

## Práškové ohniště

je charakterizováno spalováním v letu  
=> vyžaduje velmi jemné palivo ve formě prášku => typicky uhlí

- tříděné uhlí má povrch 1 až 2 m<sup>2</sup>/kg, potřebná doba vyhoření na roštu je 15 až 20 minut
- namletím uhlí na jemný prášek se zvýší jeho reakční povrch 600 až 1000 x  
=> spalování proběhne tolikrát rychleji
- uhelný prášek má povrch 100 až 2000 m<sup>2</sup>/kg, doba vyhoření v letu je 0,5 až 2 sekundy

1

1

## Výkon práškových ohnišť

- roštová ohniště dovolují stavět kotle s maximálním jmenovitým parním výkonem 80 až 100 t/h (250 t/h)
- u práškových kotlů mezního jmenovitého výkonu nebylo dosud dosaženo dnešní maximum přes 4 000 t/h (blok 1300 MWe)

2

2

## Příprava paliva ke spalování

- sušení
  - mletí
  - třídění
- ⇒ je nákladnější než u jiných způsobů spalování  
⇒ až 85% popela odchází jako jemný popílek  
⇒ usazuje se v kotli a zanášá výhřevné plochy  
⇒ způsobuje jejich abrasi  
⇒ odlučuje se ze spalin za kotlem  
⇒ problémy s ukládáním

3

3

## Dva typy práškových ohnišť

dělení podle způsobu odvodu tuhých zbytků

- granulační
  - nižší teploty v SK
  - teplota popelovin pod teplotou tečení
  - odvod ve formě škváry
- výtavné
  - vyšší teploty v SK
  - teplota popelovin nad teplotou tečení
  - odvod ve formě strusky
  - dnes málo používané – vysoká emise NO<sub>x</sub>

4

4

## Velikost a tvar ohniště z hlediska spalování

při návrhu se musí zohlednit 2 hlavní funkce

- uvolňování tepla co nejdokonalejším spalováním – zohledňuje se
  - středním měrným tepelným zatížením ohniště  $q_v$
  - měrným průřezovým zatížením  $q_s$
  - dobou spalování nejhrubších zrn paliva  $\tau_s$  a dobou jejich setrvání v ohništi  $\tau_o$
- vychlazení ohniště
  - zajistit odvod popelovin v nelepivém stavu
  - zabránit poškození materiálu přehříváků

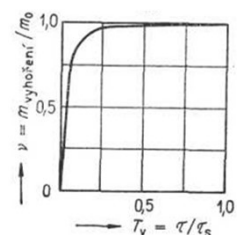
5

5

## Doba spalování $\tau_s$ a doba setrvání $\tau_o$

mezi dobou spalování nejhrubších zrn paliva  $\tau_s$  a dobou jejich setrvání v ohništi  $\tau_o$  musí platit

$$\tau_s = \tau_o \min$$



Závislost poměrného vyhoření uhlénoho prášku na poměrné době spalování

6

6

### Střední doba průtoku zrn ohništěm

Lze ji určit ze střední délky dráhy spalín v ohništi  $L_o$  (m) a střední rychlosti spalín  $w_s$  (m/s)

$$\tau_o = \frac{L_o}{w_s} \doteq \frac{L_o \cdot S_o}{M_{pv} \cdot O_s} \cdot \frac{273}{\bar{T}_o} \doteq \frac{k \cdot V_o}{V_s} \cdot \frac{273}{\bar{T}_o} \quad [s]$$

vztah neplatí přesně

- celý objem ohniště  $V_o$  není vyplněn plamenem
- dráha některých zrn paliva je vlivem víření delší než střední dráha  $L_o$

využití prostoru není dokonalé – definuje ho součinitel

$$\bar{\varphi}_o = \frac{V_{o \min}}{V_o} = \frac{\tau_{o \min}}{\tau_o} \leq 1$$

7

7

### Minimální objem ohniště $V_{o \min}$

je pouze hypotetickým pojmem, který je definován

- stejnou délkou všech proudnic,
- konstantní rychlostí spalín v příčném průřezu
- dokonalým vyplněním ohniště plamenem

platí pro něj  $\varphi_o = 1$

u reálných ohnišť

- $\varphi_o = 0,3$  až  $0,8$
- $\varphi_o \approx 1$  v pásmu hořáků a oběma směry nahoru i dolů klesá

měrné objemové zatížení ohniště lze pomocí stupně vyplnění zapsat

$$\bar{q}_V = \frac{\bar{\varphi}_o}{\tau_s} \cdot \frac{Q_i}{V_s} \cdot \frac{273}{\bar{T}_o} \quad [kW / m^3]$$

8

8

### Minimální objem ohniště $V_{o \min}$

$q_V$  lze zvýšit  $\Rightarrow V_o$  snížit

- zvětšením  $\varphi_o$
- zvládnutím aerodynamiky při spalování
- zkrácením doby spalování  $\tau_s$ 
  - jemnějším mletím,
  - vyšší teplotou spalovacího vzduchu
  - správným řešením směšovacích a dalších dějů při spalování

s rostoucím výkonem kotle se  $V_o$  zvětšuje a procesy jsou hůře zvládnutelné  $\Rightarrow q_V$  klesá

9

9

### Tvar ohniště

ze známé velikosti  $V_o$  se určí průřez ohniště  $S_o$  pomocí

$$\bar{q}_s = \frac{M_{pv} \cdot Q_i}{S_o} \quad [kW \cdot m^{-2}]$$

a výška ohniště  $h_o = V_o / S_o$

Při návrhu tvaru příčného průřezu je nutno znát:

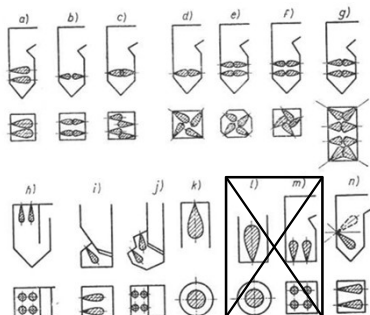
- počet, výkon a rozmístění hořáků,
- geometrický tvar a rozměry plamene z hořáků
- průběh proudnic, izoterm a vyhořívání paliva po délce plamene
- vzájemné ovlivňování plamenů hořáků umístěných vedle sebe

10

10

### Umístění hořáků u práškových ohnišť

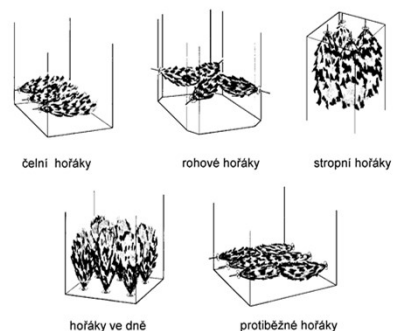
- a - dvouřadé čelní,
- b - jednořadé protiběžné,
- c - jednořadé vystřídání,
- d - jednořadé rohové,
- e - dvouřadé tangenciální (osmiúhelníkový průřez),
- f - dvouřadé tangenciální (čtvercový průřez),
- g - dvouřadé kombinované,
- h - stropní,
- i - uspořádání v šikmé stěně (U-plamen u tavicího prostoru výtavných ohnišť),
- j - dvouřadé uspořádání šikmé,
- k - stropní hořák,
- l - ve dně ohniště
- m - dvouřadé ve dně čtyřhranného průřezu,
- n - naklápěcí hořáky



11

11

### Umístění hořáků u práškových ohnišť

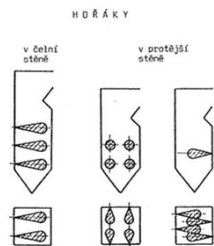


12

12

### Ohniště s hořáky ve svislé stěně

- práškové hořáky jsou umístěny
  - v přední stěně ohniště
  - v protějších stěnách
    - v bočních stěnách
    - v přední a zadní stěně
- hořáky mohou být situovány
  - přímo proti sobě
  - vystřídáné
- průřez ohniště a počet a uspořádání hořáků musí být navrženy tak, aby se plamen nedotýkal zadní stěny a ani bočních stěn ohniště



13

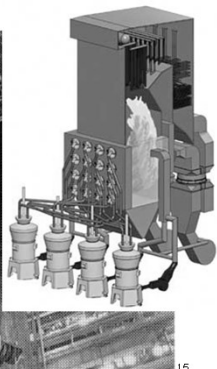
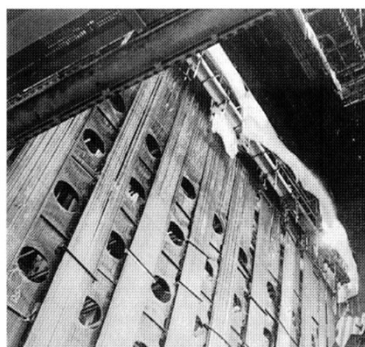
### Ohniště s hořáky ve svislé stěně

- uspořádání hořáků ve svislé stěně
  - umožňuje dobré ovládání spalovacího procesu
  - omezuje zastruskování stěn
  - lze volit větší poměr šířky ku hloubce ohniště
  - výhodné u velkých výkonů
  - mlýny jsou v jedné nebo dvou řadách
    - zjednodušuje dispozici přívodů surového paliva ze zásobníků
    - u velkých výkonů při čelním uspořádání je před kotlem pro všechny mlýny málo místa

14

14

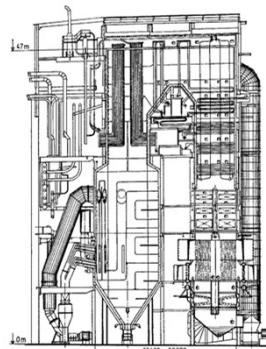
### Ohniště s čelními hořáky



15

15

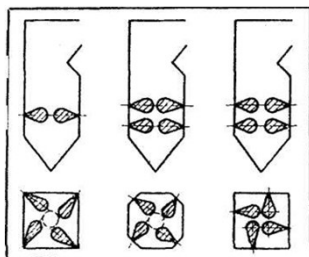
### Kotel s čelními hořáky



16

### Tangenciální uspořádání hořáků

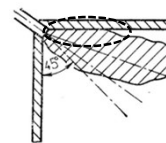
- používá se u kotlů středních a zejména nejvyšších výkonů
- hořáky jsou nasměrovány tangenciálně na pomyslnou kružnici v ose ohniště
- hořáky mohou být umístěny
  - přímo v rozích
  - v seříznutých rozích
  - v každé stěně ohniště



17

### Tangenciální uspořádání hořáků

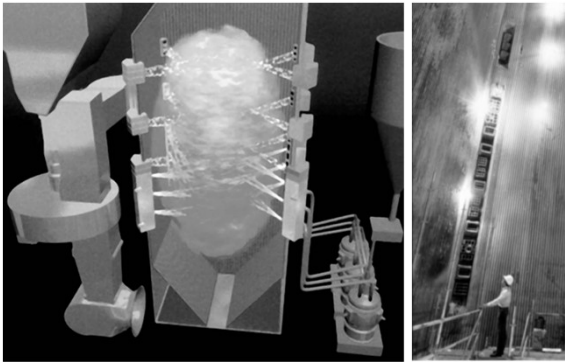
- teoreticky dává
  - delší spalovací dráhu
  - zvýšení turbulence
  - lepší podmínky pro vzněcování a vyhoření
- v praxi se tyto výhody často nepotvrdily
- umístění přímo v rozích je méně vhodné - struskování na stěnách
- použití tangenciálních hořáků vyžaduje alespoň přibližně čtvercový průřez ohniště



18

18

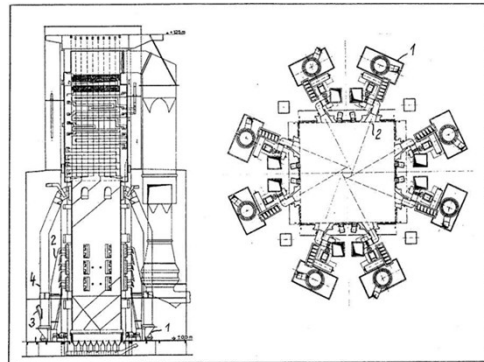
### Ohniště s tangenciálními hořáky



19

19

### Kotel s tangenciálními hořáky



20

20

### Distribuce vzduchu při spalování práškového uhlí

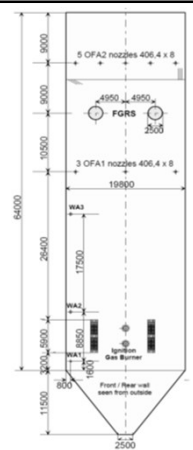
- Celkový přebytek vzduchu na konci ohniště se postupným vývojem snížil z 1,25 na hodnotu 1,15
- Spalovací vzduch se musí odstupňovat
  - po výšce spalovací komory,
  - po průřezu (v oblasti hořáků).
- Realizaci primárních opatření lze u nových kotlů s tangenciálním ohništěm, dosáhnout snížení emisí  $\text{NO}_x$  na hodnotu
  - cca 350 mg/Nm<sup>3</sup> u černého uhlí
  - cca 200 mg/Nm<sup>3</sup> u hnědého uhlí
- Další snížení je možné jen s využitím metody SNCR nebo SCR.

21

21

### TO - distribuce spalovacího vzduchu

- primární vzduch se zavádí do mlecího okruhu
- sekundární vzduch se zavádí přímo do hořáků
- stěnový vzduch (WA1 - 3) – chrání materiál stěn před redukční atmosférou (rizikem koroze)
- dohořivací vzduch (OFA1 - 2) se přivádí ve dvou úrovních nad hlavní hořáky
- rozdělení vzduchu
  - 1° 15 %
  - 2° 60 %
  - stěnový 10 %
  - OFA 1 5 %
  - OFA 2 10 %



22

22

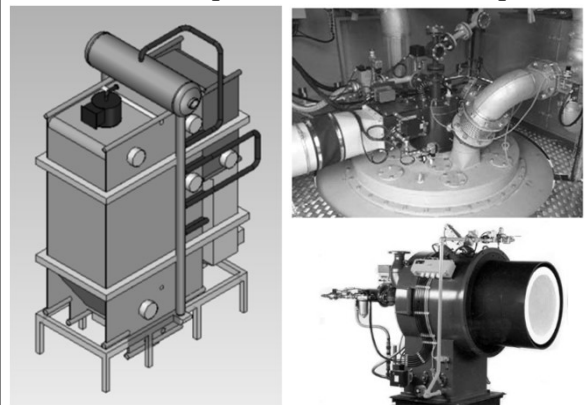
### Ohniště se stropními hořáky

- uspořádání hořáků ve stropě (pod stropem)
  - zabráňuje zkratovému proudění spalin od hořáku k výstupnímu průřezu ohniště
  - vyplnění ohniště plamenem a využití jeho objemu je velmi dobré
  - zatížení stěn ohniště je rovnoměrné
  - jednotkový výkon hořáků může být velký - délka plamene není omezena
  - nevýhodou je velká délka práškovodů
- plamen a spaliny směřují v ohništi dolů do struskové výspy
- ideální zaplnění ohniště plamenem
- mohou být použity hořáky s velkým výkonem
- nad stropem ohniště se musí vytvořit prostor pro práškovody k hořákům
- větší zachycení popelovin ve struskové výspce
- dnes pouze pro malé výkony – kotle na sušený multiprach

23

23

### Kotel se stropním hořákem na multiprach

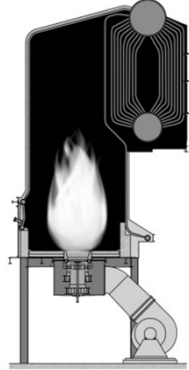


24

24

## Ohniště s hořáky ve dně ohniště

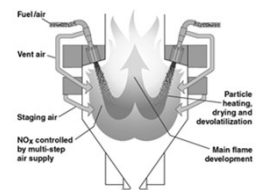
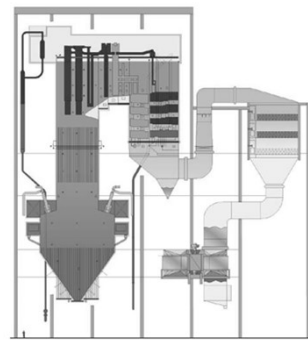
- opak předchozího řešení
- uspořádání hořáků ve dně je použitelné jen pro plynné nebo kapalné palivo
- výhody podobné jako u stropních hořáků
- na kotel v jednotahovém provedení může integrálně navazovat komín



25

25

## Ohniště s hořáky „downshot“



ohniště s hořáky „downshot“ pro splování antracitu

26

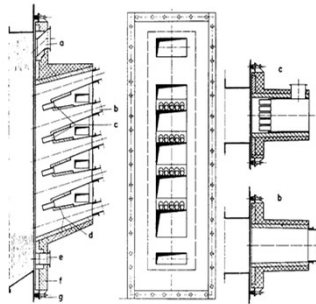
26

## Základní typy práškových hořáků Proudový hořák

- proud primární směsi a sekundárního vzduchu vystupují paralelně bez rozvíření
- dochází postupnému směřování proudů – hoření probíhá na delší dráze za nižších teplot
- vhodné pro hnědé uhlí

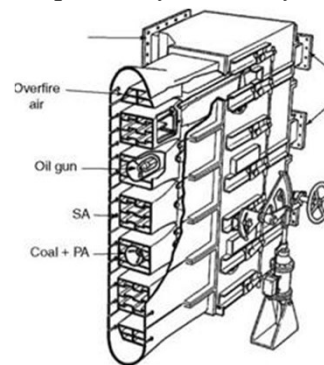
Popis:

- a – dohořivací vzduch,
- b – přívod primární směsi,
- c – trysky sekundárního vzduchu,
- d – keramický omaz,
- e – spodní vzduch,
- f – izolační cihly,
- g – těsnicí rám



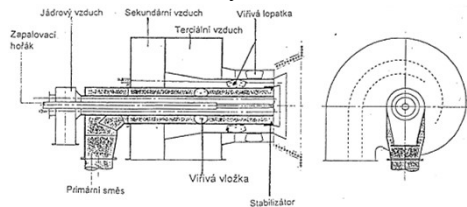
27

## Koncepce ohniště proudovými hořáky



28

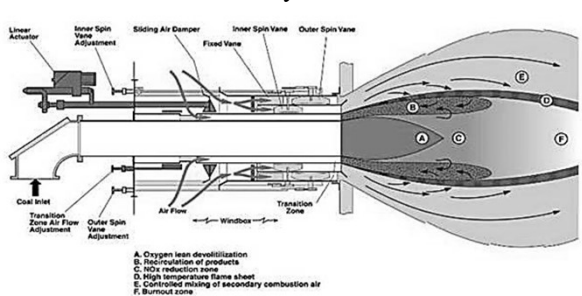
## Základní typy práškových hořáků Vířivý hořák



- Základní princip - vytváření redukčních zón přímo v hořáku
- Schéma vířivého hořáku DS (Drall - Stufen - Brenner)
  - primární směs přivádí mezikružím v ose hořáku - uvede do rotace pomocí vířiče
  - vně přívodu tzv. jádřového vzduchu - vystupuje do spalovací komory axiálně
  - sekundární a terciální vzduch vstupují do hořákové skříně tangenciálně přes vířivé lopatky v mezikružích

29

## Základní typy práškových hořáků Vířivý hořák



- A. Oxygen lean devolatilization
- B. Recirculation of products
- C. NOx reduction zone
- D. High temperature flame sheet
- E. Controlled mixing of secondary combustion air
- F. Burnout zone

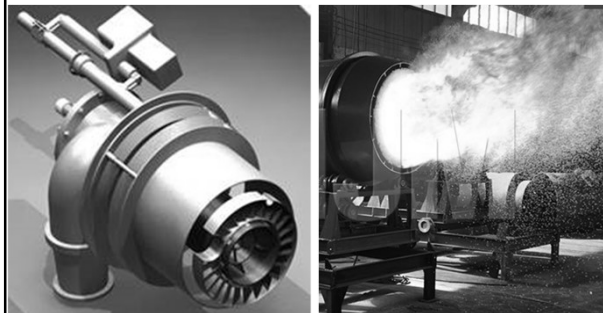
30

### Funkce vířivých hořáků

- Charakteristické pro vířivý hořák DS s omezenou tvorbou  $\text{NO}_x$  (Ultra Low  $\text{NO}_x$ ) je zejména:
  - dostatečně včas započatý intenzivní tepelný rozklad paliva
  - uvolněná prchavá hořlavina se zapálí přímo na hořáku - v zóně s vysokou koncentrací paliva a v redukčním prostředí
  - přesně definovaný stupňovitý a opožděný přísun vzduchu k hořící hořlavině
  - rovnoměrný přísun vzduchu a paliva do společných zón, čímž se dosáhne rovnoměrného rozložení plamene
  - opožděný přísun terciálního vzduchu do zóny hoření (je jako vnější - obalový vzduch)
  - spalování na hořáku probíhá v mírné redukční atmosféře
- Spalování je intenzivnější, avšak doba setrvání v oblasti vysokých teplot se zkracuje
- K dokončení spalování se na konci spalovací komory přivádí ve dvou úrovních dohořivací vzduch
- Užité vhodné pro paliva s menším podílem prchavé hořlaviny – černé uhlí

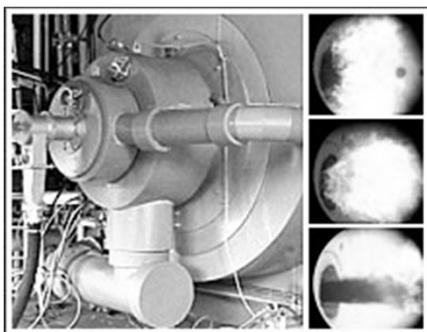
31

### Základní typy práškových hořáků Vířivý hořák Ultra Low $\text{NO}_x$



32

### Základní typy práškových hořáků Tvar plamene



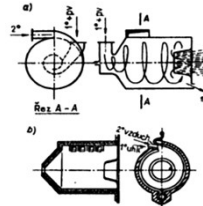
vířivý

proudový

33

### Cyklónové ohniště

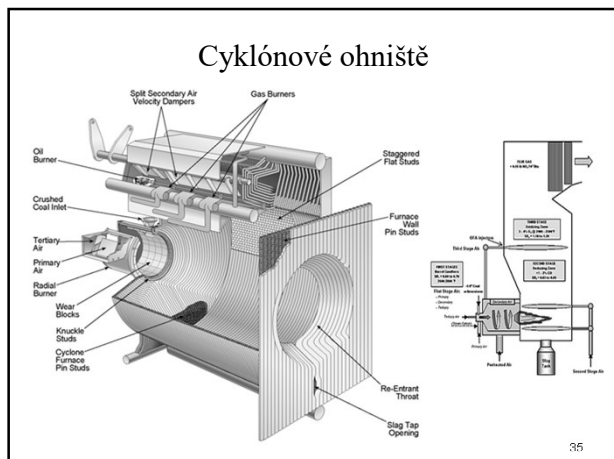
- pracuje jako výtavné
- uplatňuje vířivé spalování v menším válcovém prostoru
- cílem je
  - zdokonalit spalování
  - urychlit jeho průběh
- vhodné pro uhlí
  - s vysokou výhřevností
  - s nízkou teplotou tavení popela
  - s nízkým obsahem prchavé hořlaviny
- má tvar válce s poměrem délky k průměru 1 až 1,3
- osa je mírně skloněná nebo vodorovná
- směs paliva a primárního vzduchu vstupuje do cyklónu vířivým hořákem umístěným ve středu
- sekundární vzduch se přivádí tangenciálně tryskami umístěnými na obvodu cyklónu rychlostí až 200 m/s



34

34

### Cyklónové ohniště



35

35

### Umístění hořáků u práškových ohnišť

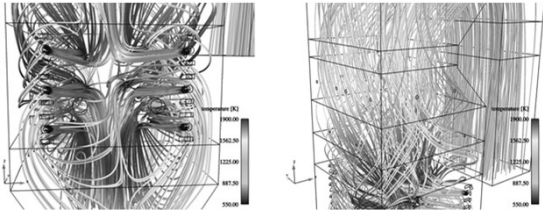
- poloha hořáků je určena tvarem a rozměry plamene
  - plamen musí dobře vyplňovat prostor spalovací komory
  - plamen se nesmí přimykát k bočním stěnám nebo narážet na protilehlou stěnu ohniště
    - riziko opalu stěny
    - riziko struskování
- délka plamene a jeho tvar musí být zohledněn při volbě rozměrů spalovací komory
- umístění hořáků a jejich dobrou funkci je vhodné ověřit aerodynamickým modelem ohniště

36

36

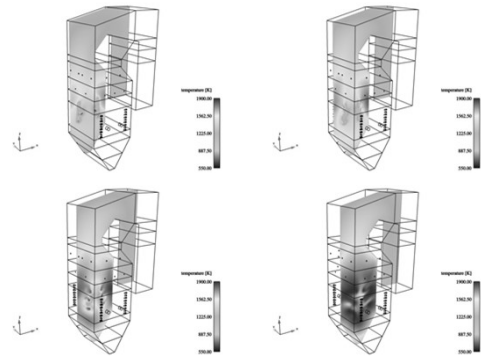
### Modelování ohnišť

- dnes k dispozici pokročilé modelovací nástroje CFD
- úlohy jsou složité – 3D heterogenní neizotermické proudění při spalování
- výsledkem je proudové, teplotní a koncentrační pole v prostoru spalovací komory



37

### Modelování ohnišť

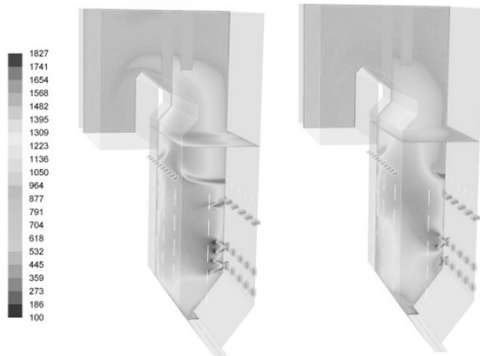


38

38

### Modelování ohnišť

200 MWe 135 MWe



39

39

### Délka plamene

- Délkou plamene se rozumí délka lomené úsečky vedené vodorovně od středu hořáku do svislé osy ohniště a dále až do středu výstupního průřezu spalovací komory.
- V případě uspořádání hořáků ve více řadách nad sebou se délka plamene počítá od horní řady hořáků
- Délka plamene závisí
  - na druhu spalovaného paliva
  - na výkonu a typu hořáků.
- Čím má palivo méně prchavé hořlaviny, tím delší dráhy pro jeho vyhoření je zapotřebí

40

40

### Návrh šířky ohniště

- U kotlů malých a středních výkonů se volí převážně čelní a vstřícné uspořádání hořáků, proto se nejprve vybírá potřebná hloubka ohniště

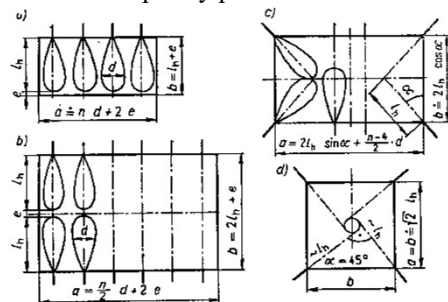
Nejmenší hloubka ohniště [m]	Parní výkon kotle [t/h]					
	12	20	75	150	230	440 600 a více
	4,0	4,5	5,5	6,5	7,0	8,0 8,5

- Šířka ohniště se pak určí v závislosti
  - na počtu hořáků
  - na vzdálenosti mezi nimi
- Šířka by neměla vyjít menší než je hloubka ohniště.

41

41

### Vliv délky plamene, počtu a výkonu hořáků na příčný průřez ohniště

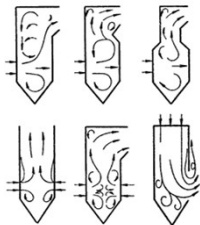


42

42

## Volba geometrického tvaru ohniště

- úzce souvisí s uspořádáním hořáků
- pro příznivý průběh spalovacího procesu je žádoucí vznik turbulence s víry malých rozměrů
- ke zlepšení turbulence přispívá
  - provedení nosu na konci ohniště
  - zúžení čela vychlazovacího prostoru



43

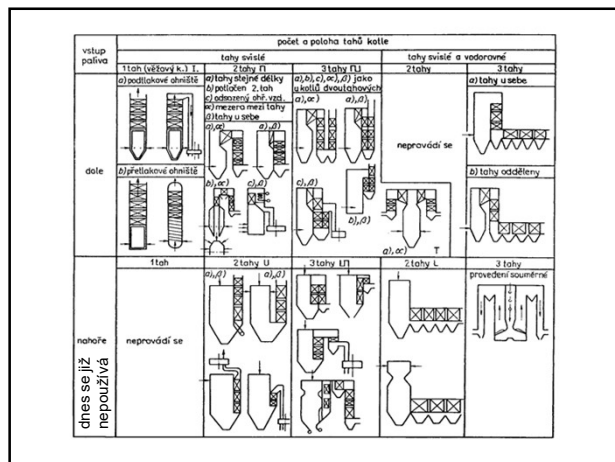
43

## Koncepční řešení práškových kotlů s granulačním ohništěm

### Dělení

- podle počtu tahů
  - jednotahové – věžové
  - dvoutahové
  - třítahové
- podle umístění hořáků
  - dole
  - nahoře

44



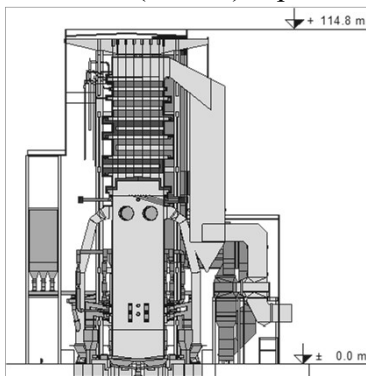
45

## Jednotahové (věžové) uspořádání

- Výhody
  - menší abrase
  - lepší spalovací poměry
  - odpadá obratová komora
- Nevýhody
  - těžší nosná konstrukce
  - obtížná montáž u velkých výkonů
  - nutný prázdný průtah k sacímu ventilátoru evt. ohříváku vzduchu,
  - nízké rychlosti spalin na konci kotle
  - investičně je kotel většinou dražší

46

## Jednotahové (věžové) uspořádání



47

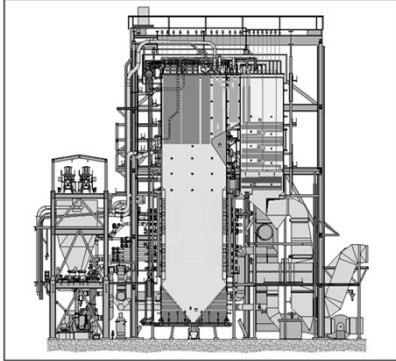
## Dvoutahové uspořádání tvaru II

- Výhody
  - jednoduchá konstrukce,
  - snadná možnost protiproudého uspořádání dodatkových ploch,
  - vhodná dispozice spalinových ventilátorů,
  - možnost dobrého čištění dodatkových ploch,
- Nevýhody
  - nerovnoměrnost koncentračních a rychlostních profilů ve druhém tahu velkých jednotek,
  - větší abrasní účinek popílkových částic,
  - značný objem málo využitých obratových komor,
  - obtíže s umístěním velkého rekuperačního ohříváku ve 2. tahu => ohřívák vzduchu se proto často umísťuje na samostatné nosné konstrukci (Ljungstroem vždy)

48



### Dvoutahové uspořádání tvaru Π



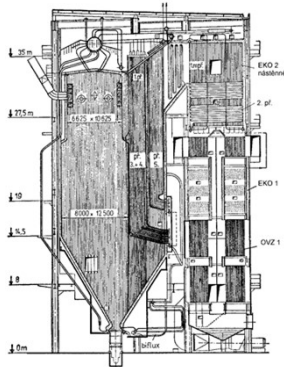
49

### Třítahové uspořádání s tahy za sebou

- vhodné pro průmyslové kotle s nižším tlakem a kotle pro spalovny odpadů
- možná je i varianta se stropními hořáky
  
- **Výhody**
  - částečné odloučení popílku ve 2. tahu,
  - snížení teploty spalin před konvekčními plochami,
  - snížení zanášení výhřevných ploch
- **Nevýhody**
  - viz kotle dvoutahové

50

### Třítahové uspořádání s tahy za sebou



51