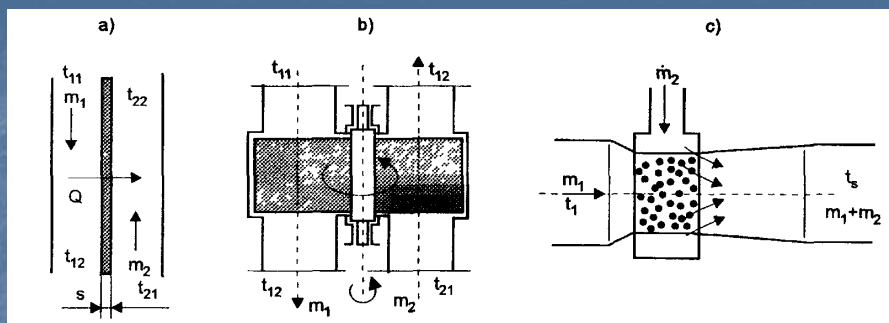


# VÝMĚNÍKY TEPLA V ENERGETICE

## Funkce, rozdělení, typy

- slouží k průběžnému nebo přerušovanému předávání tepelné energie pomocí proudících teplotnosných médií
- Podle pracovního pochodu existují tři základní typy
  - **rekuperační** - obě tekutá média, ohřívající i ohřívané, jsou zde oddělena nepropustnou stěnou o určité tloušťce o výhřevných plochách  $S_1$  a  $S_2$  na stranách obou médií
  - **regenerační** - ohřívané médium vtéká opakovaně s určitým časovým zpožděním za médiem ohřívajícím do přesně vymezeného prostoru, vyplněného pevným teplo zprostředkujícím elementem (tvořeným akumulací hmotou) a přijímá z něho teplo, dříve přivedené ohřívajícím médiem,
  - **směšovací** - ohřívané a ochlazované médium se v tomto výměníku směšují tak, že vytvoří směs - teplosměnná plocha je dána např. povrchem kapek vstříkované vody.



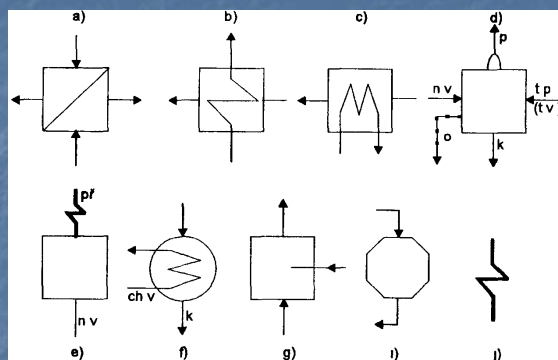
a - rekuperační výměník,

b - regenerační výměník,

c - směšovací výměník,

m - hmotnostní průtok, t - teploty pracovních látek

## Značení výměníků v tepelných schématech



a,b,-rekuperační výměník obecně, c-chladič, d-odparka, e-parní kotel s přehřívákem, f-kondenzátor, g-směšovací výměník, i-chladičí věž, j-přehřívák páry,

nv-napájecí voda, o -odluh (solemi zahuštěná voda), k -kondenzát, p -sytá pára, př -přehřátá pára, ch v -chladičí voda, t p -topná pára

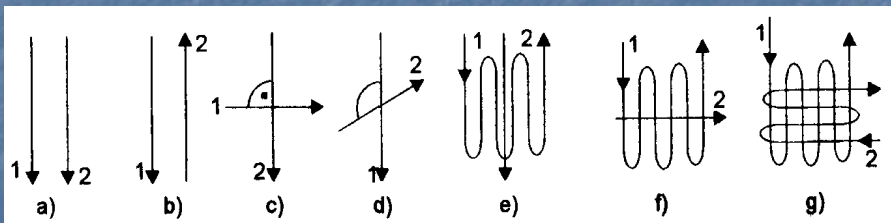
## Typy výměníků

Podle účelu a použití rozeznáváme:

- **ohříváky** - vyznačují se tím, že ohřívané médium v nich zvyšuje svou teplotu, ale nedochází ke změně fáze,
- **chladiče** - ochlazované médium snižuje v nich svou teplotu beze změny fáze,
- **výparníky a odparky** - ohřívané kapalně médium se mění v páru,
- **kondenzátory** - teplejší médium v parní fázi se sráží v kapalnou fázi - kondenzát,
- **přehříváky a mezipřehříváky (přihříváky)** - slouží ke zvyšování teploty syté nebo přehřáté páry,
- **sušárny** - přísunem tepla se dosahuje snížení vlhkosti látky v pevné fázi,
- **termické odplyňovány vody** - parním ohřevem vody k bodu varu dochází k vylučování plynů,
- **topná tělesa ústředního vytápění** - otopné médium ohřívá okolní vzduch.

## Dělení podle proudění ve výměnících

- **souproudé** - směry os proudů ohřívajícího a ohřívajícího média jsou rovnoběžné a vektory rychlostí mají stejný smysl,
- **protiproudé** - směry proudů jsou rovnoběžné a mají opačný smysl,
- **křížové** - osy proudů jsou mimoběžné a v kolmém průmětu spolu svírají úhel  $90^\circ$ ,
- **se šikmým vzájemným proudem** - osy proudů svírají v kolmém průmětu spolu úhel větší nebo menší než  $90^\circ$ ,
- **s kombinovaným prouděním**



a-souproud, b-protiproud, c-křížový proud. d-šikmý proud,  
e až g-kombinované proudění

## Dělení podle konstrukčního řešení

- Podle konstrukčního řešení výhřevné plochy se vyvinuly nejrůznější typy výměníků, z nichž nejčastější jsou:

- bubnové (kotlové),
- deskové,
- trubkové,
- svazkové,
- šroubové,
- hadové,
- žebrové,
- vlásenkové

## Dělení podle kombinace teplotních médií

- Podle kombinace teplotních médií se vyskytují v energetice nejčastěji tyto výměníky:

- voda-voda,
- voda-vzduch
- pára-voda,
- pára-vzduch,
- spaliny-voda,
- spaliny-pára,
- spaliny-vzduch
- spaliny-olej atd.

## Požadavky na výměník

- co nejmenší rozměry, hmotnost a cena výměníku,
  - co nejmenší tlakové ztráty (čerpací práce),
  - co nejvyšší výkon a spolehlivost v provozu.
- } jdou proti sobě  
→ nutná optimalizace

## Používaná teplotní média

- **kapaliny** – voda, nízkovroucí kapaliny (chladiiva), termoolej
- **syťá pára** – vodní, nízkovroucích kapalin (chladiiv)
  - ve výměníku kondenzuje – využívá se skupenské teplo, odvádí se kondenzát
  - ve výměníku se přehřívá – výroba přehřáté páry v kotli
- **plyny** - spaliny, vzduch, přehřátá pára
  - nevýhoda v nízké měrné tepelné kapacitě i tepelné vodivosti a ve špatném součiniteli přestupu tepla
- **tekuté kovy** – Na+K – pro vysoké teploty do 900 °C
  - + vysoká tepelná kapacita, dobrá tepelná vodivost i přestupní součinitel
  - při zchlazení v zařízení ztuhnou a musí se proto při odstavování včas z okruhu vypouštět

# Konstrukce výměníků tepla

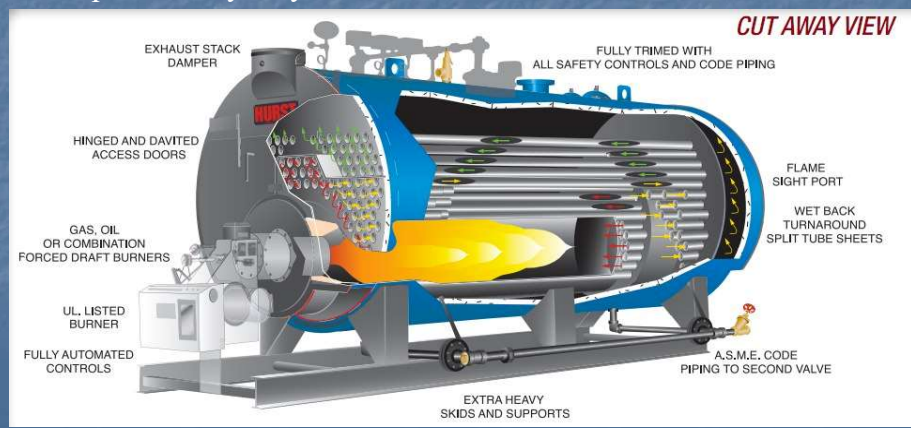
## Výměníky rekuperační

- Pracovní látky jsou odděleny pevnou stěnou, která tvoří výhřevnou plochu výměníku.
- Podle tvaru a provedení této plochy jsou v energetice nejčastější výměníky
  - trubkové,
  - deskové
  - výměníky s žebrovanými povrchy.
- Používají se zde jako
  - vysokotlaké a nízkotlaké ohříváky vody,
  - kondenzátory parních turbín,
  - chladiče kondenzátu,
  - chladiče oleje,
  - ohříváky vzduchu,
  - spalínové výměníky a výhřevné plochy kotlů.

## Dělení kotlů dle konstrukce výhřevných ploch

### Kotle žárotrubné

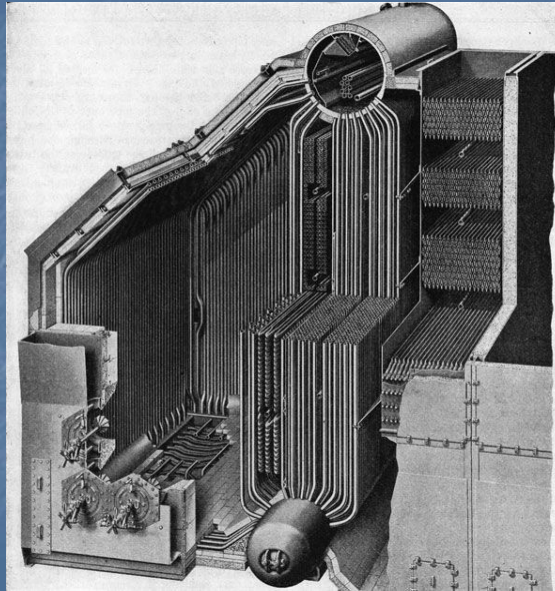
- v trubkách proudí spaliny, vně trubek v plášti je voda
- používají se
  - pro výrobu topné vody nebo syté technologické páry
  - pro nižší výkony – do 20 MWt



## Dělení kotlů dle konstrukce výhřevných ploch

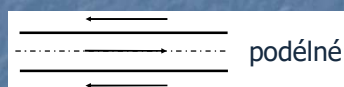
### Kotle vodotrubné

- v trubkách proudí voda/pára, vně trubek spaliny
- z bezešvých trubek se tvarují stěny kotle
- do spalinových tahů se vkládají trubkové svazky
- používají se
  - pro výrobu přehřáté páry s parametry až 600 °C / 30 MPa
  - pro stření až nejvyšší výkony

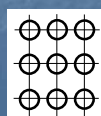


## Výměníky rekuperační trubkové

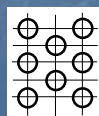
- Z hlediska **skupenství** rozeznáváme výměníky:
  - bez změny skupenství teplotnosných látek,
  - se změnou skupenství jedné teplotnosné látky,
  - se změnou skupenství obou teplotnosných látek.
- Z hlediska **obtékání** trubek rozeznáváme:
  - obtékání křížové (příčné), tj. kolmo na výhřevnou plochu trubek
  - obtékání podélné, tj. rovnoběžně s osou trubek



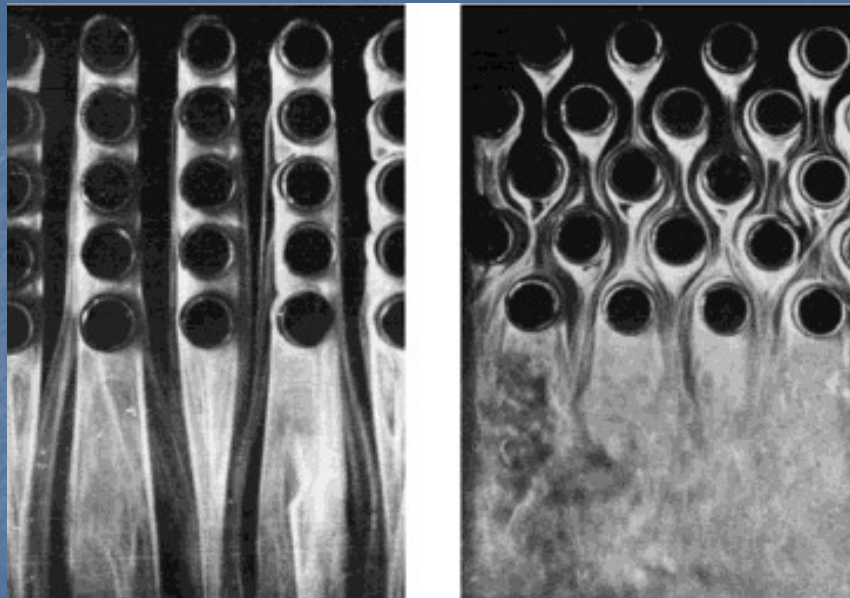
- Z hlediska **uspořádání** příčně obtékaných trubek rozeznáváme:
  - trubky za sebou (v zákrytu)
  - trubky přesazené (vystřídané)



za sebou



vystřídané

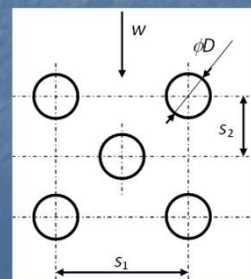


trubky v zákrytu

trubky přesazené

## Svazkové výměníky

- vytvořeny z volných trubek uspořádaných za sebou nebo vystřídaně do trubkového svazku
- trubky mohou být
  - přímé – konce zaválcované nebo zavařené v trubkovnicích
  - hadovitě naohýbané - konce přivařené k rozdělovací a sběrné komoře
- tlak látky vně trubek bývá nízký, vnější stěny jsou rovné
- geometrické provedení svazku je určeno
  - průměrem trubek
  - příčnou roztečí trubek  $s_1$  – kolmá na proud
  - podélnou roztečí trubek  $s_2$  – po proudu
  - počtem trubek v řadě kolmo na proud
  - počtem řad po proudu



## Svazkové výměníky

- užití zejména jako spalinové výměníky – výhřevné plochy vodotrubných kotlů a kotlů na odpadní teplo
  - ohříváky vody, výparníky, přehříváky
  - trubkové ohříváky spalovacího vzduchu
- výhody
  - velmi jednoduchá konstrukce
  - látka v trubkách může mít velmi vysoký tlak – desítky MPa
  - rovnoměrné proudové a teplotní pole
  - dobré využití prostoru
- nevýhody
  - horší přestup tepla u látky v trubkách – nutné volit vyšší rychlost
  - sklon k zanášení prachem v mezitrubkovém prostoru
  - vhodné jen pro beztlaké medium mezi trubkami – při vyšším tlaku je nutné užít plášťový výměník

## Svazkový výměník s trubkami za sebou



## Svazkový výměník s vystřídánými trubkami



## Svazkový výměník

- typické užití
  - výhřevné plochy kotlů - trubkové hady přehříváku před montáží

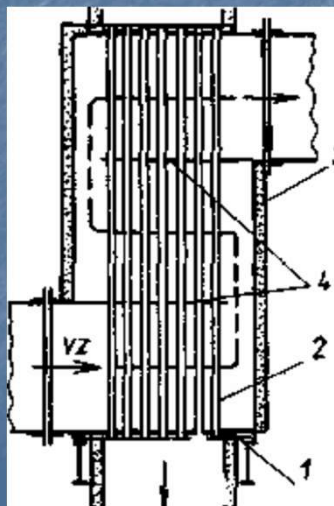


## Svazkový výměník

- typické užití
  - trubkové ohříváky vzduchu – obvykle spaliny v trubkách



1 – trubkovnice, 2 – trubky, 3 – stěna tahu, 4 – obrátové přepážky



## Svazkový výměník

- typické užití
  - kotle na odpadní teplo – kotel do linky na výrobu kyseliny sírové



## Svazkový výměník

- typické užití
  - kotle na odpadní teplo – stejný kotel po výbuchu vodíku



## Svazkové výměníky se žebrovanými povrchy

- Smyslem žebrování je zvětšení teplosměnného povrchu trubek.

Žebrování může být provedeno

- na vnějším
- na vnitřním povrchu

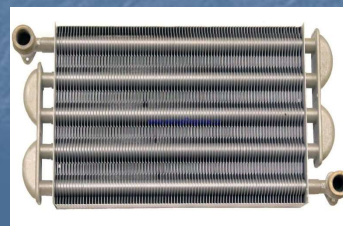
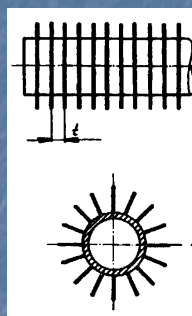
Žebra mohou být

- příčná,
- podélná
- šroubovitě vinutá.

Na trubku mohou být

- navinuta ve formě pásky,
- vyválcována z materiálu trubky,
- odlita
- nalisována

Spojení žeber s trubkou musí být dokonalé, aby nevznikal odpor pro vedení tepla

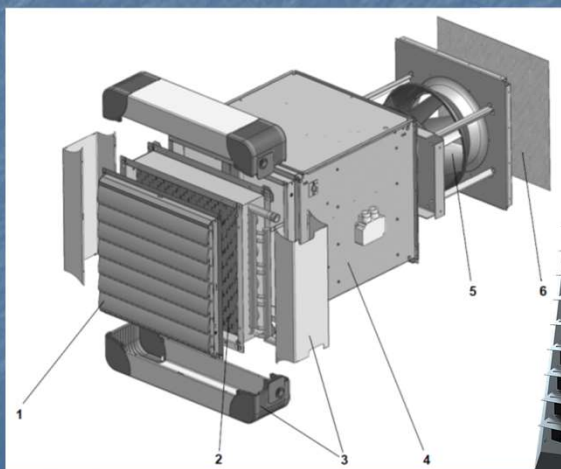


## Pravidla pro použití žebrovaných trubek

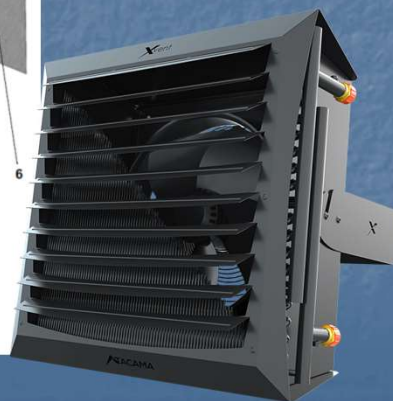
- Žebra lze s výhodou použít u výměníků, které mají výrazně rozdílný součinitel přestupu tepla u pracovních médií.
- Žebra se používají **na straně menšího součinitele přestupu tepla**.
- Je-li součinitel přestupu tepla přibližně stejný na obou stranách, **nemá jednostranné žebrování významný přínos**.
- Žebrováním dochází:
  - ke zvětšení tepelného toku trubkou,
  - ke zvětšení teplosměnného povrchu a zmenšení celkových vnějších rozměrů výměníku
  - ke snížení tlakové ztráty média na straně žeber v důsledku menšího počtu řad trubek i v trubce v důsledku jejího zkrácení

## Výměníky se žebrovanými povrchy

- příklady užití
  - vzduchotechnické aplikace

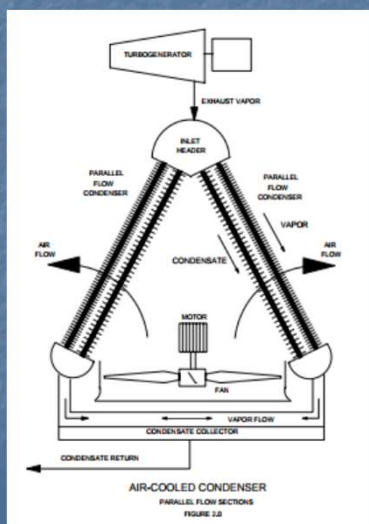


- 1: Výdechová žaluzie
- 2: Výměník tepla
- 3: Opláštění výměníku Comfort
- 4: Skříň ventilátoru se svorkovnicí
- 5: Ventilátor se sací dýzou
- 6: Ochranná mřížka proti dotyku



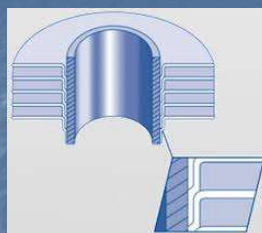
## Výměníky se žebrovanými povrchy

- příklady užití
  - vzduchové kondenzátory a chladiče



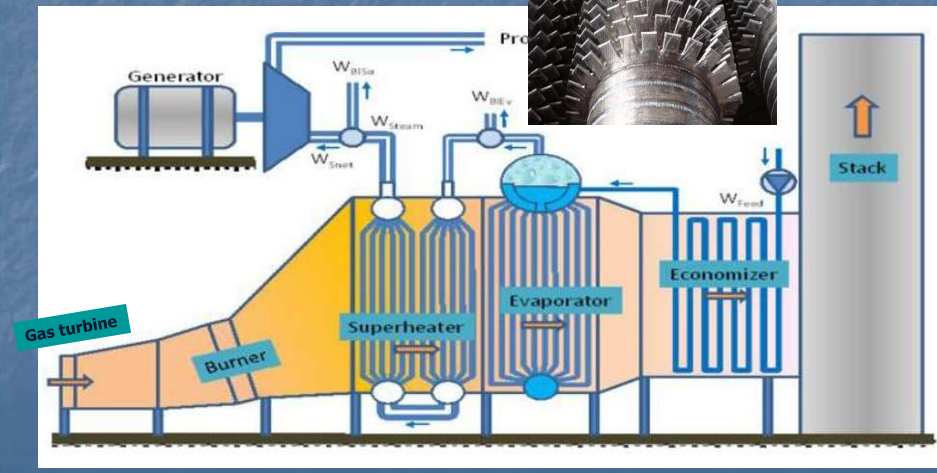
## Výměníky se žebrovanými povrchy

- příklady užití
  - ohříváky vzduchu – parní, teplovodní

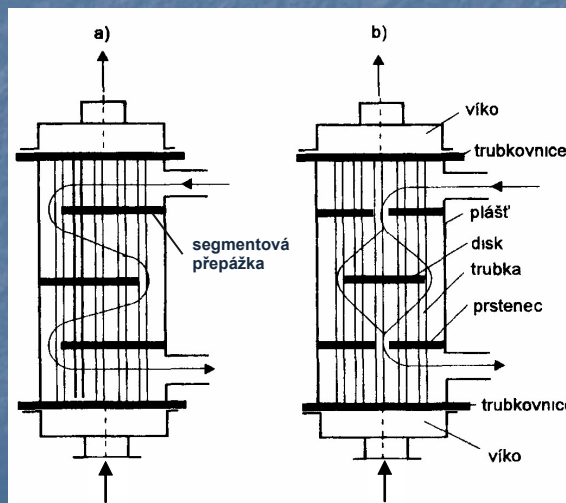


## Výměníky se žebrovanými povrchy

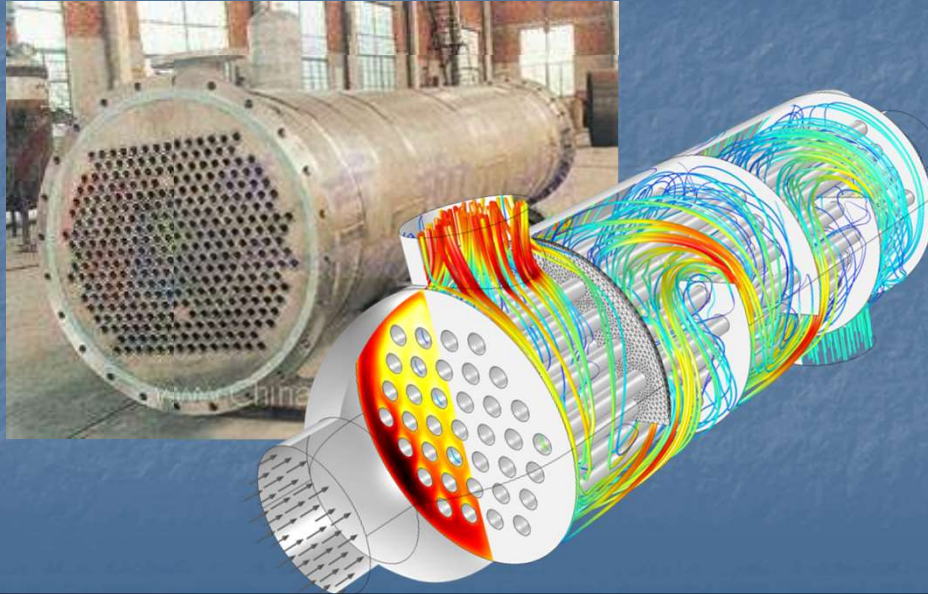
- příklady užití
  - spalínové kotle na plyn či odpadní teplo



Plášťový trubkový výměník tepla s přímými trubkami a přepážkami  
a - segmentovými, b - koncentrickými



## Plášťový trubkový výměník tepla s přímými trubkami a segmentovými přepážkami



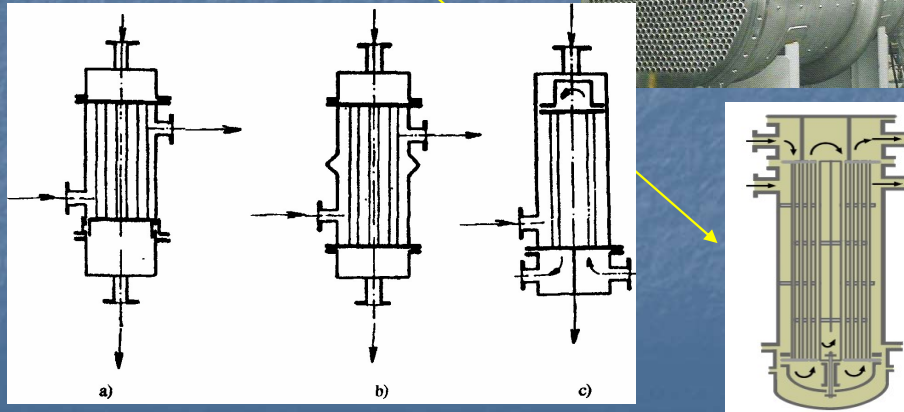
## Plášťový trubkový výměník tepla s přímými trubkami a přepážkami

- přepážky zvyšují přestup tepla v mezitrubkovém prostoru
  - zvyšují rychlost proudění
  - obtékání trubek je částečně příčné
  - přepážky lze vynechat, je-li přestup tepla v mezitrubkovém prostoru dostatečně intenzivní (var, kondenzace)
- velmi široké uplatnění výměníků
  - ohříváky vody
  - výparníky
  - kondenzátory
  - chladiče plynů
  - rekuperační výměníky
- nevýhody plášťových výměníků
  - tlakové namáhání pláště – tlakové médium v trubkách
  - problémy s rozdílnou teplotní dilatací trubek a pláště mezi pevnými trubkovicemi

## Plášťové výměníky pro vyšší rozdíly teplot pracovních látek

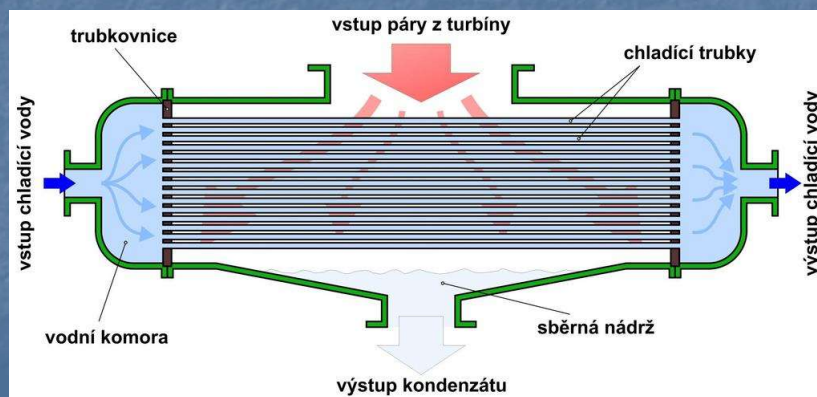
Rozdílná dilatace pláště a trubek se řeší kompenzací:

- s ucpávkou (a),
- pružným zvlněním pláště (b) →
- s plovoucí hlavou (c) →



## Plášťový trubkový výměník tepla s přímými trubkami

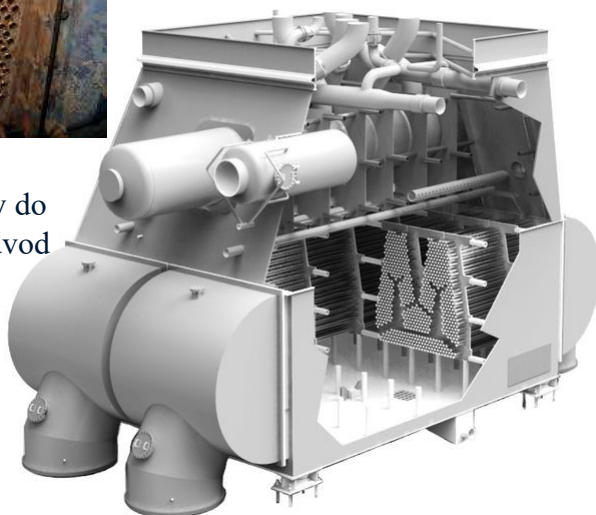
- typické užití
  - kondenzátory parních turbín – chladicí voda v trubkách pára kondenzuje v mezitrubkovém prostoru



## Kondenzátor parní turbíny

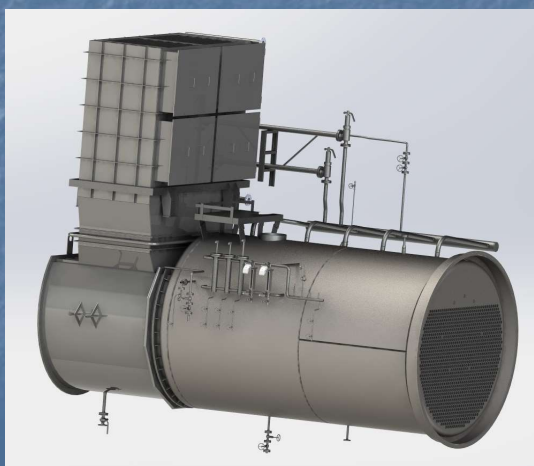


zatrubkování musí umožnit průnik páry do svazku a plynulý odvod kondenzátu



## Plášťový trubkový výměník tepla s přímými trubkami

- typické užití
  - žárotrubné kotle na odpadní teplo – spaliny v trubkách, voda v plášti

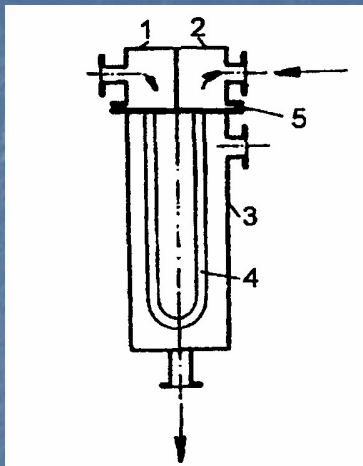


## Vlásenkový výměník s U trubkami

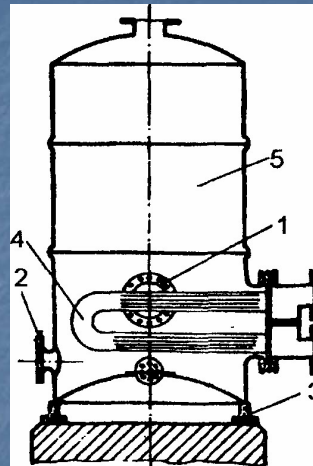
- mají pouze jednu trubkovnici rozdělenou přepážkami na vstupní, výstupní, případně obratovou komoru



## Vlásenkové výměníky s U-trubkami



Vlásenkový výměník s U-trubkami  
1-vstupní komora, 2-výstupní komora,  
3-plášť, 4-výhřevná plocha z  
vlásenkových trubek, 5-trubkovnice



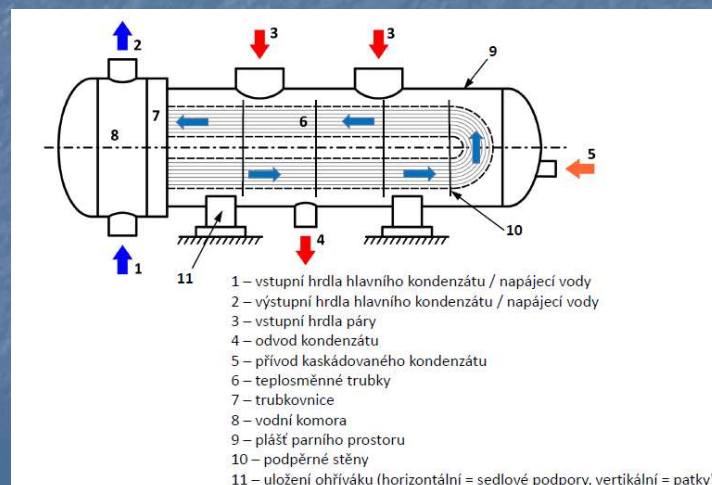
Vertikální bojler - akumulátor  
1-průlez, 2-promývací otvor, 3-litínový  
základový kruh, 4-vlásenkový výměník,  
5-akumulační nádrž

## Vlásokové výměníky s U-trubkami

- K výhodám U-trubek patří:
  - nevznikají problémy s teplotními dilatacemi, neboť trubky se mohou volně roztahovat,
  - používá se trubek velmi malých průřezů a tloušťek,
  - výměníky mají nízkou hmotnost,
  - svazek je kompaktní a dobře využívá prostoru pláště.
- K nevýhodám patří
  - nemožnost mechanického čištění vnitřního povrchu trubek
  - nemožnost výměny poškozené trubky
- Při použití vyšších tlaků narůstá tloušťka trubkovnice až do velikosti 500 mm a výroba trubkovnic již vyžaduje zvláštní tepelné postupy.

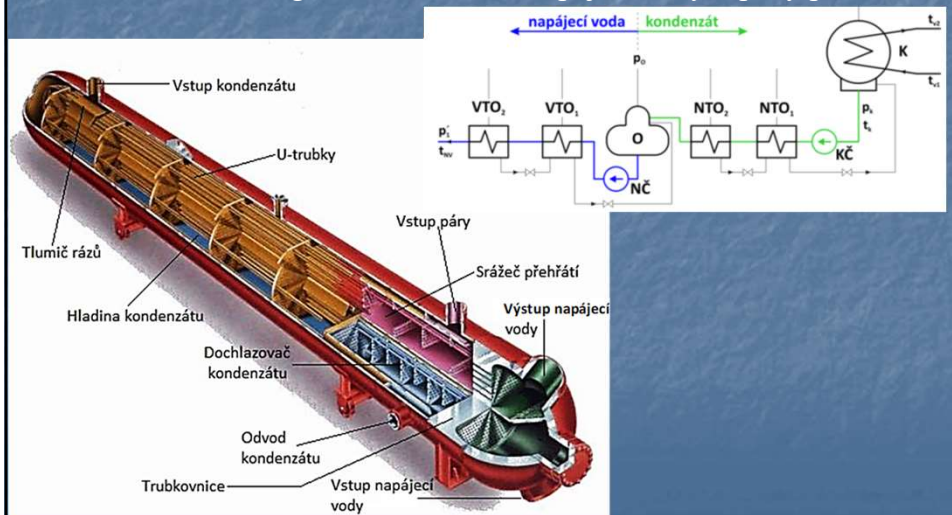
## Vlásokové výměníky s U-trubkami

- příklady užití
  - horizontální ohřívač vody topený parou



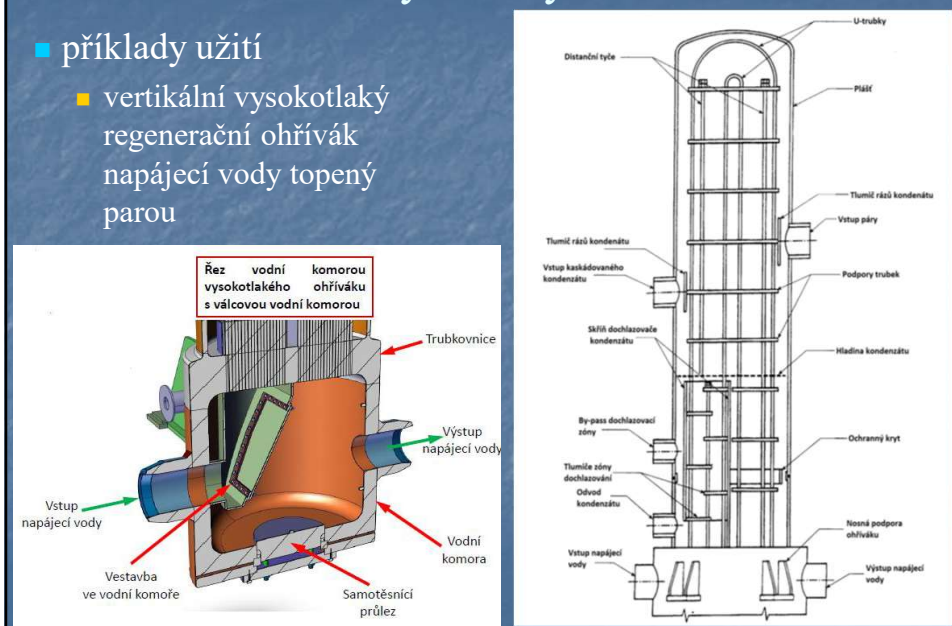
## Vlásenkové výměníky s U-trubkami

- příklady užití
  - horizontální regenerační ohřívák napájecí vody topený parou



## Vlásenkové výměníky s U-trubkami

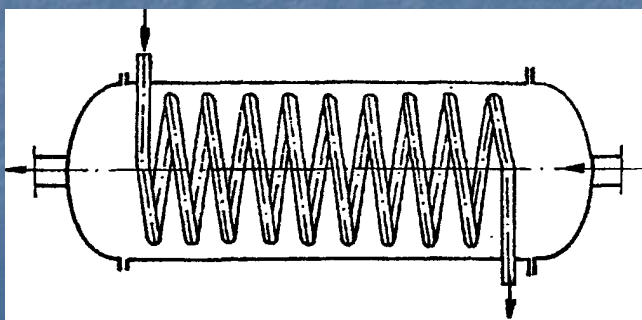
- příklady užití
  - vertikální vysokotlaký regenerační ohřívák napájecí vody topený parou



## Výměníky se šroubovitě vinutými trubkami

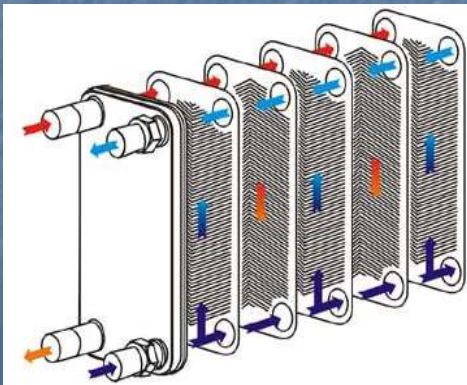
Výhodami těchto výměníků jsou

- jednoduchá výroba
- využití čistého protiproudu při zachování příčného obtékání trubek média na vnější straně
- použití – bojlerů voda-voda

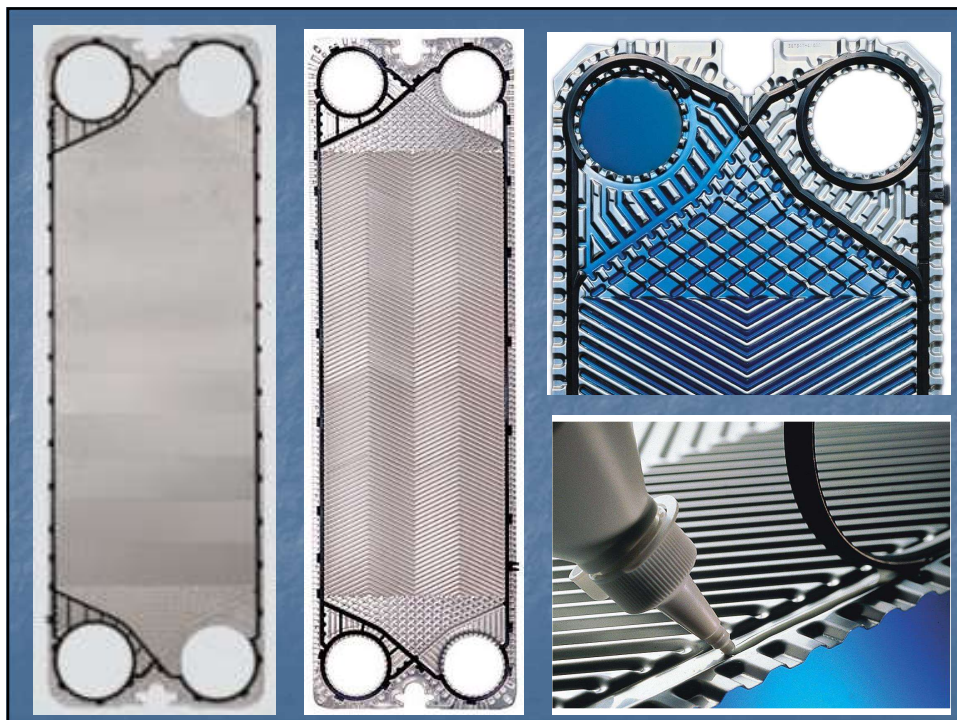
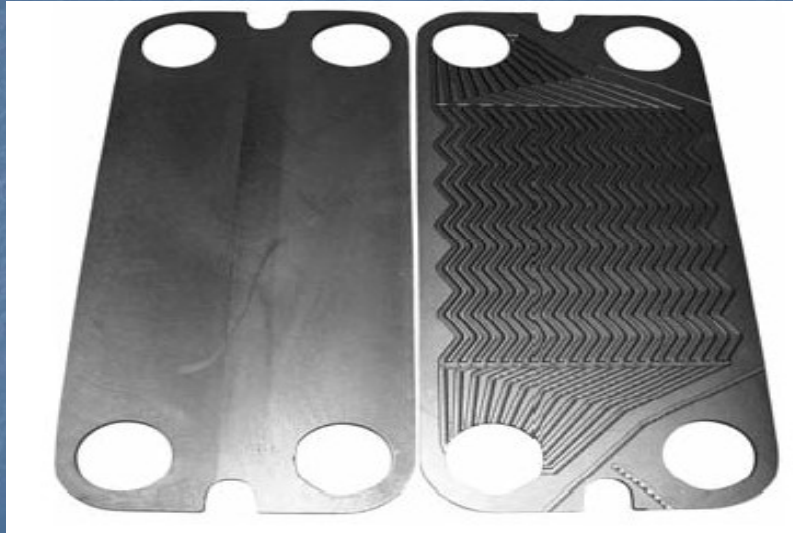


## Rekuperativní výměníky deskové

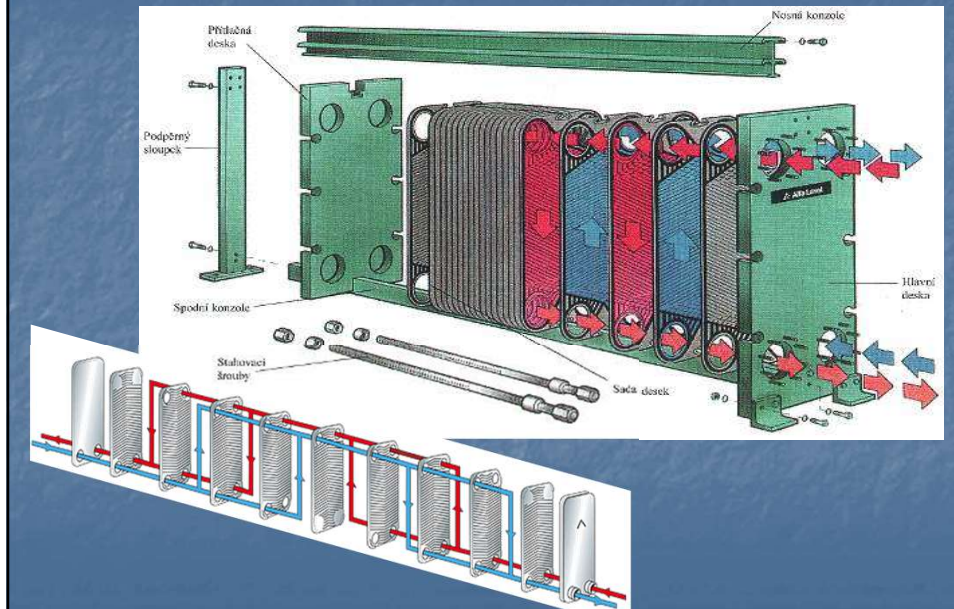
- teplosměnná plocha je vytvořena z tenkých kovových desek, které jsou na sobě pevně přitisknuty přes obvodové těsnění
- desky mají prolisy, které po sesazení desek k sobě vytvoří kanálky
- ochlazované resp. ohřívané médium proudí v kanálcích z přední resp. zadní strany desky v protiproudu



## Rekuperční výměníky deskové



## Rekuperační výměníky deskové



## Rekuperační výměníky deskové

Výhodou deskových výměníků oproti trubkovým je:

- kompaktní řešení schopné přenášet velké výkony
- čistý protiproud
- velká turbulence proudů pracovních látek = intenzivní přestup tepla
- malá tloušťkou stěny a nízká hmotnost
- malé rozměry,
- rozebíratelnost a možnost vyčištění
- u výměníků lze velmi jednoduše zvětšovat výkon přiřazováním dalších unifikovaných desek

Nevýhodu deskových výměníků jsou

- větší tlaková ztráta
- omezení pracovní teploty do 270 °C (dáno použitým těsněním mezi deskami)
- problémy s dosažením těsnosti při větších tlacích
- teplotní a tlakové omezení lze obejít obvodovým svařením desek za cenu ztráty rozebíratelnosti

## Rekuperační výměníky deskové

### Možnosti užití

- průmyslový ohřev, chlazení, rekuperace tepla a kondenzace
- u systémů centrálního zásobování teplem, vytápění, přípravy teplé vody a solárních systémů
- chlazení mléčných výrobků a potravin
- klimatizace a procesní chillery,
- tepelná čerpadla,
- chlazení oleje a paliv,
- hydraulická zařízení, chlazení motorů, vzduchové kompresory a vysoušeče vzduchu
- chladiče spalin a zkapalňování plynů (GTL)

## Rekuperační výměníky deskové

### ■ příklady užití

- okruhy pro ohřev nebo chlazení kapalin



## Rekuperční výměníky deskové

### ■ příklady užití

- chlazení horkých spalin a GTL
- vhodné pro látky s oclišnými objemovými průtoky

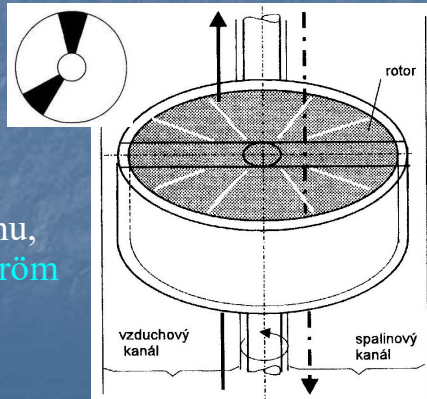


## Výměníky regenerační

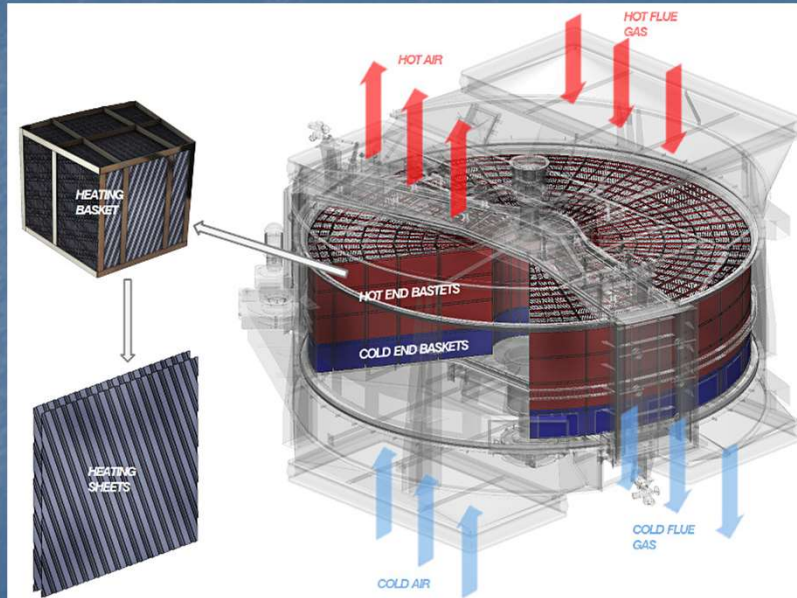
- Přenos tepla se uskutečňuje prostřednictvím pohyblivé nebo nepohyblivé výplně, která funguje jako akumulátor tepla :

1. fáze - teplejší látka předává teplo výplni, která se nahřívá,
2. fáze - v následném čase je toto naakumulované teplo předáváno látce ohřívané.

- Nejrozšířenější aplikací tohoto typu výměníku v energetice je rotační spalinový ohřívák vzduchu, označovaný jako **Ljungström**

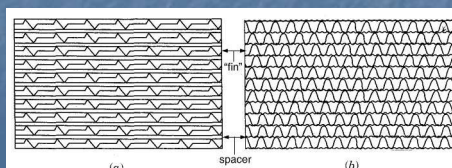


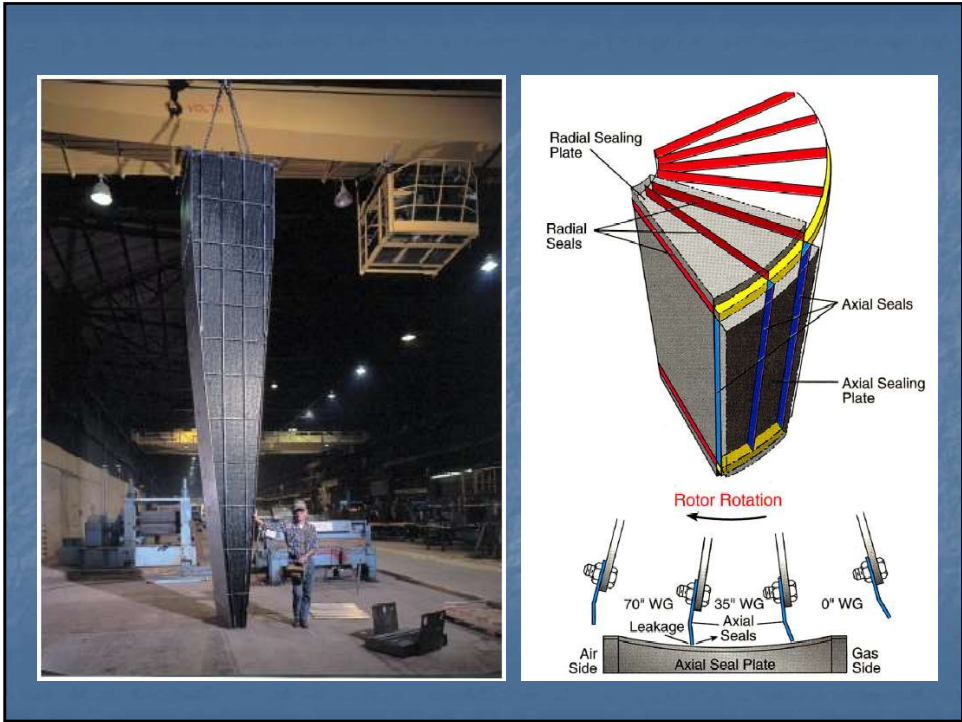
## Konstrukce ohříváku vzduchu typu Ljungström



## Konstrukce ohříváku vzduchu typu Ljungström

- Akumulační hmota je vytvořena z velkého počtu tenkých profilovaných plechů uložených ve 2 až 3 vrstvách v rotoru
- Síla plechu bývá 0,6 - 1,2 mm
- Rotor ohříváku je tuhé svařované konstrukce kruhového tvaru a je rozdělen do několika sektorů, do kterých jsou vloženy akumulací plochy
- Utěsnění rotoru je provedeno pevnými kovovými ucpávkami upevněnými radiálně a axiálně na konstrukci mezi jednotlivými sektory.





## Rekuperační výměníky rotační

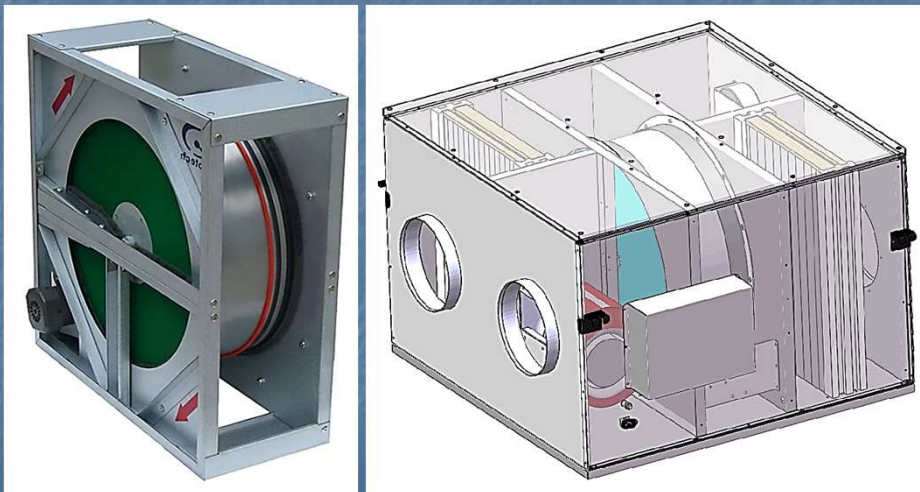
- Příklady užití
  - rekuperátory tepla pro větrací jednotky
- Typy
  - nehygroskopické provedení – tzv. teplotní rotor pouze pro přenos tepla
  - hygroskopické provedení – hliníková fólie je opatřena speciální vrstvou, pro přenos vlhkosti
    - entalpické – při přenosu vlhkosti dochází k částečné kondenzaci
    - sorpční – nedochází ke kondenzaci vodní páry, vysoká účinnost i v letním období
  - epoxidový rotor – pro použití do agresivního prostředí



výhodou je vysoká účinnost až 85 %

## Rekuperační výměníky rotační

- Příklady užití
  - rekuperátory tepla pro větrací jednotky



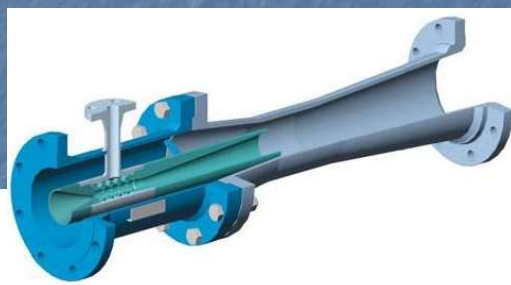
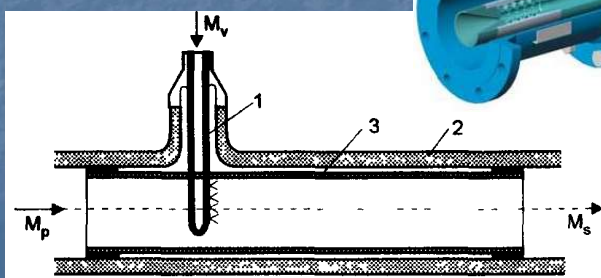
## Výměníky směšovací

- Sdílení tepla zde probíhá přímým stykem obou pracovních látek.
- Teplosměnná plocha ve srovnání s ostatními typy výměníků zde neexistuje
- Výměník pracuje s nulovým koncovým teplotním spádem
- V energetice se těchto výměníků používá nejčastěji pro:
  - vstřík vody do páry za účelem chlazení,
  - přímý ohřev vody parou za účelem jejího odplynění
  - chladicí okruh parních turbín – mokrá chladicí věž

## Vstříkový chladič páry

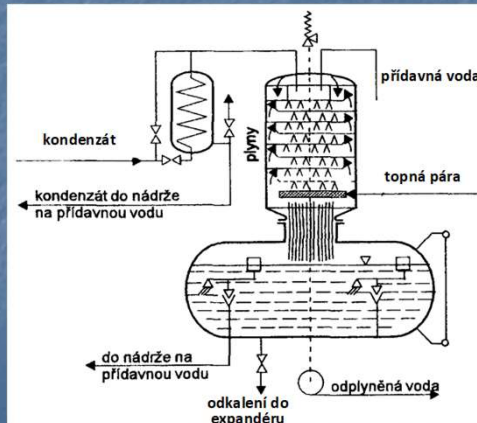
- k regulaci teploty přehřáté páry u kotle se nejčastěji používá vstřík napájecí vody do páry.
- regulace je jednostranná (pouze snižuje teplotu přehřáté páry z kotle)
- množství vstříkované vody je automaticky regulováno

1-trubka s rozstříkovacími otvory,  
2-základní parní potrubí,  
3-vnitřní vestavba



## Nízkotlaký odplyňovák vody

- je řazen v systému ohřevu napájecí vody parních kotlů
- ohřevem vody na mez sytosti dojde k uvolnění plynů rozpuštěných ve vodě
- pro ohřev vody se používá nízkotlaká pára (např. z odběru turbíny), která se přivádí proti proudu rozstříkované vody nebo do vodního prostoru odplyňováku
- při její kondenzaci se uvolňuje skupenské teplo, které ohřívá vodu

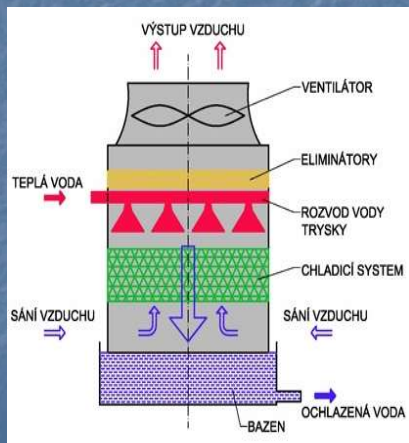


## Nízkotlaký odplyňovák vody

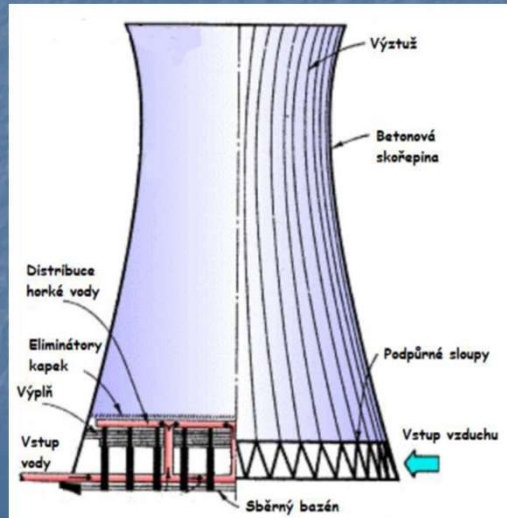


# Mokrý chladič věž

s nuceným tahem



s přirozeným tahem



# Mokrý chladič věž

s nuceným tahem

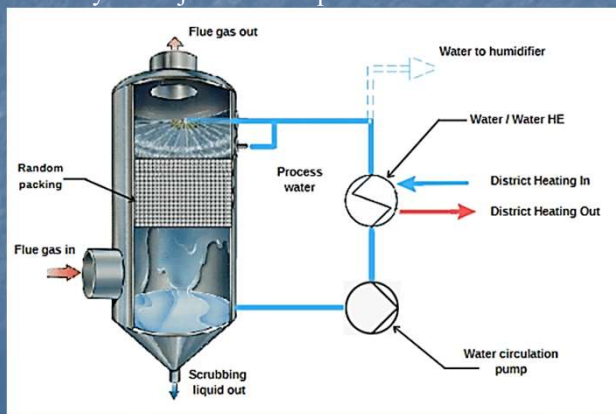
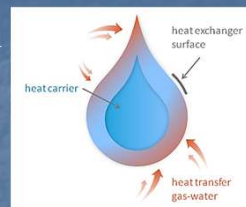


s přirozeným tahem



## Sprchový spalinový kondenzátor

- slouží k dochlazení spalin za kotlem na biomasu pod teplotu rosného bodu
- získané teplo se přivádí do sprchové vody a z ní ve výměníku do CZT
- při sprchování se ze spalin zachytí i část TZL
- nevýhodou je nutnost odpouštění a čištění kondenzátu



## Provoz výměníků tepla

Hlavními provozními problémy výměníků jsou:

- zanášení výhřevných ploch,
- koroze výhřevných ploch,
- abraze výhřevných ploch.
- kritickým důsledkem je **ztráta těsnosti** pracovních látek

**Zanášení** je usazování různých materiálů - solí, korozních produktů a pevných látek z teplotných látek na výhřevnou plochu výměníku

- tepelná vodivost nánosů bývá podle druhu nánosů malá v rozmezí 0,5 - 2 W/m<sup>2</sup>K – brání přestupu tepla a snižují výkon výměníku
- nánosy mohou být na obou stranách pracovních látek
- zanášení lze ovlivnit:
  - u vody její úpravou, tj. snížením koncentrace solí a odplyněním,
  - mechanickým nebo chemickým odstraňováním úsad.

## Provoz výměníků tepla

### Koroze

- ze strany **vody** se vyskytují především na straně **teplé užitkové vody**:
  - způsobeny kyslíkem, případně oxidem uhličitým.
  - napadení je většinou důlkové
  - intenzita se značně zvyšuje přítomností inkrustací a sedimentů
  - rozsah napadení závisí:
    - na chemickém složení vody, zejména koncentraci  $O_2$ ,  $CO_2$ , Ca, Mg,  $HCO_3$ , chloridů a síranů.
    - na použitých materiálech výhřevných ploch a plášťů výměníku.
- na straně **spalin** u kotlových výměníků závisí
  - na druhu a složení spalovaného paliva
  - na provozní teplotě
  - povrchová teplota kovu trubky musí být nad rosným bodem spalin, jinak hrozí tzv. **nízkoteplotní koroze**
  - hlavními prostředky proti nízkoteplotním korozím jsou:
    - optimalizace spalovacího režimu,
    - udržení teploty povrchu trubek nad rosným bodem,
    - používání odolných materiálů, dávkování aditiv do paliva.

## Provoz výměníků tepla

**Abrase** (otěr) výhřevných ploch je charakteristická pro proudění spalin obsahujících pevné částice.

- Částice způsobují na straně spalin úbytek materiálu a v konečné fázi vedou k netěsnostem - typické u ohříváků vody v kotlích na tuhá paliva.
- Prevence je možná:
  - snížením rychlosti spalin, neboť úbytek materiálu abrazí je přibližně úměrný rychlosti spalin  $w_s^3$ ,
  - konstrukčními úpravami v podobě pasivních ochran trubek.

Kromě těchto uvedených hlavních příčin poruch výměníků tepla přicházejí ještě v úvahu:

- vady svarů a materiálu,
- eroze vodou v důsledku kondenzační fáze v páře,
- únavové porušení trubek v důsledku vibrací svazku trubek,
- kavitační poškození,
- netěsnosti v vadném zaválcování v trubkovnicích,
- kvalita těsnění u deskových výměníků tepla aj.

## Ochrana trubek svazku proti abrazi

