

ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICCE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

Spalování paliv - Kotle

Ing. Jan Andreovský Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Výměníková část kotlů

- **Pevnostní dimenzování, bezpečnost**

- Výměník je zařízení, které slouží k předávání tepelné energie pomocí proudících teplotných médií. V prostředí kotle se jedná o tlakovou část, jejíž dimenzování podléhá přísné pevnostní a bezpečnostní analýze (většinou určenou státní normou). Jakékoliv poškození má za důsledek minimálně odstavení kotle. Dimenze výměníků je volena s ohledem na účinnost přenosu tepla, s ohledem na ztráty a s ohledem na spolehlivost. Hlavní technologie výroby je svařování, případně kování a jako materiál se používají kvalitní legované oceli.
- Jednou ze základních ochranných tlakových celků jsou pojistné ventily, které zajišťují nepřekročení namáhání tlakových částí z hlediska tlakové úrovně. Proto největší zatížení tlakové části je při najíždění kotle, při překročení teplot nebo při rychlých změnách provozních stavů. Pevnostní meze jsou dále posouvány např. narušením materiálu z hlediska koroze atd. Obvyklá konstrukční životnost kotle se plánuje na 20 let. V úvahu je nutné vzít i vlastní tíhy zařízení a náplně kotle.
- Z hlediska bezpečnosti se rozlišují tři druhy – bezpečnost pevnostní, bezpečnost teplotní a bezpečnost časová.

- **Vliv hlavních parametrů kotle na tlakové celky (výměníky)**

- Při běžném provozu kotle dochází ke kolísání teplot, jedná se o změny rychlé i pomalé. Především rychlé změny vyvolávají nestacionární pnutí v tlakových celcích. Pomalé ohřevy z praktického hlediska ovlivňují tzv. tečení materiálu s tím že vždy je více nepříznivý ohřev nahoru. Kromě trendu středního teploty má i vliv průběh ohřevu.
- Stacionární pnutí - teplotová pnutí vznikají vždy, když je místo vystaveno toku tepla, vznikne dilatace. Napětí je v oblasti tečení (po čase odezní) např. zatížení trubek membrány. Při odstavení kotle vzroste ale s opačnými vektory napětí

Kotle – Výměníková část kotlů

- **Vliv hlavních parametrů kotle na tlakové celky (výměníky)**
 - Náhlé změny se většinou neprojevují po celé tloušťce ale jen povrchově. Opět záleží na průběhu resp. skoku změn a zatížení se podrobuje analýze při návrhu tzv. přípustnou rychlostí teplotní změny stěny. Největší zohlednění je u tlustostěnných nádob (bubny separátory atd.).
- **Výparník**
 - Výparník je zařízení kde se z napájecí vody kotle tvoří sytá pára. Podle tlaku a teploty se předává ve výparníku cca 30 až 70% tepla v kotli. Většinou vyšší hodnoty předaného tepla jsou u nižších tlaků a tlaků (cca 4Mpa a 400°C). Výparník je pouze u parních kotlů.
 - Funkční částí jsou trubky tzv. varnice, kde se předává teplo k odpaření. Časté je využití stěn kotle jako části výparníku tzv. membránové stěny. Součástí může být i buben, zavodňovací trubky atd. Ve výparníku se musí vyrobit pára v množství odpovídající výkonu kotle.
 - Ve výparníku nastává dvoufázové proudění – velmi složité jevy závislé na tlacích, hmotnostech, teplotách atd. Musí být zajištěn trvalý přítok vody a trvalý průtok parovodní směsi systémem tak aby docházelo k optimálnímu předání tepla. Zajištění průtoku, pohybu je nuceným oběhem (čerpadlem) nebo přirozeně (termosifónový účinek)
 - Při nucených průtocích výparníkem je třeba dbát na potlačení problémů s nestabilitou proudění v paralelně řazených varnicích, mezitrubkové pulzace, nerovnoměrnosti rozdělení směsi.
 - Trubky výparníků se provádějí holé, otrněné a omazané, s praporky. Řešení trubek výparníku je v tzv. registrech – jednotlivé ucelené sekce.

Kotle – Výměníková část kotlů

- **Buben**

- U velkoprostorových kotlů tvořil buben rozdělovací plochu mezi párou a vodou a podle rozhraní se reguloval výkon kotle. Strmotrubné kotle již tvoří spojenci mezi varnicemi a spádovkami a je umístován mimo průtahy a ohniště. Do bubnu vede i napájení a z bubnu odluh kotle. Jeho funkce je dnes v pohotovostní zásobě vody v kotli a čištění páry. Regulace od hladiny v bubnu je taktéž používána. K bubnu je připojen manometr a vodoznak, spojovací potrubí pro pojistné ventily a odvzdušnění. Průtočné kotle jsou vybaveny pouze odlučovákem vlhkosti (částečná funkce bubnu).
- Součástí bubnu je zařízení k čištění páry, které zajišťuje vyšší procento technicky čisté páry na turbínu (vyčištěno od kotelní vody, solí, nečistot). Čištění je možné mechanické (separátory), cyklóny, odlučováky. Rozpuštěné soli se odlučují praním páry.

- **Přehřívák**

- Zajišťuje přehřátí vyrobené páry a snižuje vlhkost páry po expanzi v turbíně. Přehřátím páry se zvyšuje účinnost cyklu a je jednoznačná tendence na její neustálé zvyšování. Výstupní teplota se u elektrárenských bloků obvykle pohybuje v oblasti 530 – 540°C, nadkritické bloky cca 650°C. Opět je kladen důraz na stabilitu teploty, v případě kolísání je zatěžován výměník a dále může dojít k změně vymezených vůlí na turbíně. Přehříváky se z konstrukčních důvodů většinou řeší jako vícedílné s případnou regulací páry, jednotlivé díly obsahují sběrače. U velkých jednotek se dále využívá paralelního dělení. Provozně je výstupní teplota z přehříváku citlivá na parní výkon, tlak a teplotu napájecí vody a provozní změny ohniště. Přehříváky se realizují ve třech konstrukčních provedeních – svazkové, deskové (šoty) a stěnové. Svazkový je umístěn mimo ohniště,

Kotle – Výměníková část kotlů

- **Přihřívák**

- Zajišťuje opětovné přihřátí již částečně expandované páry. Provádí se teplem ze spalin, nebo teplem z ostré páry. Přihříváním se zlepšuje účinnost tepelného cyklu tzv. carnotizace a omezuje se expanze do oblasti mokré páry.

- **Ohřívák vody**

- Slouží k ohřevu napájecí vody, snížení teploty spalin a zvýšení účinnosti kotle (ekonomizér). V současnosti vlivem zvyšování parametrů vstupní vody se posunuly i provozní teploty ekonomizéru a pro dostatečné dochlazení spalin se dále využívá ohřívák vzduchu.

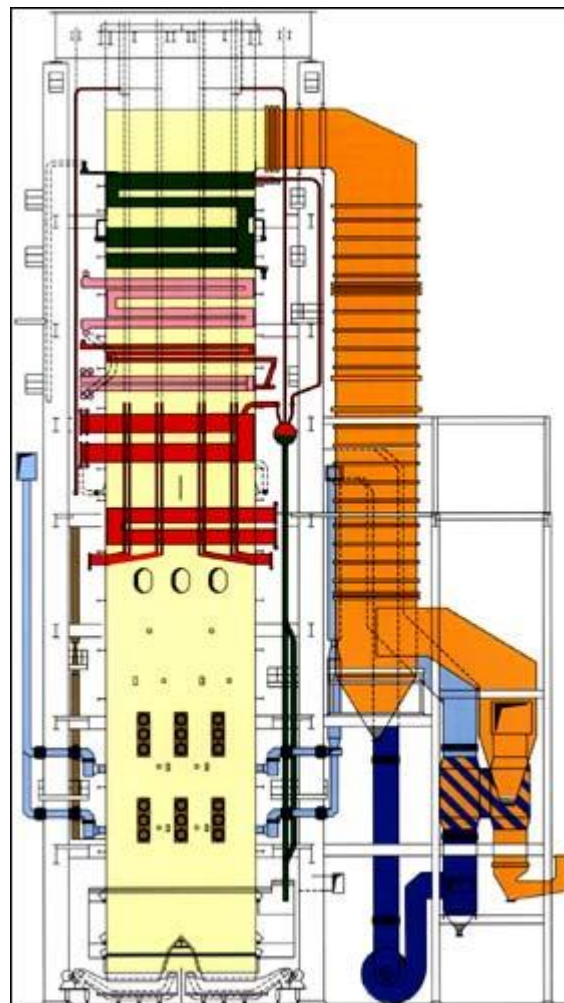
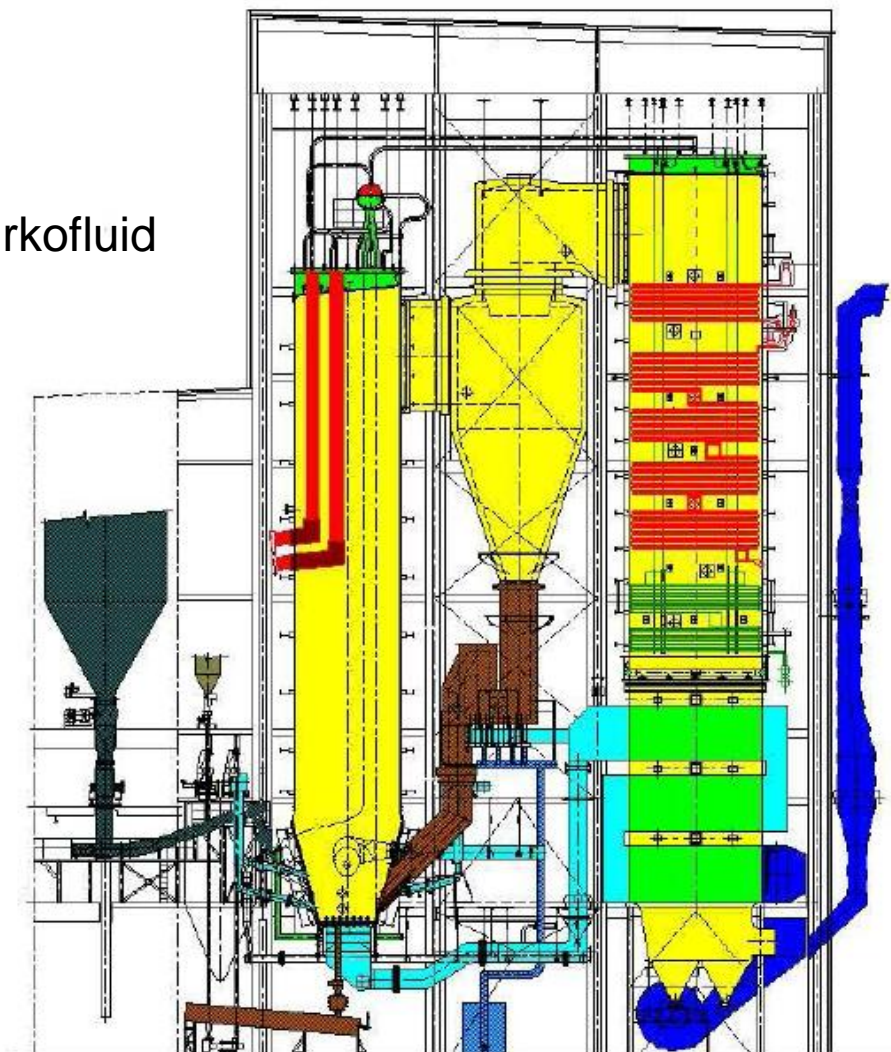
- **Ohřívák vzduchu**

- Slouží k urychlení sušení paliv, snížení komínové ztráty, zlepšení vzněcování a hoření paliva, zvýšení spalovací teploty ohništi.

Kotle – Výměníková část kotlů

- Konstrukční typová řešení

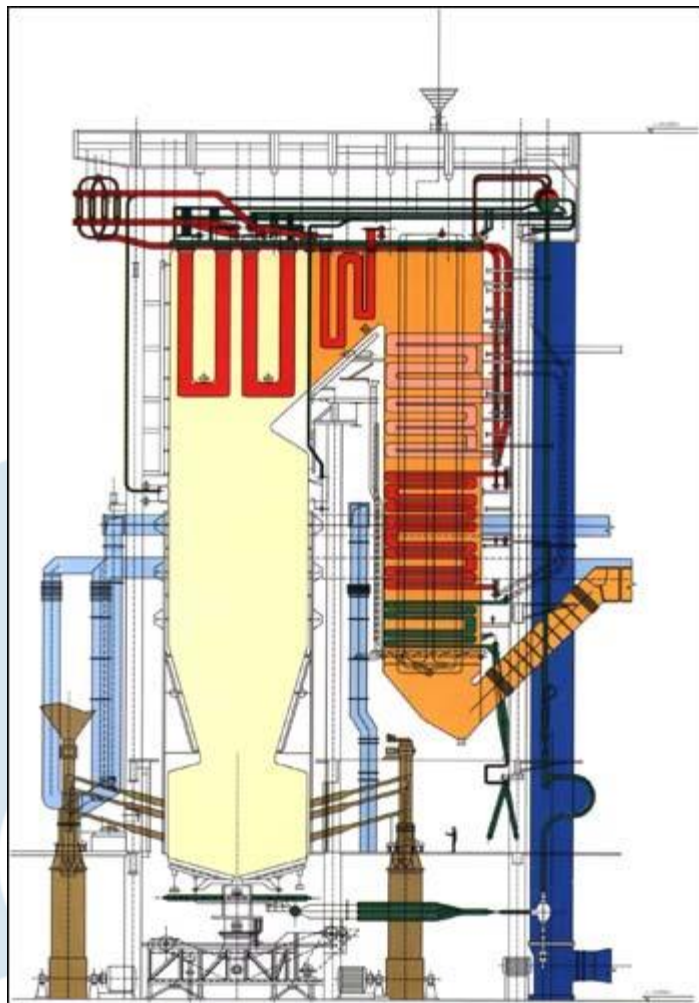
Cirkofluid



Práškový
kotel

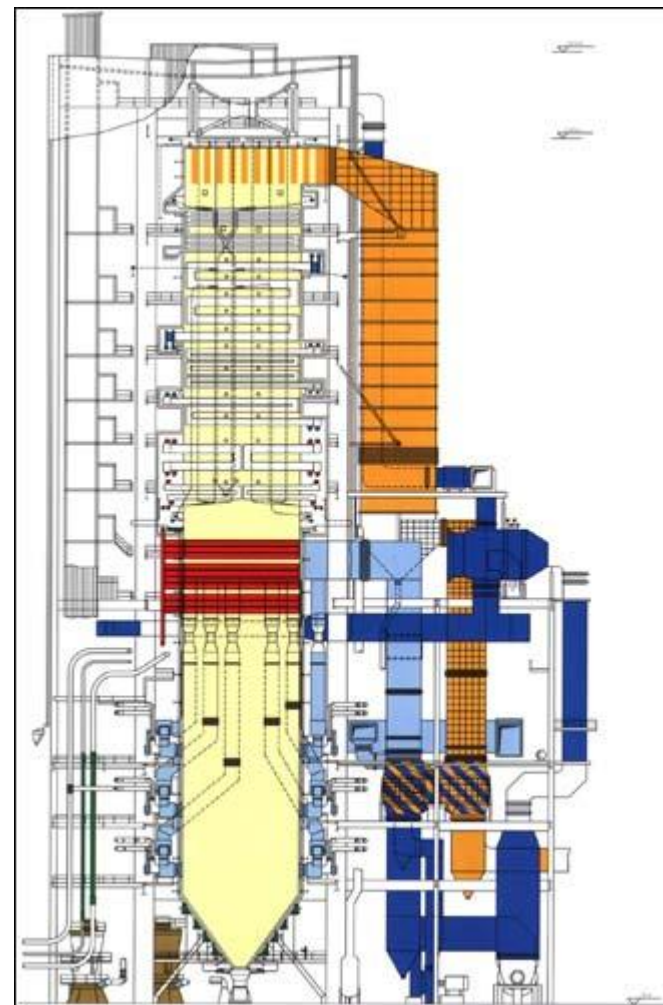
Kotle – Výměníková část kotlů

- Konstrukční typová řešení



Práškový kotel

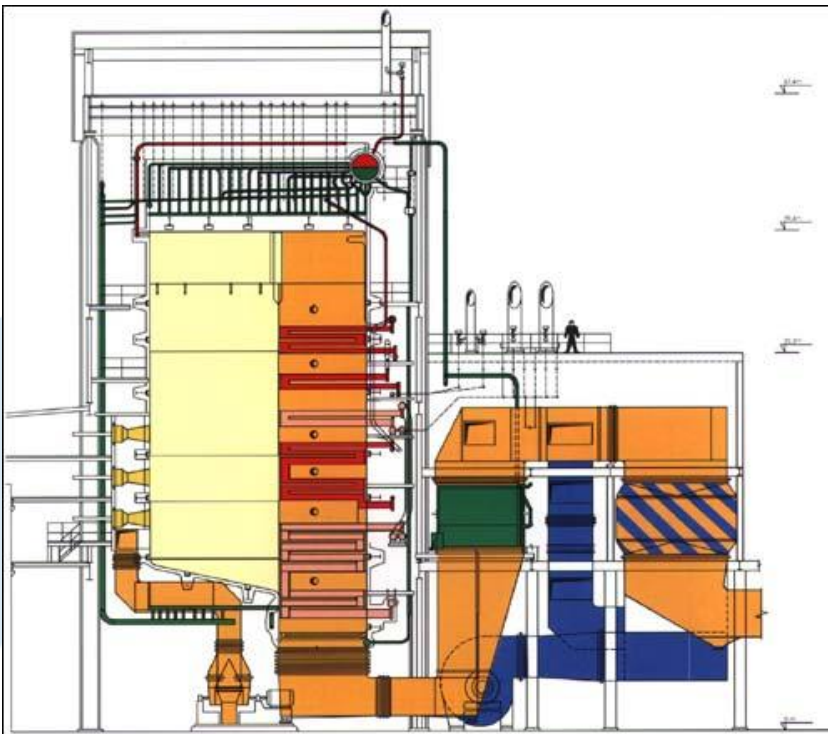
Práškový kotel



Kotle – Výměníková část kotlů

- Konstrukční typová řešení

Plynový kotel



Plynový kotel



Kotle – Výměníková část kotlů

- **Armatura kotle a bezpečnostní prvky**

- **Hrubá armatura kotle** – zařízení ke kontrole a regulaci spalovacího zařízení tj. např. okénka, expanzní klapky, průlezy, hradítka, klapky, ofukovače apod. (Nesouvisí s výměňkovou částí)
- **Jemná armatura kotle** – zařízení pro připojování, přepojování a odpojování vodního a parního potrubí kotle, přístroje a zařízení pro kontrolu tlakové části kotelního agregátu. Dále to jsou zákonem předepsané orgány k zajištění bezpečného provozu a zařízení obsluhy pro zvýšení bezpečnosti a hospodárnosti provozu. K zákonem předepsané jemné armatuře kotle patří:
 - Nejméně dva pojistné ventily
 - Nejméně dva přímé vodoznaky (u bubnových kotlů)
 - Manometr se závitem pro připojení kontrolního manometru (měří tlak ve varném systému)
 - Zařízení zajišťující spolehlivé napájení
- **Pojistný ventil** – zamezuje překročení nejvyššího dovoleného pracovního tlaku. bubnový kotel musí mít nejméně dva pojistné ventily a v případě že je přehřívák neoddělitelně spojen s parním kotlem rozdělují se výkonnosti 75% výkonnost na kotli a 25% na přehříváku. Průtočný kotel má instalovaný pojistný ventil na přehříváku. Ventily se nastavují kaskádovitě.
- **Vodoznaky** – umožňují sledování hladiny v bubnu
- **Přívod napájecí vody** – je sestaven z uzavíracího orgánu, zpětné klapky a regulačního ventilu.
- **Další výzbroj** – odvzdušňovací ventily, hlavní uzávěr, vypouštěcí ventily, odkalovací ventil, odlouhovací ventil, teploměry atd.

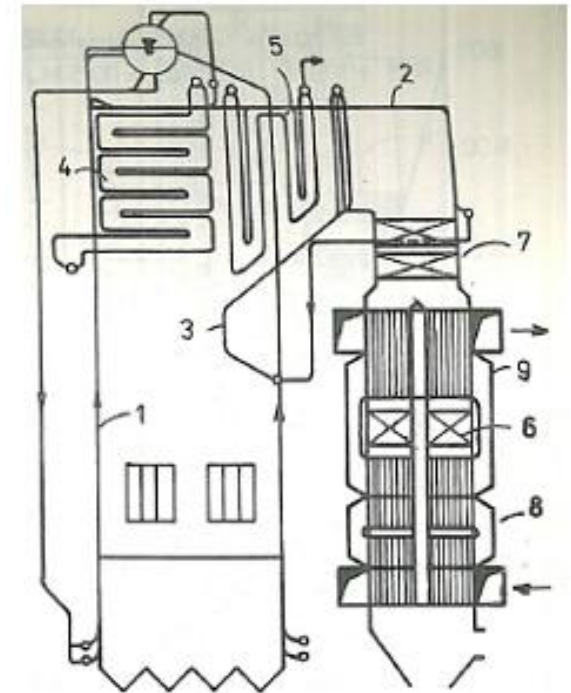
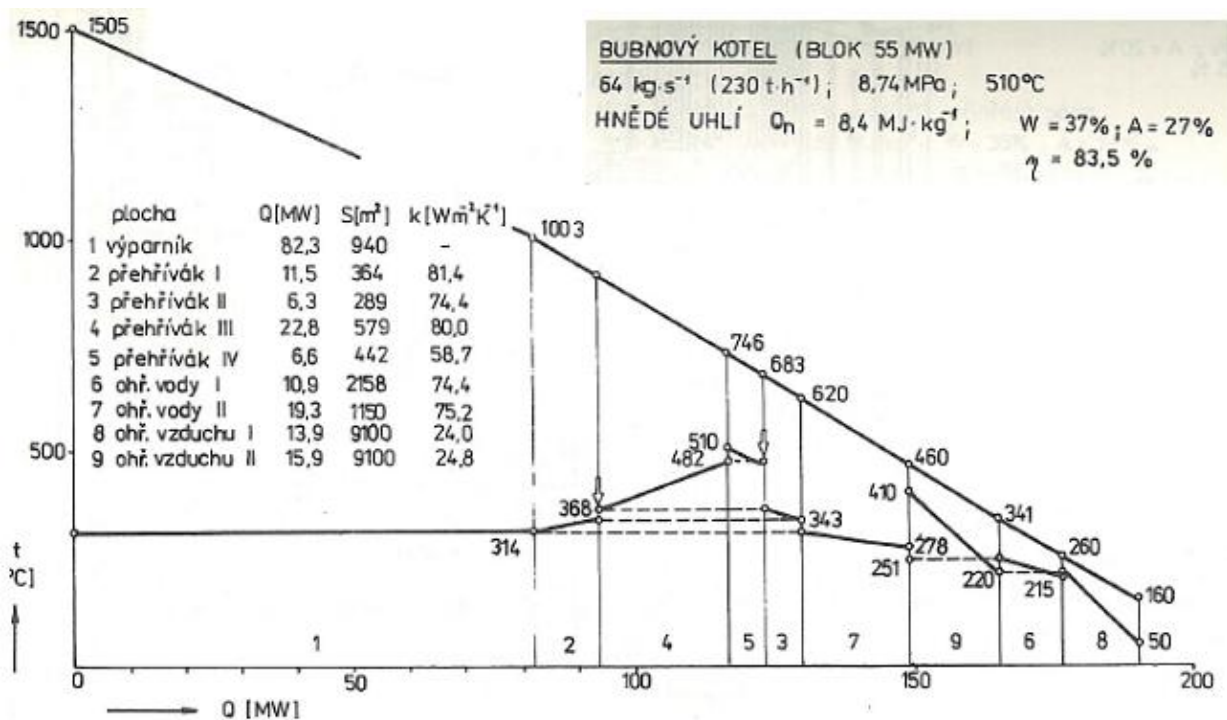
Kotle – Výměníková část kotlů

- **Souhrn**
- Pevnostní dimenzování, bezpečnost
- Vliv hlavních parametrů kotle na tlakové celky (výměníky)
- Výparník
- Buben
- Přehřívák
- Další výměníky
- Konstrukční typová řešení
- Armatura kotle a bezpečnostní prvky



Kotle – Významné vazby konstrukčních řešení a návrhů

- **Tepelné schéma** – resp. teplotní schéma je vytvořeno při návrhu kotle nebo při bilančním ověření kotle. Zobrazuje teplotní průběh a děje v kotli na straně spalin i na straně voda/pára. Zároveň zobrazuje řazení výměnkových ploch a podává informaci o jednotlivých odběrech tepla v daném úseku kotle.



Kotle – Významné vazby konstrukčních řešení a návrhů

- **Aerodynamika kotle** – určuje ztráty a odpory v jednotlivých částech kotle, průběh rychlostí spalin (svázáno s přestupem tepla a dynamikou kotle), poskytuje informaci pro dimenzování kanálů a ventilátorů. Speciálním aerodynamickým případem je pak tlaková ztráta fluidní vrstvy, která je hlavním regulovanou veličinou spalovacího procesu fluidních kotlů.
- **Hydraulika kotle** – určuje ztráty a odpory v jednotlivých částech výměníků kotle na vodním a parním okruhu, průběh rychlostí spalin (svázáno s přestupem tepla a dynamikou kotle), poskytuje informaci pro dimenzování výměníků, jejich průtočných rozměrů. Speciální úlohou hydrodynamiky kotle jsou dělené paralelní výměňkové skupiny např. sekce výparníků, kde je nutné zajistit vhodné hydraulické poměry – rovnoměrnost průtoku a vývoje parní směsi, zamezení vzniku pulzací bublin (ovlivňování propojených systémů) zániky průtoku v jednotlivých větvích atd. Průtokové rychlosti jdou důležité i pro vhodné zajištění předání tepla v jednotlivých provozních režimech. Uvedené parametry mají přímý vliv na účinnost stabilitu a výkon kotle. Hydraulika řeší jednofázové a dvoufázové proudění.
- **Konstrukční materiály** – materiály použité na stavbě, rekonstrukci a údržbě kotle musí odpovídat svými vlastnostmi požadavkům na spolehlivý a bezpečný provoz. Materiál jsou většinou při stavbě navrženy přímo projektantem/zhotovitelem a k jednotlivým částem jsou pak dodávány materiálové listy a program kontroly jakosti dodaných materiálů, ale i provedení a dodržení technologických postupů (např. svařovacím inspektorem).

Kotle – Významné vazby konstrukčních řešení a návrhů

- **Konstrukční materiály** – V souladu s pevnostním návrhem je při volbě materiálů je vždy brán zřetel na použitou technologii s tím, že dominantní technologická operace je svařování a tím je zúžena oblast výběru konstrukčních materiálů.
- Oceli na plechy do cca 350°C – bubny, plechy ohříváku vzduchu atd. – dobrá svařitelnost, obrobitelnost a vysoká mez průtahu, dobrá tepelná vodivost, odolnost ke krátkodobým špičkám napětí.
- Oceli na trubky – převážné použití bezešvých trubek tj. výměníky atd. Švové trubky používané např. na propojovací potrubí nebo na trubkové ohříváky vzduchu.
- Keramické materiály – použití u vyzdívky, klenby kotlů jako izolační materiál. Obezdívky se určují a kontrolují na žáruvzdornost. Obezdívky mají mít dostatečnou roztažnost, vhodný tepelný odpor, abrazivzdornost a odolnost proti chemickým vlivům.
- Izolační materiály – vláknité, lité, dusané, sypané