

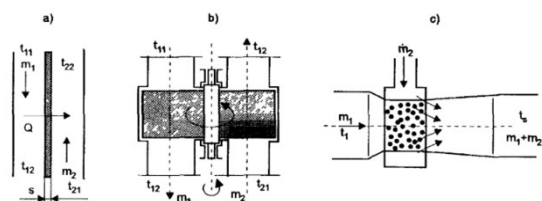
## VÝMĚNÍKY TEPLA A KOTLE

doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.

## VÝMĚNÍKY TEPLA V ENERGETICE

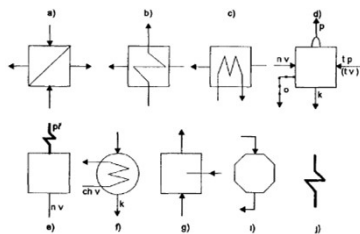
### Funkce, rozdělení, typy

- 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 - ohřívání 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 - ohřívání a ochlazování 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-chladič věž, j-přehřívák páry,  
nv-napájecí voda, o -odluh (solemi zahuštěná voda), k - kondenzát, p -syťá pára, př -přehřátá pára, ch v -chladič voda, t -topná pára

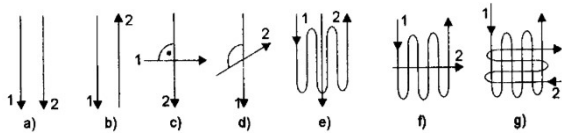
### Typy výměníků

Podle účelu a použití rozeznáváme:

- ohříváky - vyznačují se tím, že ohřívání médium v nich zvyšuje svou teplotu, ale nedochází ke změně fáze,
- chladiče - ochlazování médium snižuje v nich svou teplotu bez změny fáze,
- výparníky a odparky - ohřívání kapalného 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 syťé nebo přehřáté páry,
- sušárny - přísunem tepla se dosahuje snížení vlhkosti látky v pevné fázi,
- termické odplyňovačky vody - parním ohřevem vody k bodu varu dochází k vylučování pohlcených plynů,
- topná tělesa ústředního vytápění - otopné médium ohřívá okolní vzduch.

### Dělení podle proudění ve výměnících

- souproudé - směry os proudů ohřívajícího a ohřivaného 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 (chladiva), termooleje
- sytá pára – vodní, nízkovroucích kapalin (chladiv)
  - ve výměníku kondenzuje – odvádí se kondenzát
- 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  $900^\circ\text{C}$ 
  - + 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,
  - spalínové výměníky a výhřevné plochy kotlů
  - ohříváky vzduchu a jiné.

### Výměníky rekuperační trubkové

- Z hlediska skupenství rozeznáváme výměníky:
  - bez změny skupenství teplotních látek,
  - se změnou skupenství jedné teplotní látky,
  - se změnou skupenství obou teplotních látek.

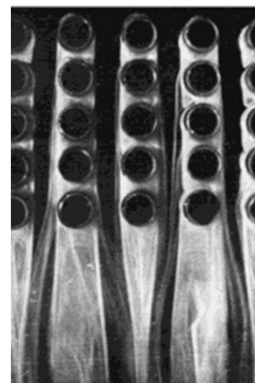
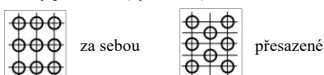
- Z hlediska obtékání trubek rozeznáváme:

- obtékání příčné, tj. kolmo na výhřevnou plochu trubek
- obtékání podélné, tj. rovnoběžně s osou trubek

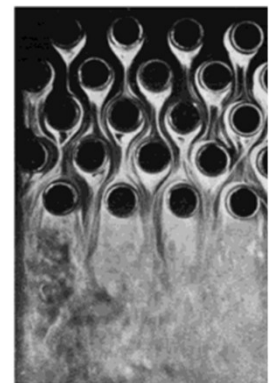


- Z hlediska uspořádání příčně obtékaných trubek rozeznáváme:

- trubky za sebou (v zákrytu)
- trubky přesazené (vystřídávané)

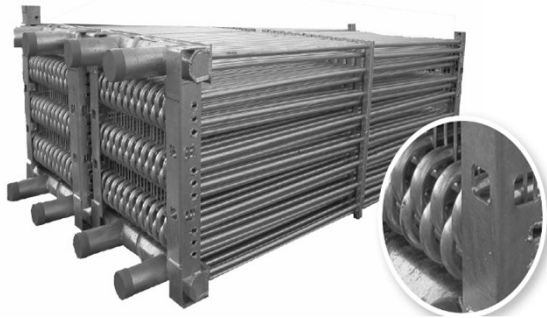


trubky v zákrytu

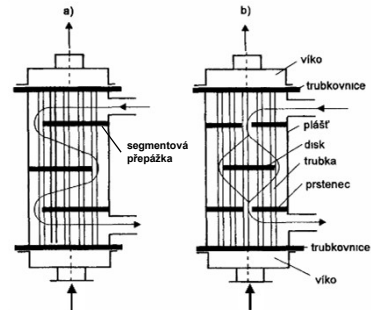


trubky přesazené

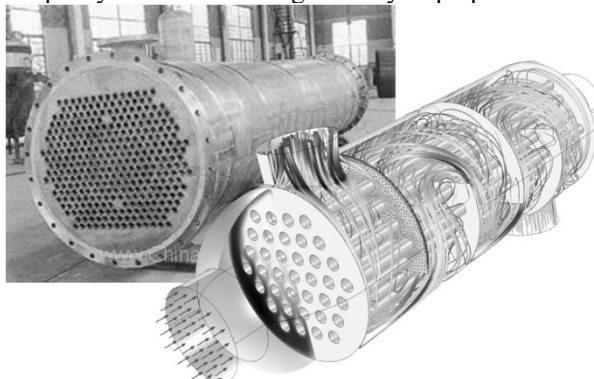
### Svazkový výměník s vystřídánými trubkami



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



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



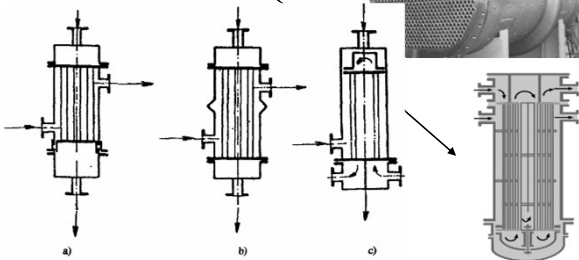
### Plášťový trubkový výměník tepla s přímými trubkami a přepážkami

- 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 musí být v trubkách
  - problémy s rozdílnou teplotní dilatací trubek a pláště mezi pevnými trubkovicemi

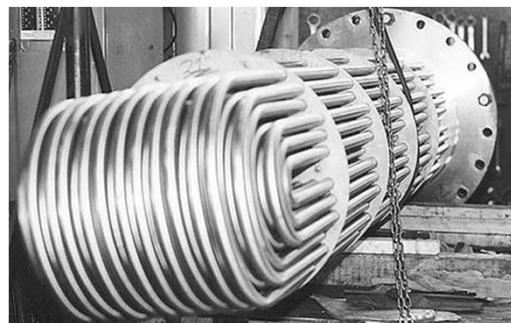
### Plášťové výměníky pro vyšší rozdíly teplot pracovních látek

Rozdílná dilatace pláště a trubek se řeší kompenzací:

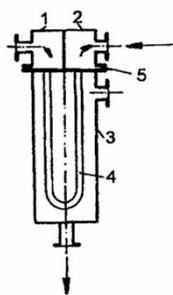
- s ucpávkou (a),
- pružným zvlněním pláště (b) →
- s plovoucí hlavou (c)



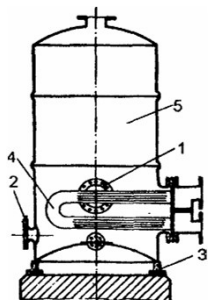
### Vlášenkový výměník s U trubkami



### Vlášenkové výměníky s U-trubkami



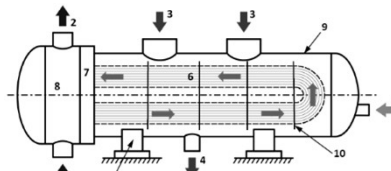
**Vlášenkový výměník s U-trubkami**  
1-vstupní komora, 2-výstupní komora, 3-plášť, 4-výhřevná plocha z vlášenkových trubek, 5-trubkovnice



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

### Vlášenkové výměníky s U-trubkami

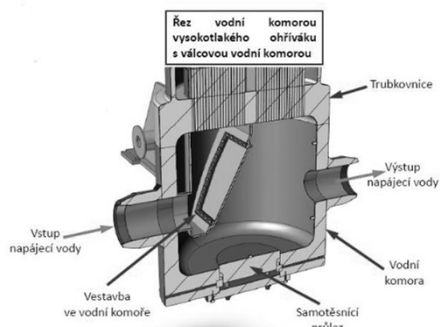
- horizontální ohřívák vody topený parou



1 – vstupní hrdla hlavního kondenzátu / napájecí vody  
2 – výstupní hrdla hlavního kondenzátu / napájecí vody  
3 – vstupní hrdla páry  
4 – odvod kondenzátu  
5 – přívod kaskádovaného kondenzátu  
6 – teplosměnné trubky  
7 – trubkovnice  
8 – vodní komora  
9 – plášť parního prostoru  
10 – podpěrné stěny  
11 – uložení ohříváku (horizontální = sedlové podpory, vertikální = patky)

### Vlášenkové výměníky s U-trubkami

- vertikální vysokotlaký ohřívák vody



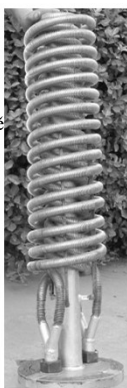
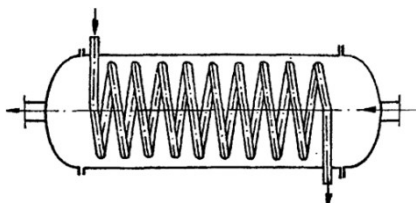
### Vlášenkové výměníky s U-trubkami

- K výhodám U-trubek patří:
  - nevznikají problémy s teplotními dilatacemi, neboť trubky se mohou volně roztahovat,
  - používá se trubek velmi malých průřezů a tlouštěk,
  - 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.

### Výměníky se šroubovitě vintými trubkami

Výhodami těchto výměníků jsou

- jednoduchá výroba
- využití čistého protiproudu při zachování příčného obtékání trubek média na vnější straně



### Výměníky se žebrovanými povrchy

- Smyslem žebrování je zvětšení teplosměnného povrchu trubek.

Žebrování může být uskutečněno

- na vnějším
- na vnitřním povrchu

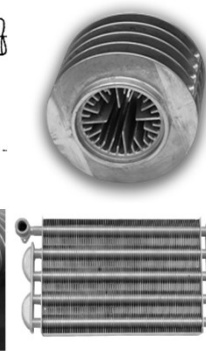
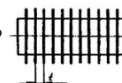
Žebra mohou být

- příčná,
- podélná
- šroubovitě vintá.

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

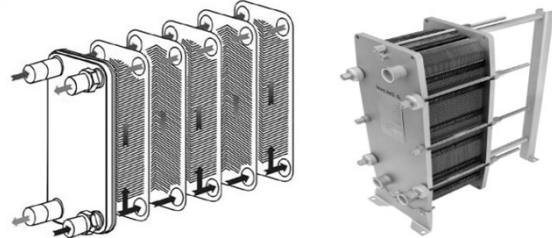


### Pravidla pro použití žebrovaných trubek

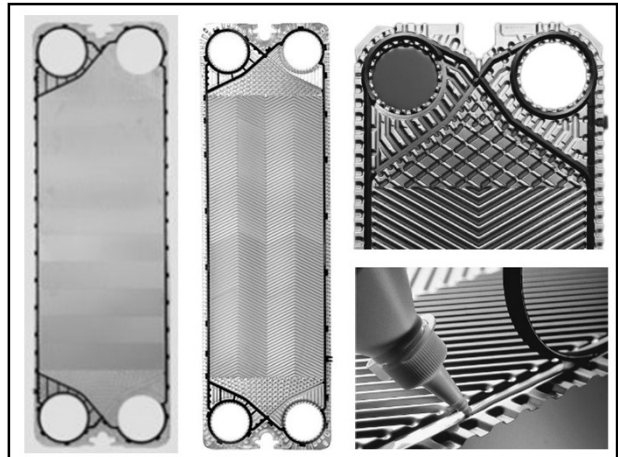
- Žebra lze s výhodou použít u výměníků, které mají výrazně rozdílný součinitel přestupu tepla u pracovních médií.
- Žebra se používají na straně menšího součinitele přestupu tepla.
- Je-li součinitel přestupu tepla přibližně stejný na obou stranách, nemá žebrování smysl.
- Žebrováním dochází:
  - ke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

### Rekupační výměníky deskové

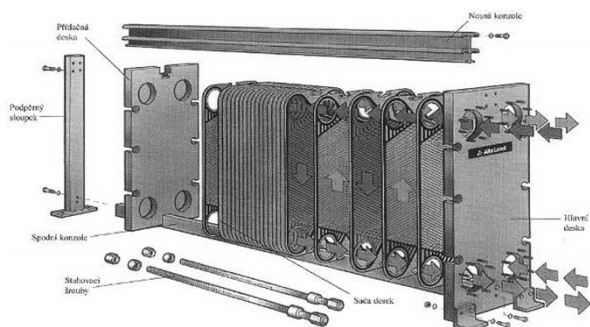
- teplosměnná plocha je vytvořena z tenkých kovových desek, které jsou na sobě pevně přitisknuty přes obvodové těsnění
- desky mají prolisy, které po sesazení desek k sobě vytvoří kanálky
- ochlazované resp. ohřívané médium proudí v kanálcích z přední resp. zadní strany desky v protiproudu



### Rekupační výměníky deskové



### Rekupační výměníky deskové



### Rekupační 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

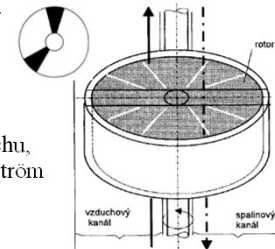
Nevýhodu deskových výměníků jsou

- 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

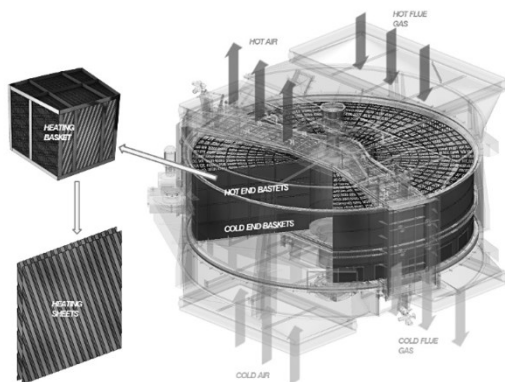


## Výměníky regenerační

- 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 spalínový ohřívák vzduchu, označovaný jako Ljungström

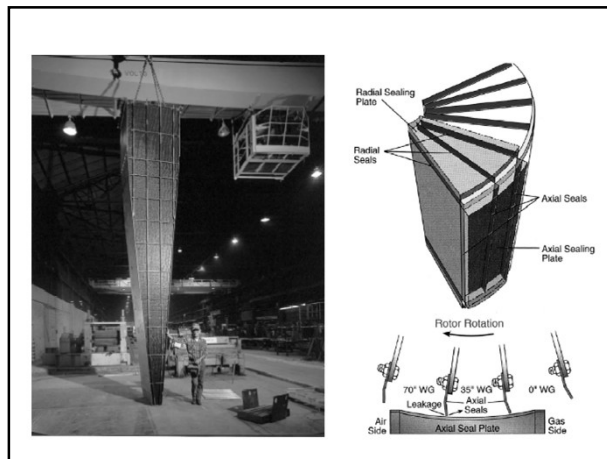
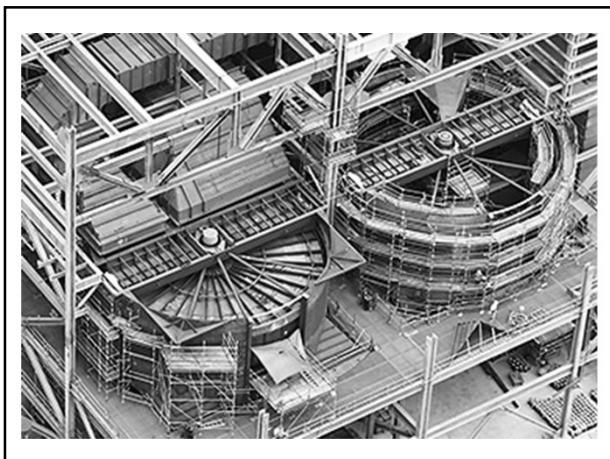
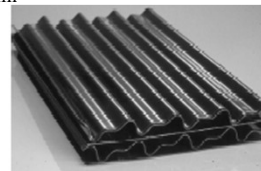
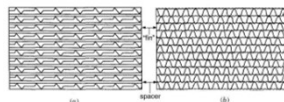


## Konstrukce ohříváku vzduchu typu Ljungström



## 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 akumulční plochy
- Utěsnění rotoru je provedeno pevnými kovovými ucpávkami upevněnými radiálně a axiálně na konstrukci mezi jednotlivými sektory.



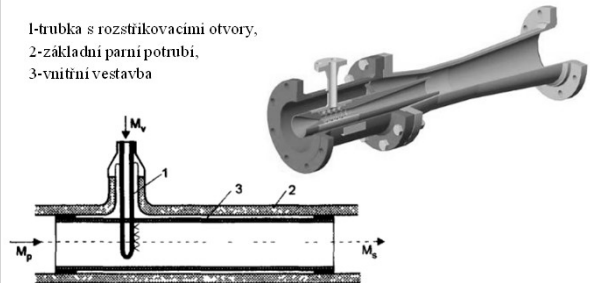
## Výměníky směšovací

- 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.

## Vstříkový chladič páry

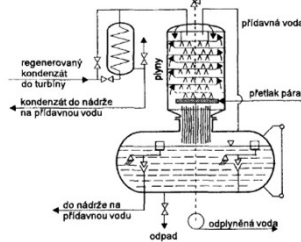
- k regulaci teploty přehřáté páry u kotle se nejčastěji používá vstřík napájecí vody do páry.
- regulace je jednostranná (pouze snižuje teplotu přehřáté páry z kotle)
- množství vstříkované vody je automaticky regulováno

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



## Nízkotlaký odplyňovák vody

- je řazen v systému regeneračního 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



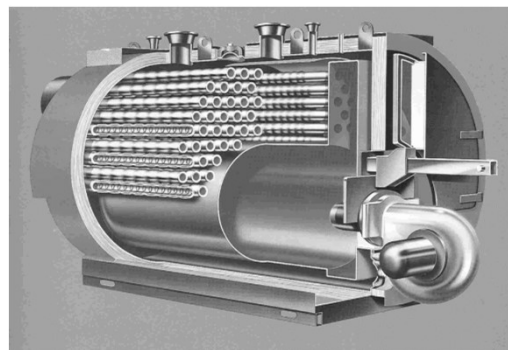
## Nízkotlaký odplyňovák vody



## Kotel

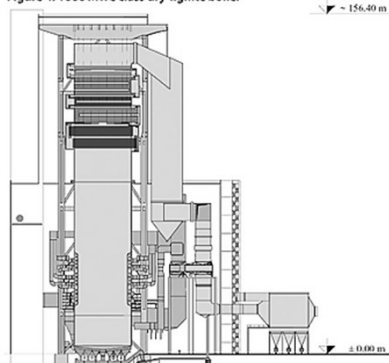
- je tvořen
  - spalovacím zařízením
  - systémem výměníků, jejichž úkolem je převést teplo ze spalín získaných spálením paliva do pracovní látky (vody, páry, vzduchu, oleje ...)
- soustava výměníků parního kotle sestává z
  - ohříváku napájecí vody,
  - výpamíku,
  - přehříváku a přihříváku
- nazýváme ji tlakový systém kotle
- tlakový systém bývá doplněn o ohřívák spalovacího vzduchu, který je zařazen jako poslední po proudu spalín

## Kotel teplovodní s přetlakovým hořákem o výkonu 50 kW do 12 MW

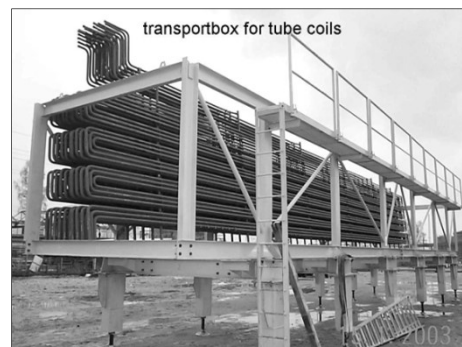


## Elektrárenská parní kotel

Figure 4. 1000 MWe class dry-lignite boiler



## Trubkový svazek



## Trubkový svazek



## Deskový přehřívák



## Deskový přehřívák



## Provoz výměníků tepla

Hlavními provozními problémy výměníků jsou:

- zanášení výhřevných ploch,
- koroze výhřevných ploch,
- abrazie 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 ochranných 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

