvíce koncentrovaný [43], [44], [28].



obr 18: schéma víceetapňové odparky protiproudové [14]

Snížení nákladů na topné médium ovšem neodstraní náklady na nákup a provoz zařízení. Náklady na nákup a provoz se s dalšími stupni odparky naopak zvyšují. Je tedy třeba nalézt ekonomicky nejvýhodnější množství stupňů. Na trhu nalezneme obvykle odparky do čtyř odpařovacích stupňů [51], [46].

## 2. 8. Vakuové odparky

Mohli bychom říct, že vakuové odparky jsou v dnešní době nejpoužívanějším typem odparek. Jejich charakteristickým rysem je snížený tlak v těle odparky. Docílí se tak varu při nižších teplotách, což je v mnoha případech potřebné. Vakuové odparky vyžadují navíc pouze některé prvky, ale celková konstrukce může být převzata z kterékoli dříve popsané odparky [36], [28].

## 2. 9. Odparky vytvářející mlhu

Tento typ odparek se velmi liší od dříve popsaných zařízení. Liší se jak konstrukcí, tak použitým topným médiem. Rozdílné jsou rovněž možnosti umístění odparek. Produktem odparky nemá být kondenzát či čisté rozpouštědlo, ale pouze úbytek objemu zpracovávané kapaliny. Odparky jsou využívány na místech, kde je zapotřebí co nejrychleji se zbavit velkého množství rozpouštědla, nejčastěji vody, zejména při těžbě kovů, ropy či zemního plynu. Odparky jsou umístěny venku u vodních nádrží. Mohou být na břehu, nebo přímo na vodě, kde jsou nadnášeny pomocí plováků. Na odparce bychom marně hledali nádobu na řídký či zahuštěný roztok, kondenzátor či dokonce topnou soustavu. Z dálky by se daly

zaměnit spíše za fontány (viz obr 19). Samotné odpařování probíhá ve vzduchu mimo odparku. Odparka nasává vodu a velkou rychlostí ji žene vzhůru pomocí ventilátoru. Voda je roztříštěna na malé kapky, které se ve vzduchu odpaří. Odparky bývají vybaveny snímači okolního prostředí, které zahrnují snímače rychlosti, směru a vlhkosti větru a teploty. Tyto snímače jsou důležité, aby odparky mohly kontinuálně upravovat velikost kapek.

### **2. 9. 1. Tříštivé odparky**

Používají se více ve vodách s větším znečištěním obsahujícím i pevné látky. Tříštivá odparka je dokáže pracovat, i když jí prochází pevné částice do velikosti 5mm, čímž se usnadňuje filtrace. Vysokorychlostní rotující turbína vrhá vodu přes mříž, čímž vznikají kapky, které se rychle odpařují.

### **2. 9. 2. Rozprašovací tryskové odparky**

U tohoto typu odparek je třeba klást větší důraz na čistotu vody. Ventilátor vytváří silný proud vzduchu, do kterého je tryskami dávkována znečištěná voda, proto jsou kapky daleko menší a jsou hnány dál, než u prvního typu.

### **2. 9. 3. Rozprašovací rotační odparky**

Díky absenci trysek u rozprašovacích rotačních odparek, může být znečištění vody poměrně značné. Znečištěná voda je dovedena k zadní straně lopatkového ventilátoru roztočeného na vysoké otáčky a stříkána skrze ventilátor. Při průchodu je lopatkami rozbita na kapky a proudícím vzduchem odnášena do okolí [24], [5].



obr 19: odparky vytvářející mlhu [5]

## 2. 10. Výběr odparky

Před výběrem konkrétního odpařovacího zařízení je třeba mít přesnou představu o provozních možnostech a požadavcích technologie. Již dopředu je potřeba vědět, jaké je v procesu množství rozpouštědla, jak je znečištěné, jakou potřebujeme kvalitu produktů, kolik máme místa a financí ať už na nákup zařízení či na jeho provoz. Je též potřebné zjistit, jaké jsou naše možnosti, co se týče přívodu páry, horké vody, zdroje vakua, elektrického připojení či kanalizace.

Výběr odparky pro konkrétní roztok je velmi důležitý, musí se zvážit viskozita roztoku, jeho sklon k připékání, teplota varu, jeho výbušnost, toxicita či jakou teplotu si můžeme dovolit a jak dlouho může být vystaven zvýšené teplotě, aniž by došlo k jeho znehodnocení [33], [36].

Při volbě odparky máme velkou škálu možností. Může-li roztok prodlévat v odparce delší dobu bez znehodnocení, přikláníme se k odparkám cirkulačním, přičemž se rozhodujeme mezi dvěma typy, odparkami s přirozenou cirkulací a odparkami s nucenou cirkulací. Roztok v cirkulačních odparkách stráví více času, zato ale dosáhneme velkého stupně zahuštění. Nezanedbatelnou výhodou mohou být i menší náklady na provoz odparek. Naopak, pokud by mělo dojít ke snížení jakosti roztoku vlivem delšího působení teploty, můžeme se obrátit k odparkám filmovým, ať už s filmem stoupajícím, padajícím či stíraným. Ve filmových odparkách se zabýváme časy prodlevy roztoku v odparce od 3 do 60 s [44]. Jsou-li pro roztok důležité nízké teploty, zaměříme se na odparky se sníženým tlakem, neboli vakuové odparky. Při snižování teploty se nevyhneme zvýšení nákladů. Náklady zahrnují konstrukční náklady na utěsnění všech částí odparky, náklady na zařízení na vytvoření sníženého tlaku a jeho provoz i zvýšené provozní náklady. Na vypaření 1kg brýdové páry za vyšší teploty varu je třeba méně dodaného tepla (topného média) než na vypaření stejného množství brýdové páry při nižší teplotě varu [1], [41], [28].

Nejnákladnější na provozu odparky je přirozeně ohřev. Abychom tuto položku snížili, můžeme zapojit vícestupňovou odparku, kompresor páry či tepelné čerpadlo [44].

### 3. Rešerše průmyslových odparek

Za účelem zmapování situace na trhu s průmyslovými odparkami a porovnání různých typů komerčně nabízených odparek byla provedena důkladná rešerše, která zahrnovala více než čtyři stovky výrobků. Rešerše byla zaměřena pouze na průmyslové odparky procesních vod a nezabývala se laboratorními odparkami. Do porovnání byly zahrnuty pouze odparky, které jsou součástí modelových řad a jejichž provozní parametry jsou výrobci alespoň částečně zveřejňovány. Nashromážděné konstrukční a provozní parametry odparek byly systematicky zpracovány v podobě databáze v programu MS Excel. Podkladem pro tvorbu databáze byly veřejně dostupné materiály předkládané výrobcí odpařovacích zařízení. Jednalo se zejména o reklamní brožury a internetové stránky výrobců či dodavatelů technologie.

#### 3. 1. Databáze odparek

Pro tvorbu databáze průmyslových odparek byl vybrán program Microsoft Office Excel 2007 (viz příloha č. 1 ). Součástí databáze jsou odparky vyráběné mnoha lokálními i světovými výrobci. Rešerše sledovala výrobky společností GE, INTREL, EPCON, SAMSO, FORMECEO, H2O, SOLUTEX, ENCON, AWT, SPXFLOW, KMU LOFT Cleanwater, ADTEC, WASTECH, condorchem envitech, GIGKARASEK, AltiConsulting, EVALÉD®, MKR Metzger, MINGCHEN, BEYOND, FOREVER. Největší výrobní kapacitou ze sledovaných výrobků disponovala odparka firmy BEYOND (viz obr 20).



obr 20: Odparka s mechanickou kompresí páry firmy BEYOND [27]

Databáze sumarizuje základní parametry odparek a předkládá je v přehledné formě. Uspořádání databáze bylo definováno klíčovými konstrukčními a provozními parametry a charakteristikami, mezi které byly zařazeny:

- pracovní teploty [°C],
- pracovní tlaky [kPa],
- počet odpařovacích stupňů,
- měrná elektrická spotřeba [kWh/m<sup>3</sup>],
- měrná tepelná spotřeba [kWh/m<sup>3</sup>],
- celková měrná spotřeba energie [kWh/m<sup>3</sup>],
- elektrický příkon technologie [kW],
- charakter pohybu roztoku (přirozená a nucená cirkulace, film),

- převažující tlakové podmínky (vakuum, atmosférický tlak, přetlak),
- zdroj tepla (tepelné čerpadlo, komprese páry, externí zdroj)
- druh topného média,
- rozměry zařízení [mm],
- množství produktu [l/h], neboli produkce kondenzátu,
- konstrukční materiál,
- případně cena zařízení [Kč].

Jelikož výrobci používali různé jednotky, bylo třeba jednotky před zadáním do tabulky sjednotit. Rozměry zařízení byly převáděny z metrů [m] a palců [in] na milimetry [mm] podle vzorce [25]:

$$1\text{m} = 1000\text{ mm} \quad (2)$$

$$1\text{in} = 25,4\text{ mm} \quad (3)$$

Cena byla převáděna z Eur [EUR] na České koruny [Kč] podle kurzu [18]:

$$1\text{ EUR} = 26,4\text{ Kč} \quad (4)$$

Kapacita byla převáděna z galonů [gal] na litry [l] podle vzorce [25]:

$$1\text{gal} = 4,4\text{ l} \quad (5)$$

Spotřeba tepla byla převáděna z kilokalorií [kcal] na kilowatthodiny [kWh] pomocí vzorce [19]:

$$1\text{kcal} = 1,163\text{ kWh} \quad (6)$$

### **Orientace v databázi**

Na prvním vodorovném řádku tabulky jsou vypsány parametry a jednotky, ve kterých jsou čísla uváděna. Graficky je tento řádek oddělen od ostatních barvou a ohraničením. Ve svislých sloupcích jsou následně zaznamenány hodnoty získané z webových stránek výrobců. Volná místa v tabulce znamenají, že výrobce neuvádí danou charakteristiku odparky. V posledním sloupci tabulky jsou uváděny webové stránky výrobců, odkud byly informace čerpány. Odparky od jednotlivých výrobců jsou v tabulce graficky odděleny horizontálními čarami. Některé z uvedených parametrů jsou výsledkem jednoduchých výpočtů, které vycházejí z jiných údajů poskytovaných výrobcem.

## 3. 2. Srovnání odparek podle měrné spotřeby energie

Jedním z klíčových provozních parametrů, na které je třeba se zaměřit u každé odparky, je měrná spotřeba. Od tohoto parametru se odvíjí náklady na provoz zařízení. Měrná spotřeba odparky je ovlivněna mnoha různými faktory, jako množství odpařovaného roztoku, pohyb roztoku v těle odparky či způsob vytápění. Je třeba podotknout, že odparky s nižšími nároky na provozní náklady obvykle vyžadují vyšší počáteční investice a investice spojené s údržbou technologie [44].

Pro účely srovnání byly odparky rozděleny do 9 kategorií:

- odparky s nucenou cirkulací vytápěné párou či horkou vodou- NC (pára, horká voda),
- odparky s nucenou cirkulací s využitím komprese páry- NC+MVC,
- odparky s nucenou cirkulací s využitím tepelného čerpadla- NC+HP,
- odparky s přirozenou cirkulací vytápěné párou či horkou vodou-PC (pára, horká voda),
- odparky s přirozenou cirkulací s využitím komprese páry- PC+MVC,
- odparky s přirozenou cirkulací s využitím tepelného čerpadla- PC+HP,
- odparky s padajícím filmem vytápěné párou či horkou vodou- PF (pára, horká voda),
- odparky s padajícím filmem s využitím komprese páry- PF+MVC,
- odparky s mechanickým prvkem vytápěné párou- MP (pára).

Hodnoty celkové měrné spotřeby energie, měrné tepelné spotřeby a měrné spotřeby elektrické energie, které jsou uváděny při srovnávání, jsou aritmetickým průměrem hodnot všech odparek z katalogu, které splňují požadovaná kritéria. Měrné spotřeby energií jsou uváděny v kWh/m<sup>3</sup>.

### 3. 2. 1. Srovnání podle množství kondenzátu

Srovnání odparek podle množství produkovaného kondenzátu se snaží ukázat, že odparky, které produkují více kondenzátu, spotřebují méně celkové měrné energie. Při tomto srovnávání nebylo rozlišováno mezi měrnou tepelnou spotřebou a měrnou spotřebou elektrické energie. Aby data nebyla ovlivněna jinými faktory, byly ke srovnání vybrány pouze jednočlenné odparky.

Rozdělení podle množství kondenzátu sdružuje odparky s množstvím produkovaného kondenzátu 10-100 l/h, 100-500 l/h, 500-1000 l/h a 1000-6000 l/h.

V *tabulce 1* můžeme vidět, že zvýšenou kapacitou odparek je spojen pokles celkové měrné spotřeby energie. U odparek s nucenou cirkulací vytápěných párou či horkou vodou s produkcí kondenzátu do 100l/h je celková měrná spotřeba energie průměrně 784 kWh/m<sup>3</sup>, stejný typ odparky s produkcí 500-1000 l/h spotřebuje 768,7 kWh/m<sup>3</sup>.

Stejný výsledek je zřejmý u odparek s nucenou cirkulací s využitím komprese páry, kde je při produkci do 100l/h celková měrná spotřeba energie průměrně 52 kWh/m<sup>3</sup> a u produkcí 500-1000 l/h spotřeba klesá na 48 kWh/m<sup>3</sup>.

U odparek s nucenou cirkulací s využitím tepelného čerpadla je patrný výkyv celkové měrné spotřeby energie při produkci kondenzátu 500-1000 l/h. Při produkcích kondenzátu 10-100 l/h a 100-500 l/h celková měrná spotřeba energie klesá z 179,3 kWh/m<sup>3</sup>

na 175 kWh/m<sup>3</sup>, následně však, na místo předpokládaného snížení, hodnota roste na 182,5 kWh/m<sup>3</sup>. Tato změna trendu je nejspíše zapříčiněna nedostatečným vzorkem odparek v dané kategorii. Hodnota pro produkce kondenzátu 1000-6000 l/h nebyla uvedena u žádného výrobce. Z ostatních dat by se ovšem dalo usuzovat, že měrná spotřeba energie by znovu poklesla.

S podobným výkyvem se setkáváme u odparek s mechanickým prvkem vytápěných párou. U těchto odparek celková měrná spotřeba energie klesá z 230 kWh/m<sup>3</sup> při produkci 10-100 l/h na 143 kWh/m<sup>3</sup> při produkci 100-500 l/h a následně se zvýší na 158 kWh/m<sup>3</sup> při produkci 500-1000 l/h, odkud klesá na 138,7 kWh/m<sup>3</sup> při produkci 1000-6000 l/h.

V ostatních kategoriích se plně naplnil předpoklad klesající celkové měrné spotřeby energie při rostoucí produkci kondenzátu. Výsledky přehledně zobrazuje *tabulka 1*.

celková měrná spotřeba energie [kWh/m <sup>3</sup> ]	množství produkovaného kondenzátu			
	10-100 l/h	100-500 l/h	500-1000 l/h	1000-6000 l/h
<b>NC(pára horká voda)</b>		783,9		768,7
<b>NC+MVC</b>		52		48
<b>NC+HP</b>	179,3	175	182,5	
<b>PC(pára, horká voda)</b>		152,8	142	
<b>PC+MVC</b>	66,7	51,3	45	42
<b>PC+HP</b>	151,4			
<b>PF+MVC</b>	84	64	43,3	36,3
<b>MP(pára)</b>	230	143	158	138,7

tab 1: srovnání celkové měrné spotřeby energie podle množství produkovaného kondenzátu při zahrnutí pouze jednostupňových odparek



### 3. 2. 2. Srovnání podle zdroje tepla

Srovnání měrných spotřeb energie odparek podle zdroje tepla bylo provedeno, aby se ukázalo, jak zdroj tepla ovlivňuje měrnou tepelnou spotřebu a měrnou elektrickou spotřebu odparky.

Odparky byly rozděleny do skupin 5 skupin:

- 1 stupňová s externím zdrojem tepla- EX1
- 2 stupňová s externím zdrojem tepla- EX2
- 3 stupňová s externím zdrojem tepla- EX3
- 1 stupňová s mechanickou kompresí páry- MVC1
- 1 stupňová s tepelným čerpadlem- HP1

Výsledky srovnání byly vyneseny do *tabulky 2*. Je zřejmé, že z porovnávaných odparek mají největší měrnou tepelnou spotřebu odparky s externím zdrojem tepla. Hodnoty měrné spotřeby elektrické energie se výrazně snižují při rostoucím počtu stupňů odparky. Jednostupňové odparky spotřebují průměrně 425,5 kWh/m<sup>3</sup>, dvoustupňové odparky 255 kWh/m<sup>3</sup> a třístupňové odparky 168 kWh/m<sup>3</sup>.

Odparky s tepelným čerpadlem a s mechanickou kompresí páry odebírají pouze elektrickou energii. Jednostupňové odparky s mechanickou kompresí páry (50 kWh/m<sup>3</sup>) spotřebují znatelně méně měrné elektrické energie než odparky jednostupňové s tepelným čerpadlem (167,7 kWh/m<sup>3</sup>).

	měrná spotřeba elektrické energie [kWh/m <sup>3</sup> ]	měrná tepelná spotřeba [kWh/m <sup>3</sup> ]
<b>EX1</b>		425,5
<b>EX2</b>		255
<b>EX3</b>		168
<b>MVC1</b>	50	0
<b>PH1</b>	167,7	0

tab 2: srovnání odparek podle pohybu řídkého roztoku v těle odparky

### 3. 2. 3. Srovnání podle stupňů odparky

Chceme-li ušetřit vstupní topné médium, připojujeme k odparce tepelné čerpadlo, použijeme stlačené brýdové páry či spojíme odparky do více stupňů, čímž využijeme teplo brýdových par [20], [40]. Vícestupňové odparky navíc násobí i teplosměnnou plochu a prostor, ve kterém se roztok odpařuje.

*Tabulka 3* zobrazuje odparky s přirozenou cirkulací, odparky s nucenou cirkulací a odparky s padajícím filmem a ukazuje, jak se mění celková měrná spotřeba energie, pokud odparky zapojíme do dvou stupňů a do tří stupňů.

Nejvýraznější skok se ukazuje u odparek s nucenou cirkulací. V jednostupňové odparce s nucenou cirkulací dosahuje průměrná měrná celková spotřeba energie 761,4 kWh/m<sup>3</sup>. Při zapojení stejného typu odparky do dvou stupňů, klesá celková měrná spotřeba energie na 195,7 kWh/m<sup>3</sup>. Přidáním třetího stupně odparky ještě více snížíme celkovou měrnou spotřebu energie, ale už ne tak markantně. Celková měrná spotřeba energie zůstává na 164,1 kWh/m<sup>3</sup>.

U odparek s přirozenou cirkulací je též patrný rozdíl v celkové měrné spotřebě energie mezi jednostupňovou a dvoustupňovou odparkou. V jednostupňové odparce činí celková měrná spotřeba energie 151,7 kWh/m<sup>3</sup>, zatímco v dvoustupňové 73,9 kWh/m<sup>3</sup>.

Odparky s padajícím filmem nevykazují radikální změny při zapojení odparek do více stupňů. Celková měrná spotřeba energie klesá pozvolna. V jednostupňové odparce činí hodnota celkové měrné spotřeby energie 55,6 kWh/m<sup>3</sup>, ve dvoustupňové odparce 49,3 kWh/m<sup>3</sup> a ve třístupňové odparce 38,4 kWh/m<sup>3</sup>.

celková měrná spotřeba energie [ kWh/m <sup>3</sup> ]	1 stupeň	2 stupně	3 stupně
<b>NC(pára horká voda)</b>	761,4	195,7	164,1
<b>PC(pára, horká voda)</b>	151,7	73,9	
<b>PF+MVC</b>	55,6	49,3	38,4

tab 3: srovnání odparek podle počtu stupňů

## 4. Porovnání odparek s dalšími technologiemi zahušťování procesních vod

V dnešní době nejsou odparky jedinou možností zahušťování procesních vod, ale nabízejí se i další možnosti jako je sušení, destilace, lisování, usazování, filtrace, odstředování či membránové procesy. Rozhodujeme-li se, jakou technologii použít pro konkrétní případ, je dobré mít představu, jak dané technologie pracují, co požadují a jaké mohou mít výstupy [1], [45].

### 4. 1. Hnací energie

Jednotlivé technologie můžeme rozdělit podle druhu energie, která způsobí zahuštění roztoku (viz *tab 4*). U odpařování stejně jako u sušení a destilace je do systému různými způsoby dodáváno teplo. V případě filtrace, lisování a některých z membránových procesů je hnací silou rozdíl tlaků. U usazování, filtrace a některých membránových procesů probíhá zahušťování na základě rozdílu hustot a gravitační či odstředivé síly [45], [28], [41].

teplo	rozdíl tlaků	rozdíl hustot
odpařování destilace sušení	filtrace lisování membránové procesy	usazování filtrace membránové procesy

tab 4: rozdělení technologií pro zahuštění procesních vod podle hnací energie

### 4. 2. Požadavek na kvalitu vstupů

Požadavky na kvalitu vstupních látek přicházejících do zařízení se u jednotlivých technologií výrazně liší. Opačné póly stupnice obsazují usazování a membránové procesy. Zatímco usazovací nádrže mohou oddělovat i velké kusy pevné látky od kapaliny, membránové procesy pracují s částicemi o velikostech v řádech milimetrů až desítek nanometrů. Filtrace má možnost uzpůsobit velikost děr pro procházející částice, ale nelze v ní zahušťovat homogenní směsi. Na zahušťování homogenních směsí je možné použít odpařování, destilaci případně membránové procesy [36], [45], [28]. Rozdělení technologií pro zahuštění procesních vod podle vstupní směsi můžeme vidět v *tabulce 5*.

homogenní směsi	heterogenní směsi
odpařování destilace membránové procesy	usazování filtrace lisování sušení membránové procesy odpařování destilace

tab 5: rozdělení technologií pro zahuštění procesních vod podle vstupní směsi

### **4. 3. Požadavek na kvalitu produktů**

Kvalita produktů zahušťování je jedním z nejvíce sledovaných parametrů. Každá technologie může mít více výstupů. U některých technologií, například sušení, je jediným požadovaným výstupem pevná látka. Naproti tomu u filtrace mohou být požadované výstupy dva, filtrát nebo nános částic nad přepážkou. U odpařování je výstupů hned několik: kondenzát rozpouštědla, zahuštěný roztok či úbytek hmotnosti. Čisté rozpouštědlo obvykle vyžadujeme u destilace, ale můžeme se též zaměřit na zbylý roztok, zbavený těkavější složky. Vysokých kvalit odděleného rozpouštědla lze dosáhnout s využitím membránových metod [26], [28], [45], [1].

## 5. Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na průmyslové odparky procesních vod. V rámci práce byly popsány základy odpařování a představeny různé typy průmyslových odparek. Stěžejní částí práce byla důkladná rešerše a tvorba databáze průmyslových odparek, která je zároveň sondou do současné situace na trhu s odparkami procesních a odpadních vod. Díky tomu může být práce přínosná jak pro technické odborníky, tak pro širokou veřejnost, která se potřebuje v problematice průmyslových odparek zorientovat.

Fyzikální proces odpařování byl diskutován jako první. Následuje společný základ všech odparek- odpařovací aparát. Jeho části jsou popsány každá zvlášť. Je vysvětlena jejich funkce v odparce a různé možnosti jejich konstrukce. Po společném základu jsou rozebírány jednotlivé typy odparek. Nalezneme informace o odparkách cirkulačních, filmových, vakuových, rotačních i o odparkách s mechanickým prvkem. Součástí teoretického základu jsou i možnosti dělení odparek podle pracovního tlaku, charakteru pohybu roztoku v těle odparky či druhu vytápění.

Teoretické představení odparek je důležité, neboť popisuje zařízení, se kterými se následně pracuje v rešerši průmyslových odparek. U každého typu odparky je proto popsán princip činnosti, možnosti konstrukce a výhody a nevýhody konkrétního typu odparky.

Se zavedenými termíny přistupujeme k druhé části závěrečné práce-rešerši průmyslových odparek a tvorbě databáze komerčně nabízených výrobků. Databáze byla zpracovávána v programu Microsoft Office Excel 2007 a obsahuje parametry více než 400 průmyslových odparek. V databázi zaznamenané odparky je možné jednoduše třídít podle zadaných parametrů. Z vypracovaného katalogu byla sbírána data, která byla využita při srovnávání jednotlivých typů odparek.

Odparky byly srovnávány třikrát podle různých parametrů. V každém případě byla hlavním sledovaným parametrem měrná spotřeba energie.

První srovnání ověřovalo hypotézu klesající tendence hodnot celkové měrné spotřeby energie při vzrůstající produkci kondenzátu. Z porovnání bylo zřejmé, že hypotéza byla správná.

Při druhém srovnání průmyslových odparek byly navzájem konfrontovány odparky s různým zdrojem tepla. Odparky s mechanickou kompresí páry se ukázaly jako nejúčinnější zařízení. Jednostupňové odparky s tepelným čerpadlem spotřebovaly skoro stejné množství celkové měrné energie jako odparky třístupňové s externím zdrojem tepla.

Poslední srovnání ukázalo, jak se mění hodnota celkové měrné spotřeby energie, když jsou odparky propojovány do dvou stupňů a do tří stupňů. Hodnoty celkové měrné spotřeby energie klesaly při vyšším počtu stupňů odparek, jak bylo popsáno v předešlé teorii vícestupňových odparek.

Posledním bodem závěrečné práce je porovnání odparek s dalšími technologiemi zahušťování procesních vod. Volba vhodné zahušťovací technologie bude vždy ovlivněna konkrétními požadavky na kvalitu vstupních a výstupních proudů.

## Seznam použité literatury

1. BAFRNEC, Milan. *Chemické inženýrstvo I: fyzikální veličiny a ich jednotky, rozmerová analýza a teória podobnosti, bilancie, tok tekutín, prestup tepla, odparovanie kvapalín, chemické reaktory*. Bratislava: Malé Centrum, 1999. ISBN 80-967064-3-8.
2. *Brazed Plate Heat Exchanger* [online]. Alibaba [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://jybaode.en.alibaba.com/>
3. *DEMISTER® mist eliminators* [online]. koch-glitsch, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.koch-glitsch.com/mistelimination/pages/DEMISTER.aspx>
4. *E-chembook, multimedialní učebnice chemie: směsi* [online]. Bc. Jan Břížďala, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://e-chembook.eu/smesi>
5. *Evaporation systems* [online]. Penticton. BC. Canada: SLIMLINE MANUFACTURING [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://slimlinemfg.com/>
6. *Evaporative Forced* [online]. India: Chem Process Systems, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.chemprosys.com/products/crystallizer/evaporation-forced/>
7. *FILMOVÁ ODPARKA UOP 1A (ARMPFIELD LTD.)* [online]. VSCHT [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [https://web.vscht.cz/~henkes/odparka\\_web/odparka.htm](https://web.vscht.cz/~henkes/odparka_web/odparka.htm)
8. *Formeco evaporators* [online]. formeco [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.distillation.cc/downloads/wastewater%20evaporators.pdf>
9. *FORMECO* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.formeco.sk/>
10. *FORMECO: water evaporators* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [http://www.distillation.cc/downloads/water evaporators.pdf](http://www.distillation.cc/downloads/water%20evaporators.pdf)
11. GALVÁN-ÁNGELES, Emmanuel, Christian O. DÍAZ-OVALLE, Guillermo GONZÁLEZ-ALATORRE, Edgar Omar CASTREJÓN-GONZÁLEZ a Richart VÁZQUEZ-ROMÁN. Effect of thermo-compression on the design and performance of falling-film multi-effect evaporator. *Food and Bioproducts Processing*. ELSEVIER, 2015(69), 65–77. Dostupné také z: [www.elsevier.com/locate/fbp](http://www.elsevier.com/locate/fbp)
12. HANOUSEK, Miloš. *Způsob zapojení filmové a rotorové odparky do termodynamického celku pro odpařování vody z látek*. 128284.
13. *Heat Exchanger* [online]. global sources [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.globalsources.com/gsol/I/Heat-exchanger/p/sm/1046093224.htm#1046093224>
14. *Chemická technika: tepelné operace* [online]. Petr Zbořil [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3320178/>
15. ILTEN, N., A. BAARS a A. DELGADO. Multiple modes of a natural circulation evaporator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. ELSEVIER, 2006(49), 2304–2314. Dostupné také z: [www.elsevier.com/locate/ijhmt](http://www.elsevier.com/locate/ijhmt)
16. JELÍNEK, Luděk. *Desalinační a separační metody v úpravě vody*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-705-7.
17. JORGE, L.M.M., A.R. RIGHETTO, P.A. POLLI, O.A.A. SANTOS a R. Maciel FILHO. Simulation and analysis of a sugarcane juice evaporation system. *Journal of Food Engineering*. 2010, 2010(99), 351–359. Dostupné také z: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-food-engineering>
18. *Kurz Eura, Euro EUR, aktuální kurzy koruny a měn* [online]. kurzycz [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/kurzy-men/nejlepsi-kurzy/EUR-euro/>

19. LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. *Metric conversions* [online]. ČTK. Topinfo [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/3-prevody-jednotek-si-01>
20. LI, Yulong, Hong WU, XinGang LIANG, Chengjun RONG a Huichuan CHEN. Desalination. *Journal of Membrane Science*. ELSEVIER, 2015(361), 46–52. Dostupné také z: <https://www.journals.elsevier.com/desalination>
21. MACHATA, Václav, oldřich KRATOCHVÍL, jaroslav STEHNO a františek TALACKO. *Desková odparka*. 184112.
22. MALIJEVSKÁ, Ivona, Anatol MALIJEVSKÝ a Josef NOVÁK. *Záhady, klíče, zajímavosti: očima fyzikální chemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2004. ISBN 80-7080-535-8.
23. MCCABE, W. L., SMITH, J. C. a HARRIOTT, P. Unit operations of chemical engineering. 5th ed. New York: McGraw-Hill. McGraw-Hill chemical engineering series, 1993. ISBN 978-0-07-044844-5.
24. *Mechanical Evaporation for produced water treatment* [online]. BKB [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://bkbustsuppression.com/tag/water-evaporation/>
25. *Metric conversions* [online]. Wight Hat, 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.metric-conversions.org/cs/delku-konverze.htm>
26. MÍKA, Vladimír a Lubomír NEUŽIL. *Chemické inženýrství II. 2.*, přeprac. vyd. Praha: VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-359-2.
27. *MVR Evaporator* [online]. beyond [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.360evaporator.com/mvr-evaporator.html>
28. NEUŽIL, Lubomír a Vladimír MÍKA. *Chemické inženýrství I*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1992. ISBN 80-7080-164-6. Chemické inženýrství II-Bafrnec
29. NII, Susumu, R. Selwyn JEBSON a E.L. CUSSLER. Membrane evaporators. *Journal of Membrane Science*. ELSEVIER, 2002(201), 149–159. Dostupné také z: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-membrane-science>
30. NOVÁK, Josef. *Fyzikální chemie: bakalářský a magisterský kurz*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-675-3.
31. MORISON, Ken R. Reduction of fouling in falling-film evaporators by design. *Elsevier*. 2015, (93), 211–216.
32. *ODLUČOVAČE KAPEK* [online]. hennlich [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/trysky-odlucovice-kapek-8360.html>
33. ONDRUŠÍKOVÁ, Drahomíra. *Způsoby jímání aromatických látek při zahušťování ovocných šťáv*. Zlín, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Pavel Valášek.
34. PAVLÍKOVÁ, Lucie, Hana BROZMANOVÁ, František KVASNIČKA a Milan GRUNDMANN. TERAPEUTICKÉ MONITOROVÁNÍ LÉKŮ POMOCÍ ELEKTROMIGRAČNÍCH METOD. *KLINICKÁ FARMAKOLOGIE A FARMACIE*. 2007, 2007(21(2)), 79-83.
35. PERRY, R.H.. *Perry's chemical engineers' handbook*. 7. vyd. New York : McGraw-Hill, 1997. ISBN 0-07-115448-5
36. PILAŘ, Antonín. *Chemické inženýrství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.

37. *Plate Evaporator and Plate Condenser* [online]. Shanghai: Accessen Group Co. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.chinaplateheatexchanger.com/plate-evaporator-and-plate-condenser-products.html>
38. *Evaporation Technology: Plate Evaporator* [online]. GEA engineering for a better world, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.gea.com/en/products/plate-evaporator.jsp>
39. *Princip tepelného čerpadla* [online]. revel-pex, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.revel-pex.com/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/princip-tepelneho-cerpadla/>
40. *Products* [online]. Flatåsen, Norway: EPCON evaporation technology AS, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.epcon.org/products.html>
41. RICHTER, Jan, Tomáš SVĚŘÁK a Petr STEHLÍK. *Chemické inženýrství I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2004. ISBN 80-214-2568-7.
42. RICHTER, Miroslav a Otakar SÖHNEL. *Průmyslové technologie III: stroje a zařízení chemického průmyslu: [procesy, stroje a zařízení]*. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2012. ISBN 978-80-7414-827-9.
43. SOGUT, Z., N. ILTEN a Z. OKTAY. Energetic and exergetic performance evaluation of the quadruple-effect evaporator unit in tomato paste production. *Food and Bioproducts Processing*. ELSEVIER, 2010(35), 3821-3826. Dostupné také z: [www.elsevier.com/locate/energy](http://www.elsevier.com/locate/energy)
44. ŠESTÁK, Jiří a Rudolf ŽITNÝ. *Tepelné pochody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-01630-7.
45. ŠNITA, Dalimil. *Chemické inženýrství I*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2005. ISBN 80-7080-589-7.
46. ŠTENCL, Jiří a Bohumíra JANŠTOVÁ. *Potravinářské inženýrství a technika*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. ISBN 978-80-7305-680-3.
47. *TEPELNÁ ZAŘÍZENÍ: Odpařování a Odparky* [online]. Ústav procesní a zpracovatelské techniky ČVUT: Rudolf Žitný, 2010 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3065205/>
48. *Tlak nasycených par čistých látek (Antoineova rovnice)* [online]. Praha: ÚCHI VŠCHT [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://uchi.vscht.cz/uploads/etabulky/antoine.html>
49. *Ústav procesní a zpracovatelské techniky U 218: Měření na rotorové odparce - návod* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/5rocnik/exp/fevap/fevnavod.htm>
50. *Vypařování a kapalnění* [online]. implementace interaktivních prvků do výuky fyziky na zš [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://fyzika.fyzikaprozivot.cz/8-rocnik/5-2-vyparovani-kapalneni>
51. *Wastewater evaporators* [online]. condorchem envitech, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [http://condorchem.com/en/evaporators/#.WLQRWW\\_hDIU](http://condorchem.com/en/evaporators/#.WLQRWW_hDIU)
52. *Wastewater evaporators* [online]. japan: okawara mfg. co., 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.okawara-mfg.com/eng/mfg/product/evapor.html>



53. *Waste Water Treatment: evaporation technology with or without vacuum* [online]. SOLUTEX [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [http://www.solutex.co.uk/water\\_evaporators.html](http://www.solutex.co.uk/water_evaporators.html)
54. *Zero-Liquid-Discharge (ZLD) Crystallizers* [online]. Trevose, PA USA: GE corporation, 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://gewater.com/products/zero-liquid-discharge-zld-crystalizers.html>

## Seznam obrázků

obr 1: Příklad dvoustupňové vakuové odparky od společnosti FORMECO [9].....	9
obr 2: schematické znázornění vstupů a výstupů odpařovacího procesu [7] .....	13
obr 3: schéma jednočlenné odparky s interní topnou soustavou .....	14
obr 4: trubkový tepelný výměník [13].....	15
obr 5: deskový tepelný výměník [2].....	15
obr 6: schéma tepelného čerpadla [39].....	16
obr 7: lamelový separátor kapek [32] .....	16
obr 8: vložkový separátor kapek [3].....	17
obr 9: cirkulační odparka a) s vodorovnou topnou soustavou b) Robertova c) košíková [47] ..	19
obr 10: cirkulační odparka se šikmou topnou soustavou [47].....	20
obr 11: cirkulační odparka s nucenou cirkulací roztoku [6] .....	21
obr 12: filmová odparka se stoupajícím filmem [7] .....	22
obr 13: schéma deskové odparky [37].....	23
obr 14: schéma přívodu řídkého roztoku do topného systému filmové odparky [31].....	23
obr 15: Vakuová jednostupňová rotační odparka [52] .....	24
obr 16: odparka s mechanickým prvkem [53] .....	24
obr 17: schéma vícestupňové odparky souprouté [14] .....	25
obr 18: schéma vícestupňové odparky protiproudové [14] .....	26
obr 19: odparky vytvářející mlhu [5] .....	27
obr 20: Odparka s mechanickou kompresí páry firmy BEYOND [27].....	29

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 katalog průmyslových odparek