

# 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

# 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)

# 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 zanáší výhřevné plochy
  - ⇒ způsobuje jejich abrazi
  - ⇒ odlučuje se ze spalin za kotlem
  - ⇒ problémy s ukládáním



# 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  $\text{NO}_x$

# Velikost a tvar ohniště z hlediska spalování

při návrhu se musí zohlednit 2 hlavní funkce

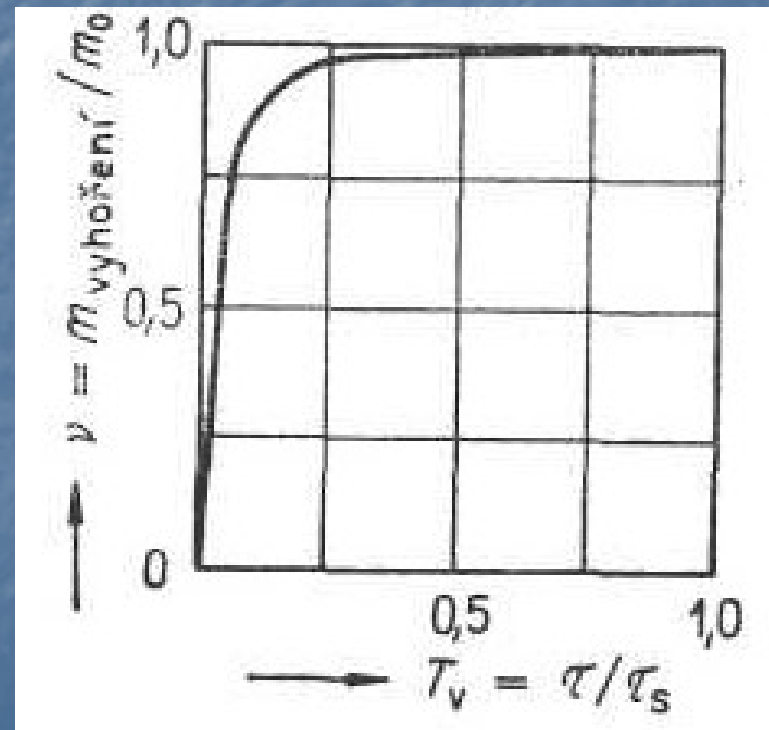
- uvolňování tepla co nejdokonalejším spalováním – zohledňuje se
  - středním měrným tepelným zatížením ohniště  $q_V$
  - měrným průřezovým zatížením  $q_s$
  - dobou spalování nejhrubších zrn paliva  $\tau_s$  a dobou jejich setrvání v ohništi  $\tau_o$
- vychlazení ohniště
  - zajistit odvod popelovin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

# 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 uhelného prášku na poměrné době spalování





# Střední doba průtoku zrn ohništěm

lze ji určit ze střední délky dráhy spalin v ohništi  $L_o$  (m)  
a střední rychlosti spalin  $w_s$  (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

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

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

je pouze hypotetickým pojmem, který je definován

- stejnou délkou všech proudnic,
- konstantní rychlostí spalin 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

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



# Minimální objem ohniště $V_o \text{ min}$

$q_V$  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

# Tvar ohniště

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

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

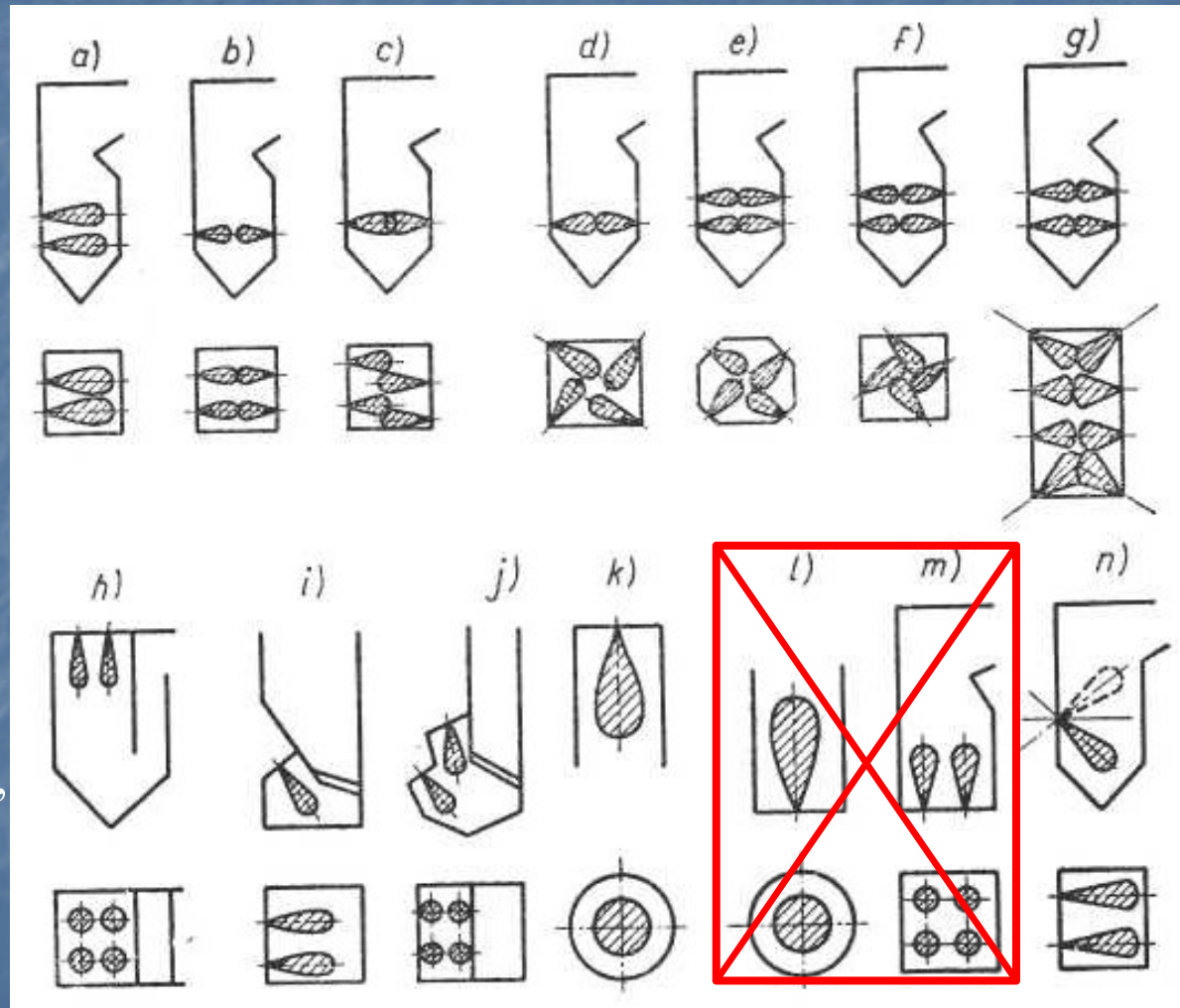
a výška ohniště  $h_o = V_o / S_o$

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

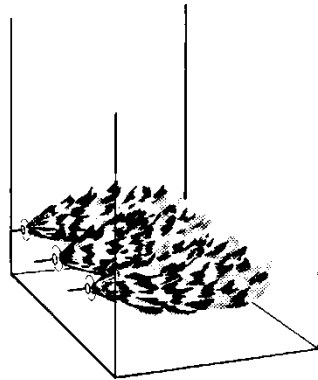
# Umístění hořáků u práškových ohnišť

- a* - dvouřadé čelní,
- b* - jednořadé protiběžné,
- c* - jednořadé vystřídané,
- 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

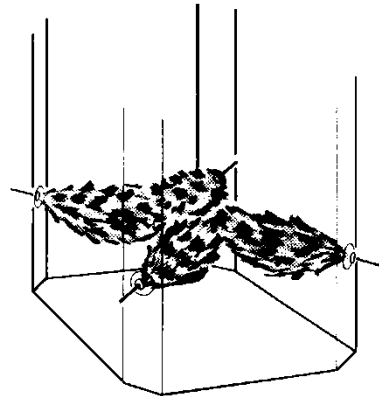




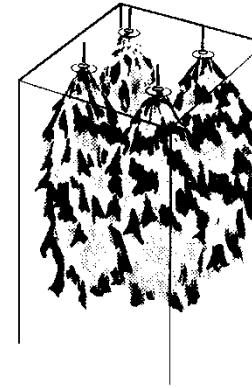
# Umístění hořáků u práškových ohnišť



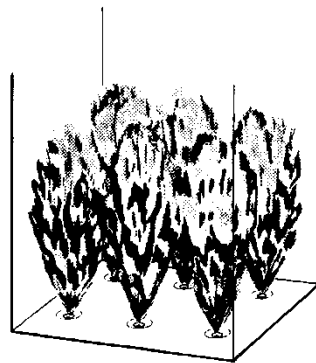
čelní hořáky



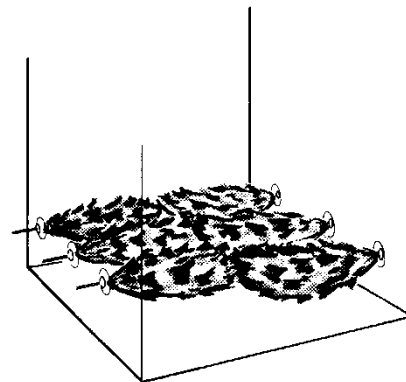
rohové hořáky



stropní hořáky



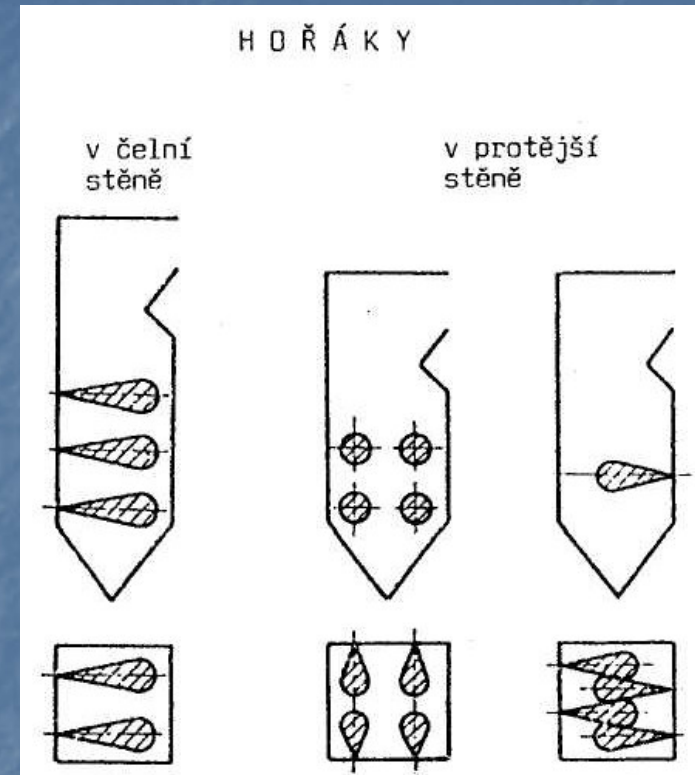
hořáky ve dně



protiběžné hořáky

# 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
  - vystřídané



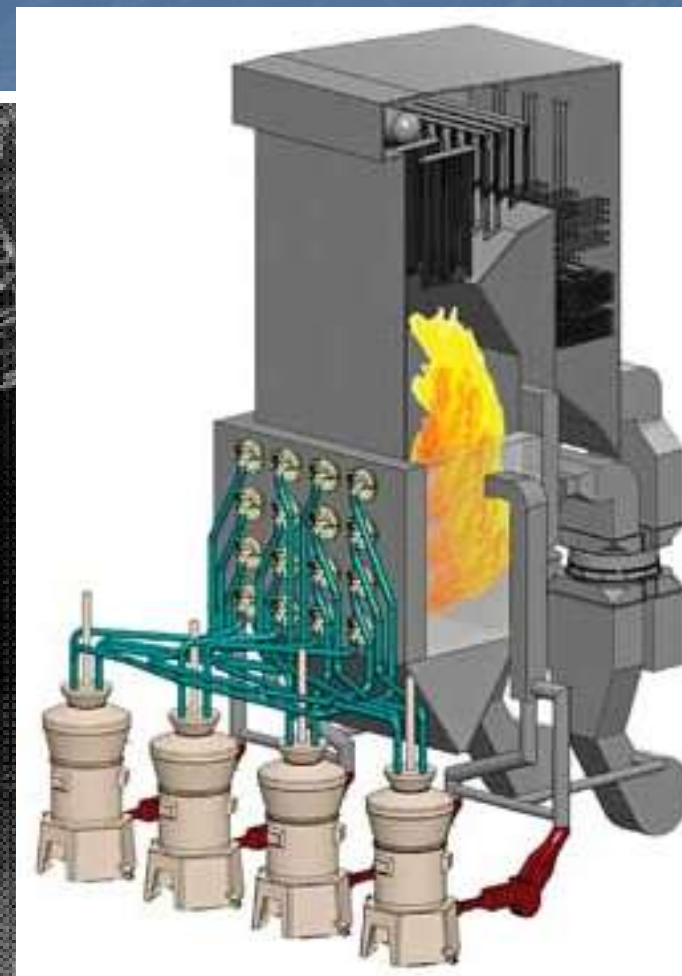
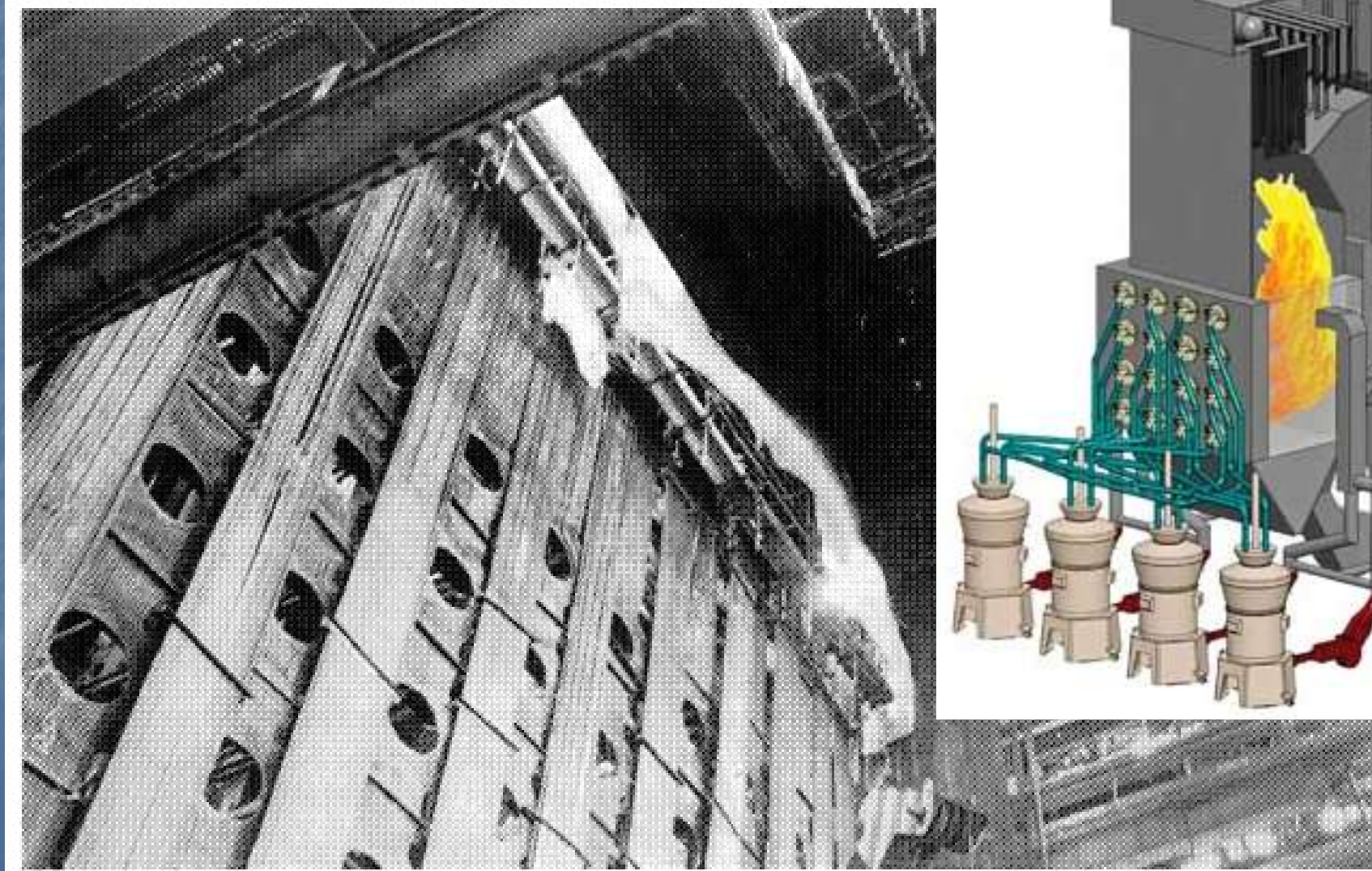
- průřez ohniště a počet a uspořádání hořáků musí být navrženy tak, aby se plamen nedotýkal zadní stěny a ani bočních stěn ohniště

# Ohniště s hořáky ve svislé stěně

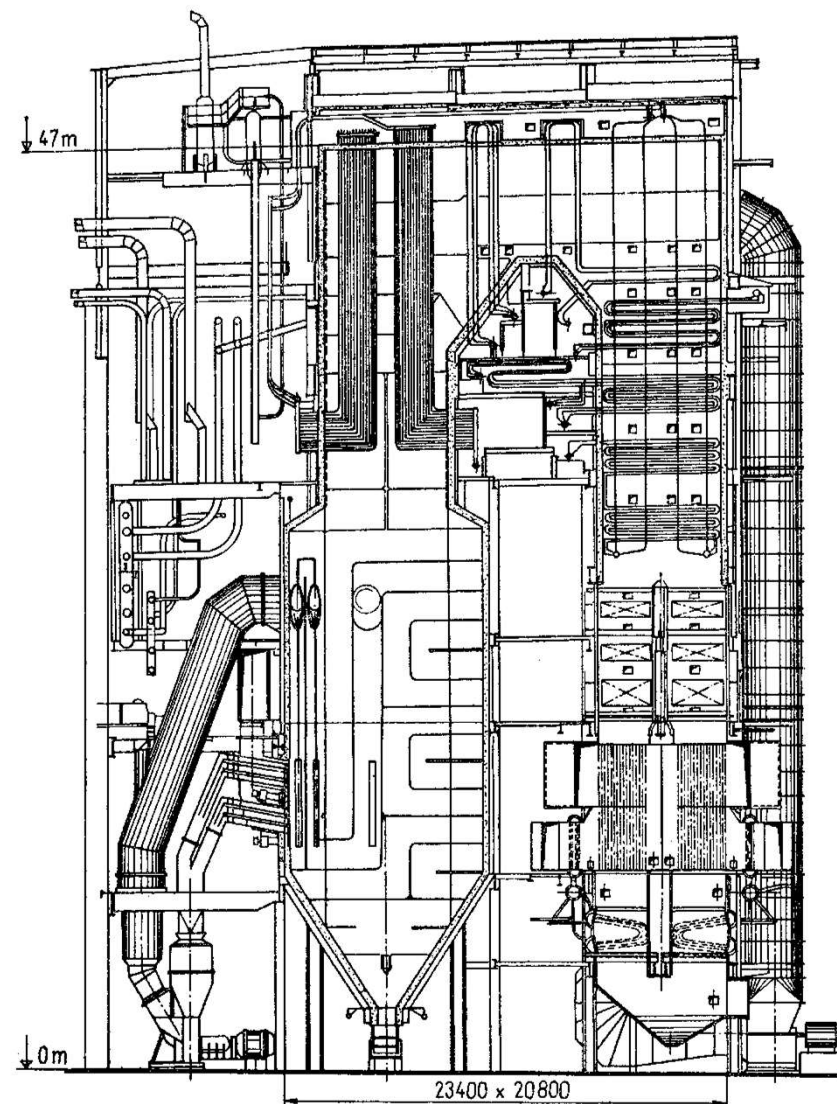
- uspořádání hořáků ve svislé stěně
  - umožňuje dobré ovládání spalovacího procesu
  - omezuje zastruskování stěn
  - lze volit větší poměr šířky ku hloubce ohniště
  - výhodné u velkých výkonů
  - mlýny jsou v jedné nebo dvou řadách
    - zjednodušuje dispozici přívodů surového paliva ze zásobníků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



# Ohniště s čelními hořáky

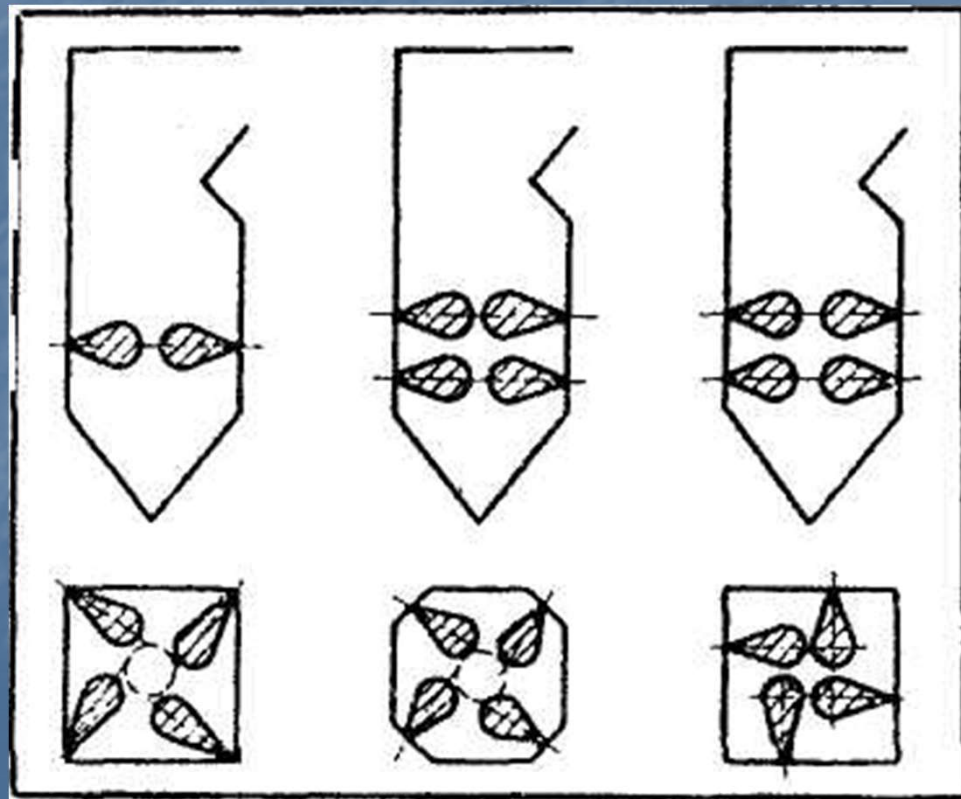


# Kotel s čelními hořáky



# Tangenciální uspořádání hořáků

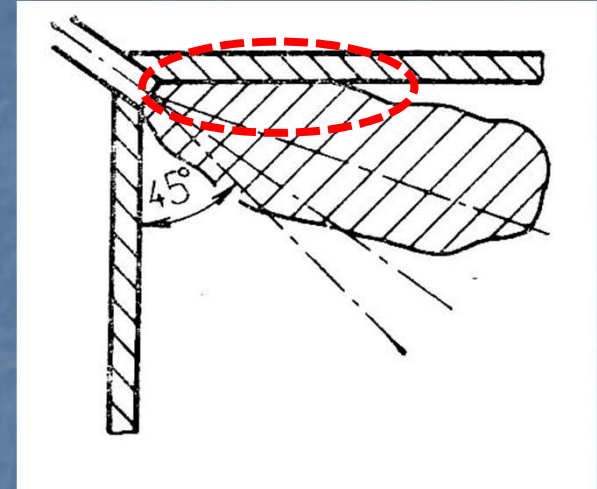
- používá se u kotlů středních a zejména nejvyšších výkonů
- hořáky jsou nasměrovány tangenciálně na pomyslnou kružnici v ose ohniště
- hořáky mohou být umístěny
  - přímo v rozích
  - v seříznutých rozích
  - v každé stěně ohniště



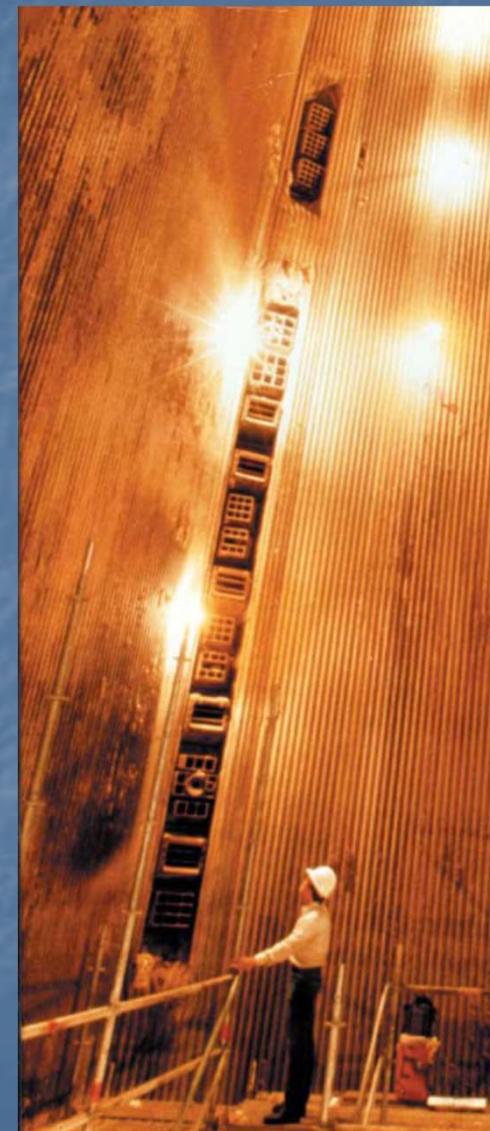
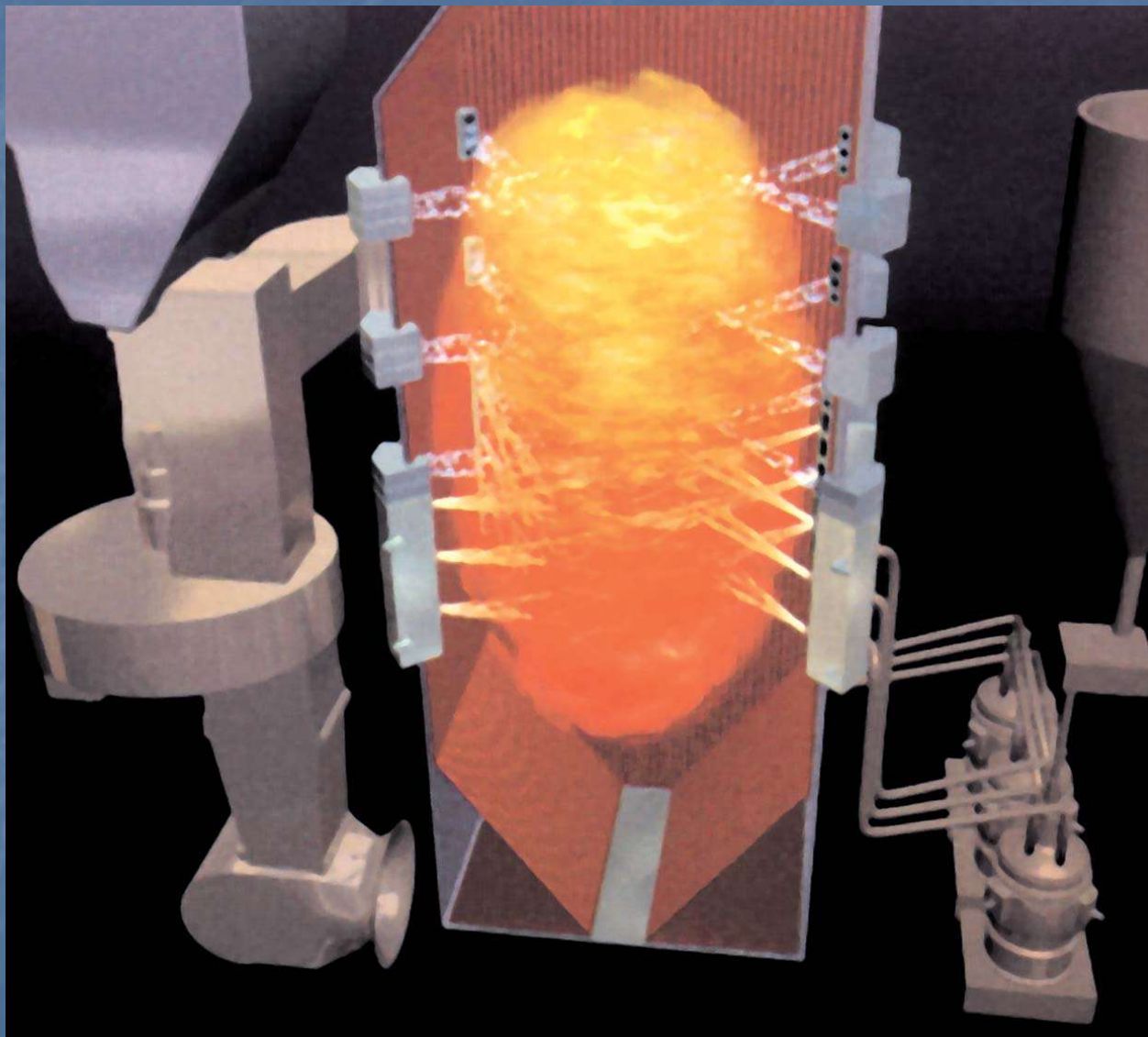


# Tangenciální uspořádání hořáků

- 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

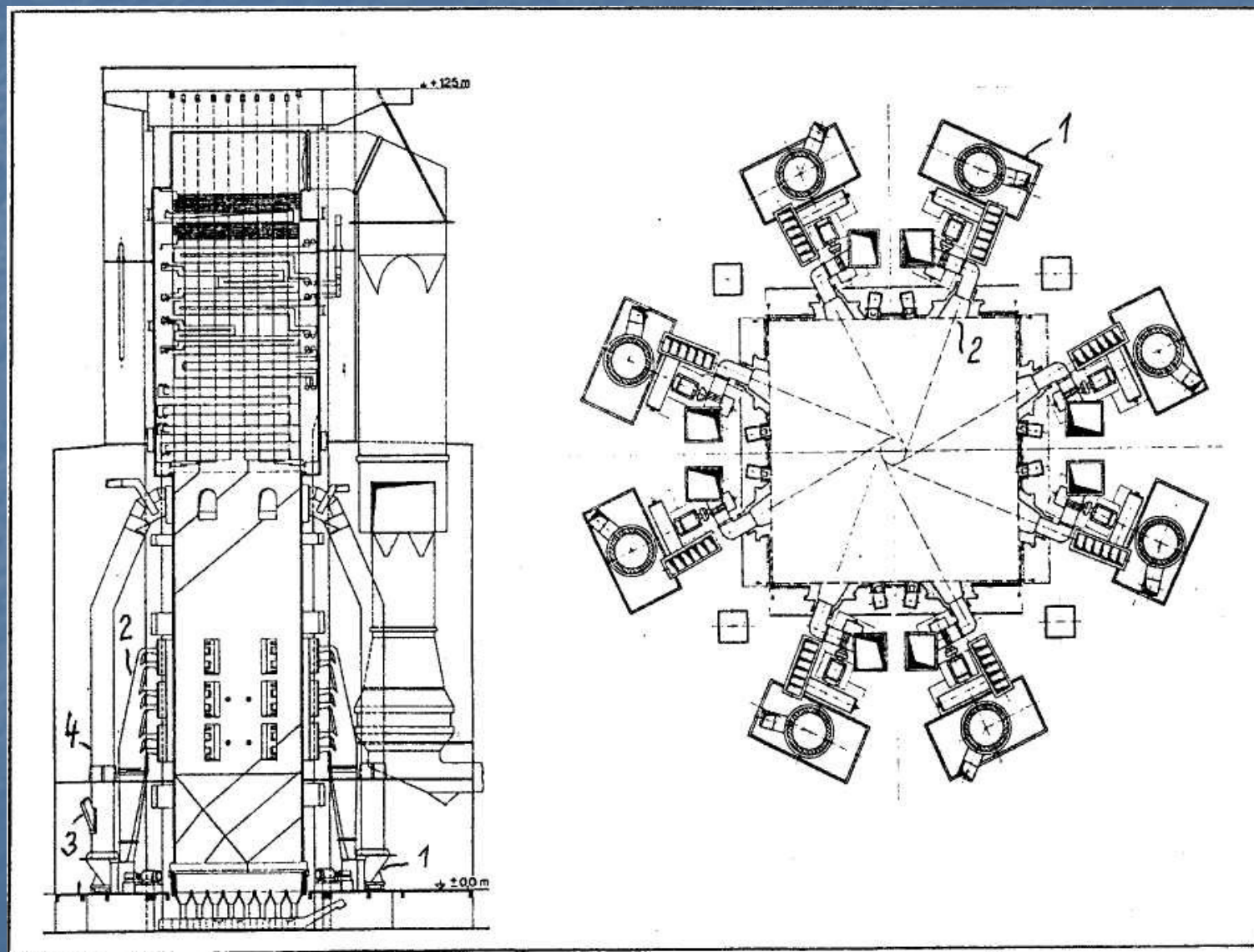


# Ohniště s tangenciálními hořáky





# Kotel s tangenciálními hořáky



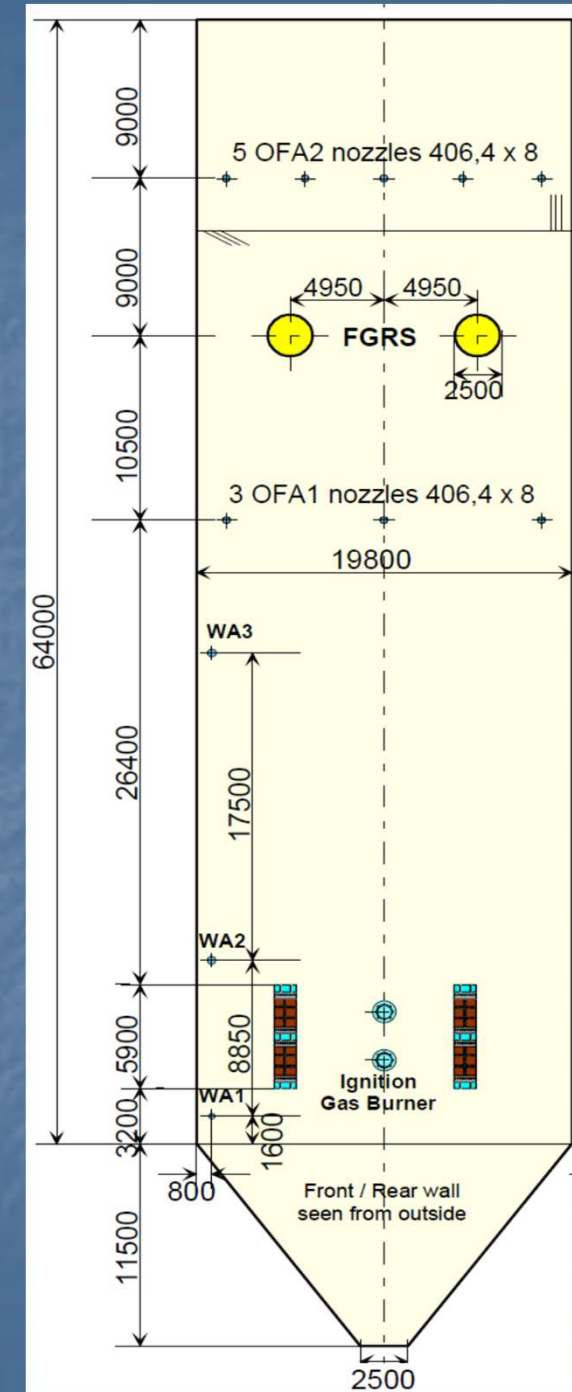


# Distribuce vzduchu při spalování práškového uhlí

- 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).
- Realizací 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.

# 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 %

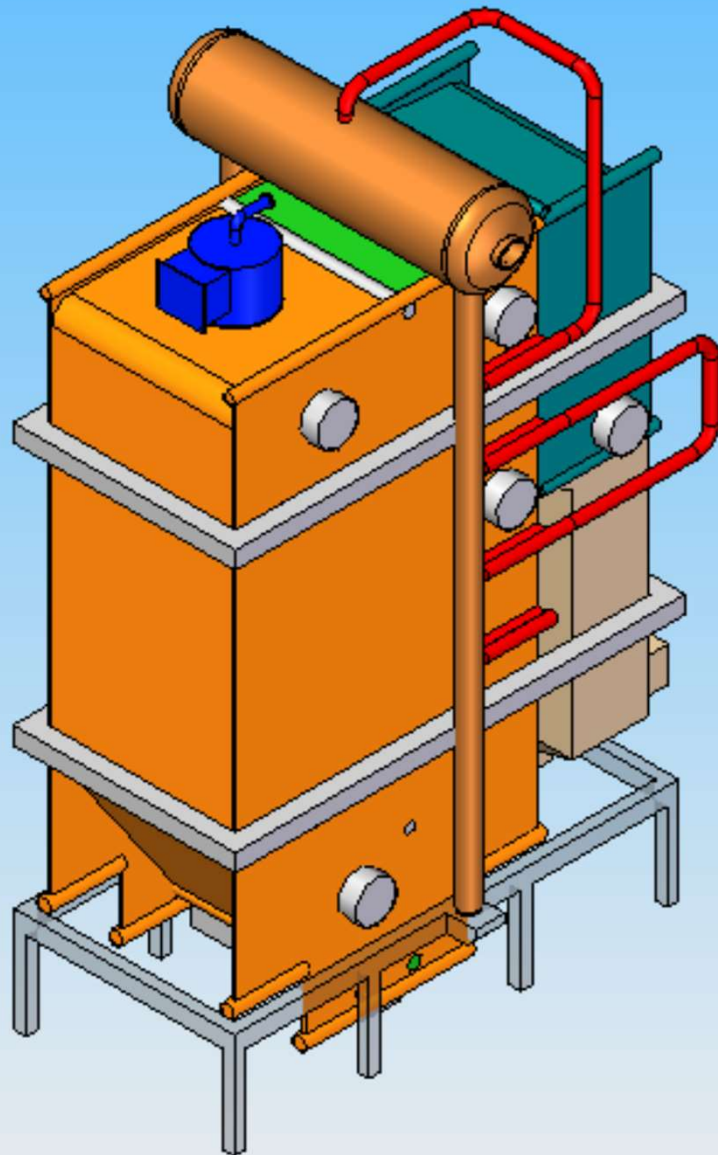


# Ohniště se stropními hořáky

- uspořádání hořáků ve stropě (pod stropem)
  - zabraňuje 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 výsypky
- 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 výsypce
- dnes pouze pro malé výkony – kotle na sušený multiprach

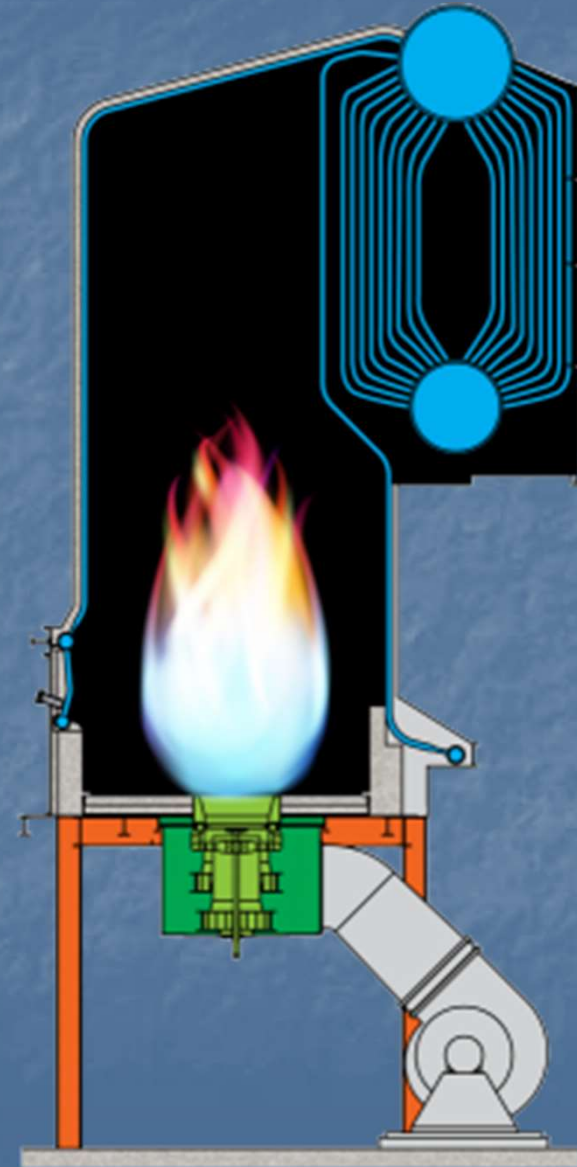


# Kotel se stropním hořákem na multiprachech



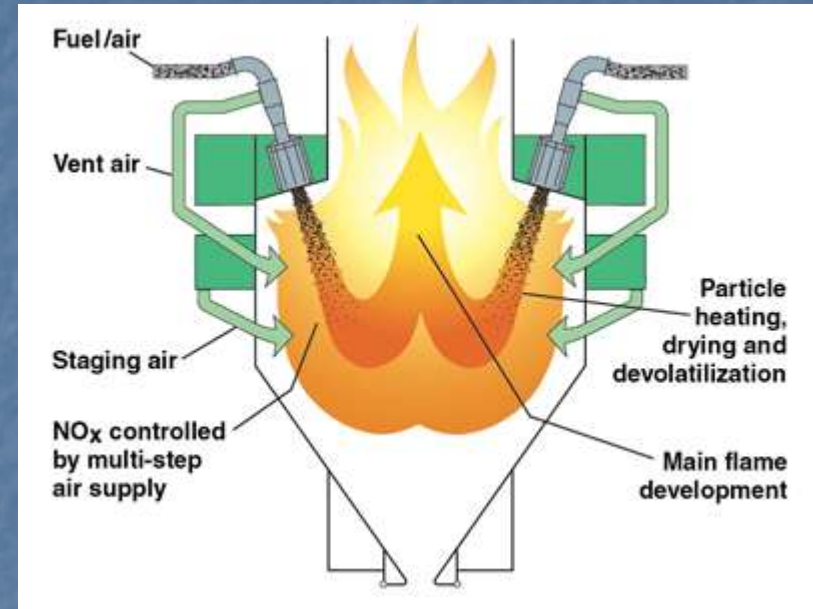
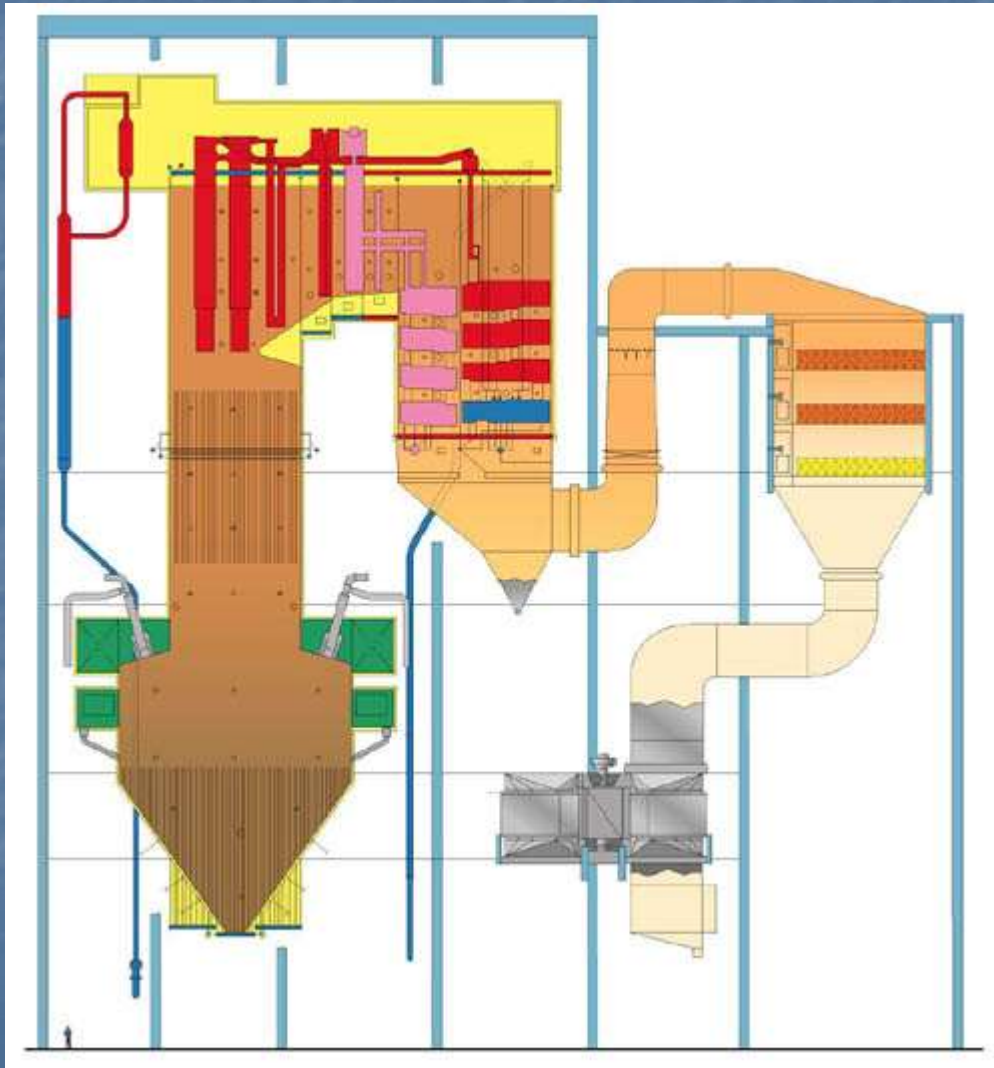
# Ohniště s hořáky ve dně ohniště

- 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





# Ohniště s hořáky „downshot“



ohniště s hořáky  
„downshot“  
pro splování antracitu



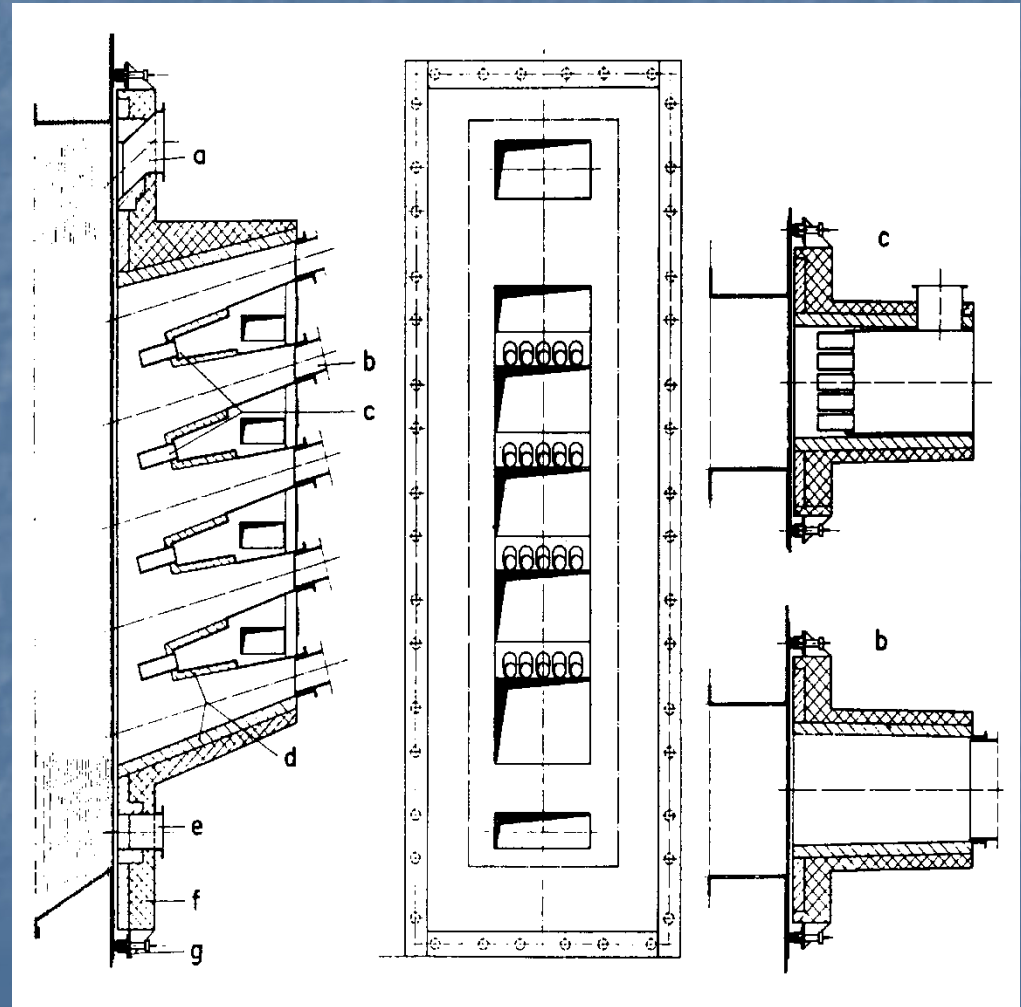
# Základní typy práškových hořáků

## Proudový hořák

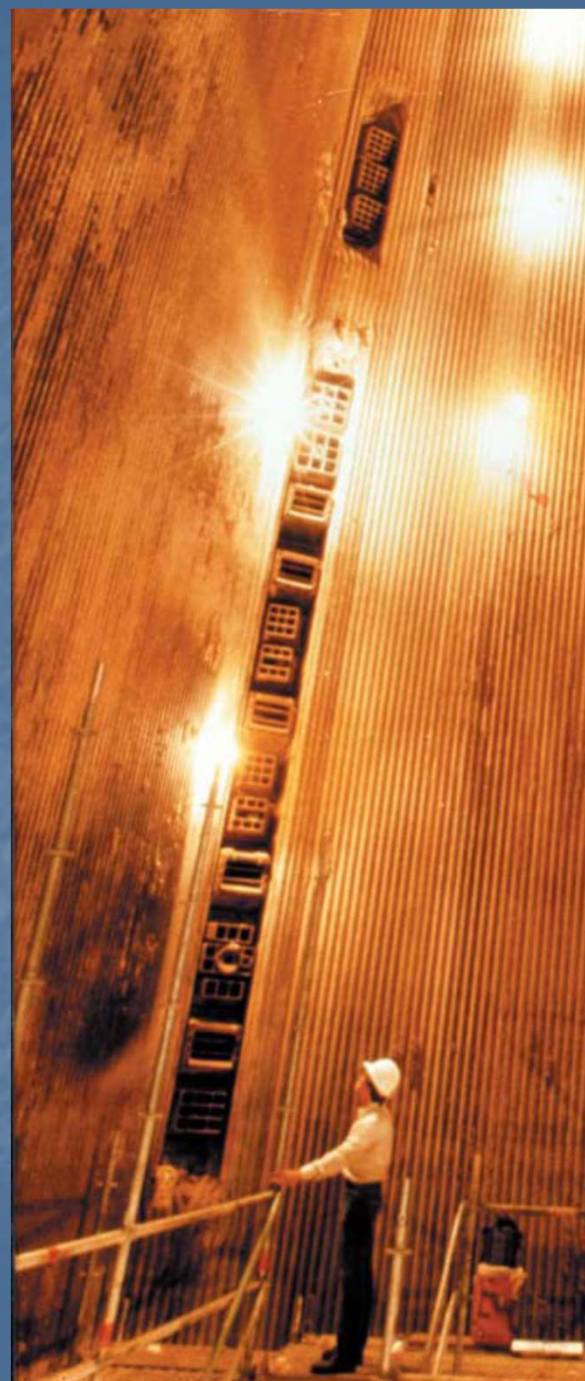
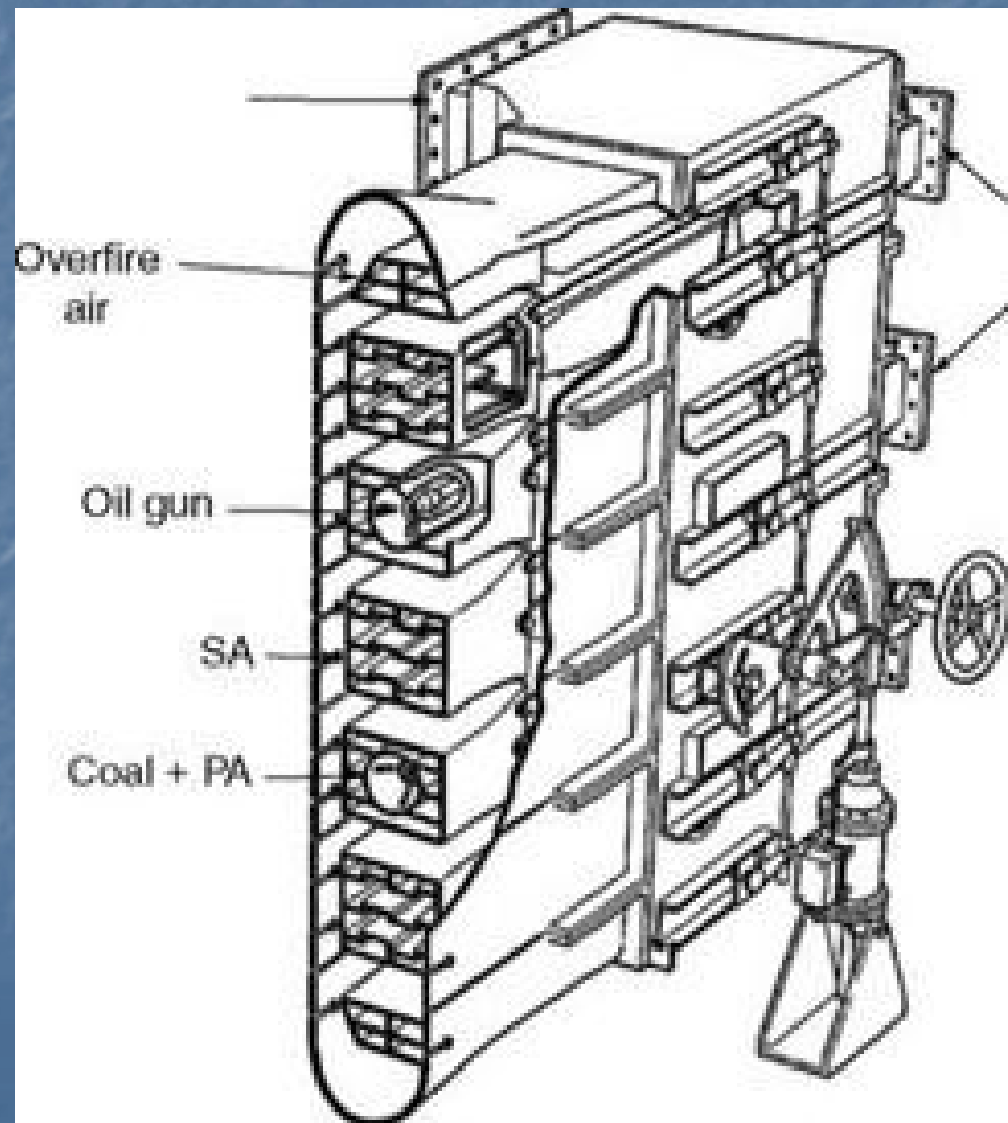
- proud primární směsi a sekundárního vzduchu vystupují paralelně bez rozvíření
- dochází postupnému směřování proudů – hoření probíhá na delší dráze za nižších teplot
- vhodné pro hnědé uhlí

Popis:

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

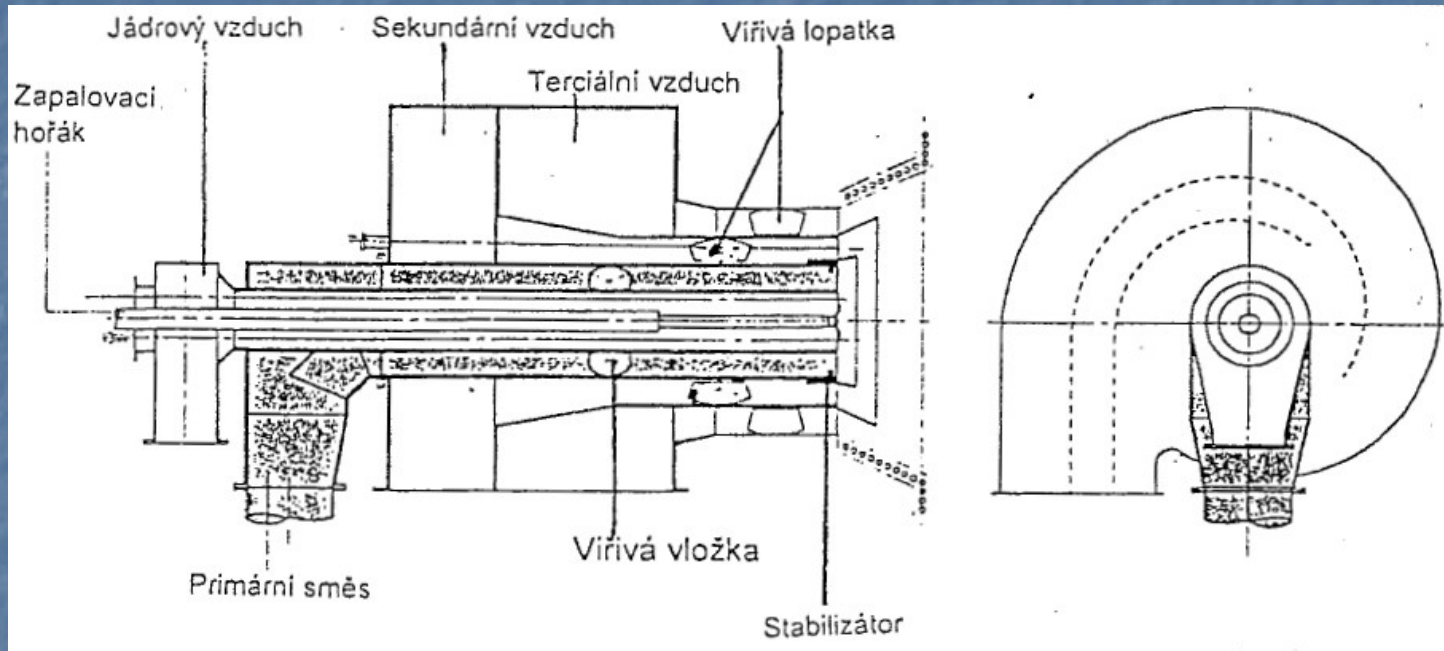


# Koncepce ohniště proudovými hořáky



# Základní typy práškových hořáků

## Vířivý hořák

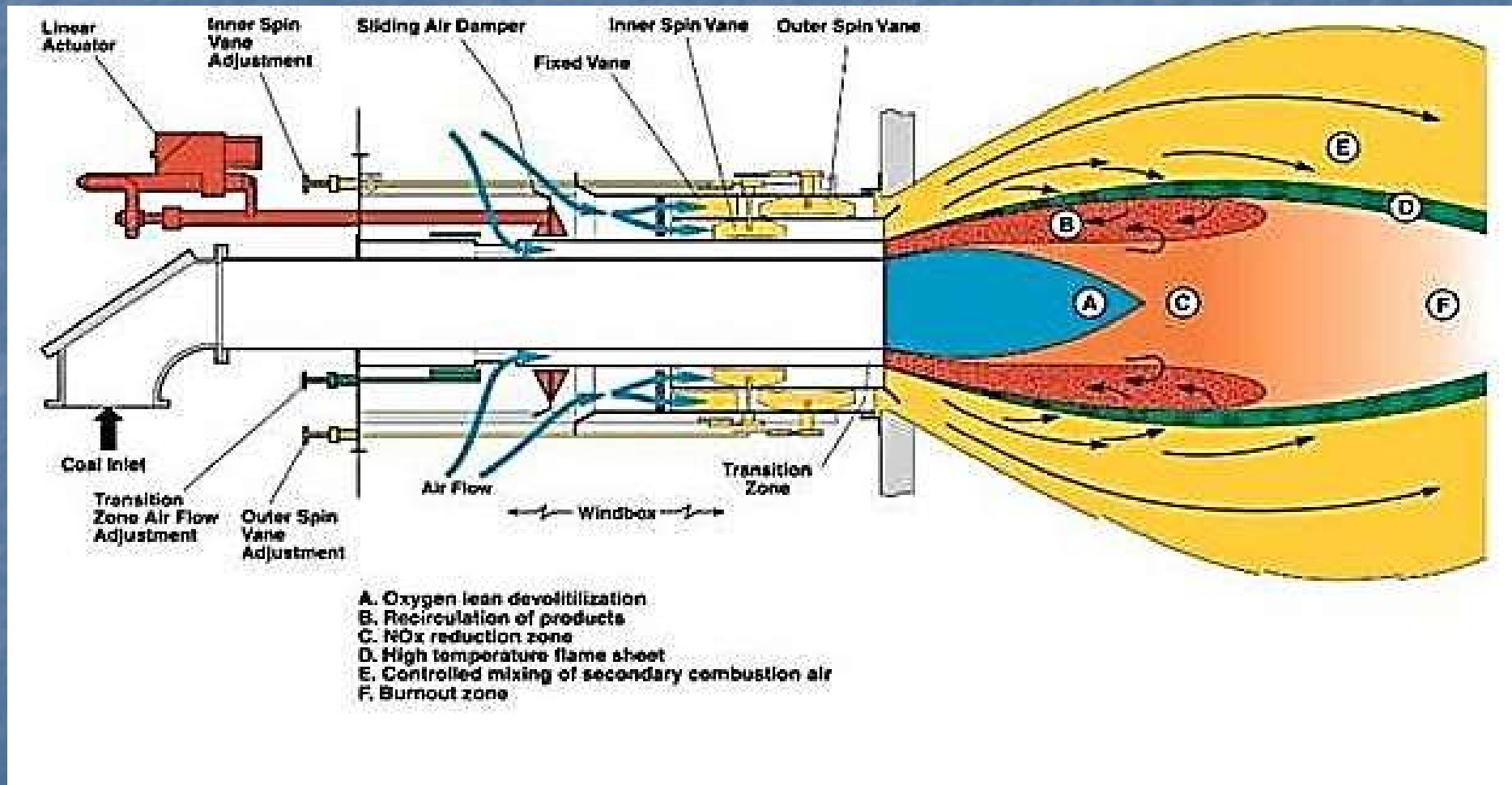


- Základní princip - vytváření redukčních zón přímo v hořáku
- Schéma vířivého hořáku DS (Drall - Stufen - Brenner)
  - primární směs přivádí mezikružím v ose hořáku - uvede do rotace pomocí vířiče
  - vně přívodu tzv. jádrového vzduchu - vystupuje do spalovací komory axiálně
  - sekundární a terciální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



# Základní typy práškových hořáků

## Vířivý hořák



# 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 rovnoměrné rozložení plamene
  - opožděný přísun terciálního vzduchu do zóny hoření (je jako vnější - obalový vzduch)
  - spalování na hořáku probíhá v mírně 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
- Užití vhodné pro paliva s menším podílem prchavé hořlaviny – černé uhlí

# Základní typy práškových hořáků

## Vířivý hořák Ultra Low NO<sub>x</sub>





# Základní typy práškových hořáků

## Tvar plamene

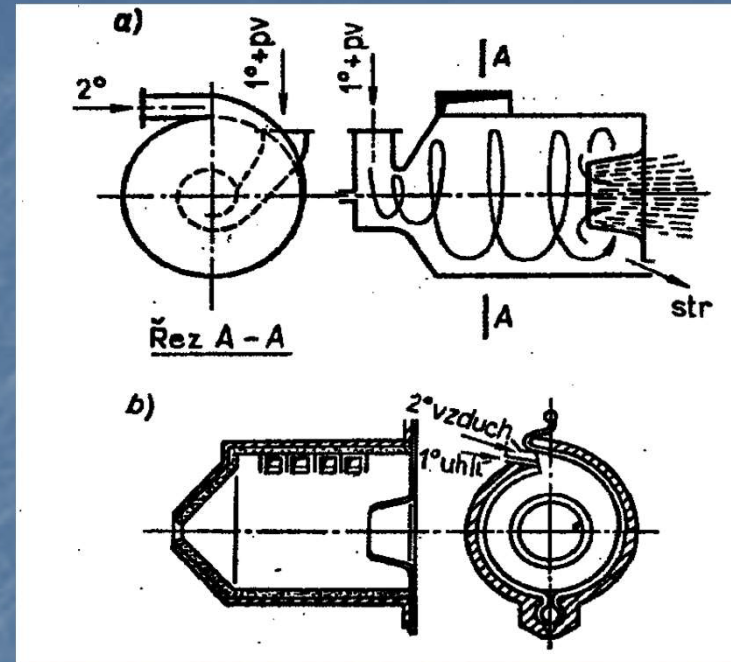


vířivý

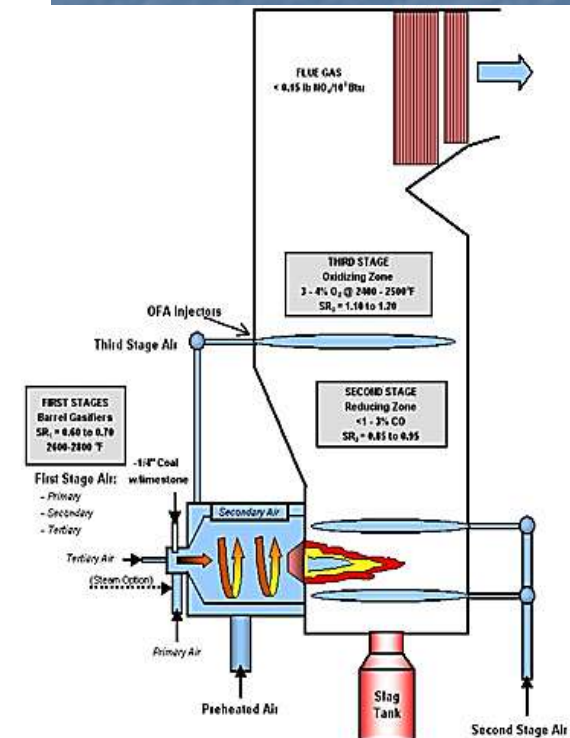
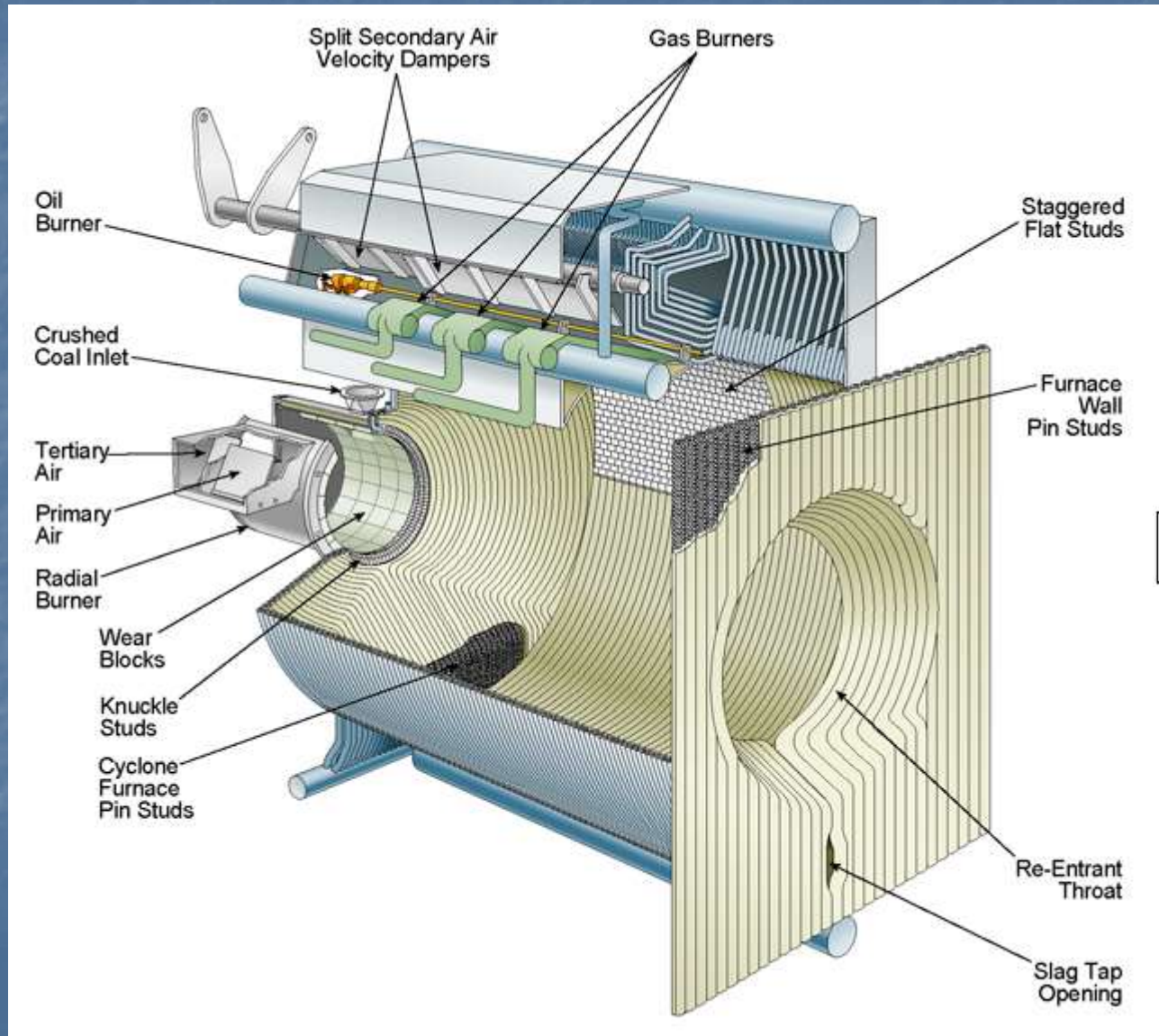
proudový

# 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



# Cyklónové ohniště



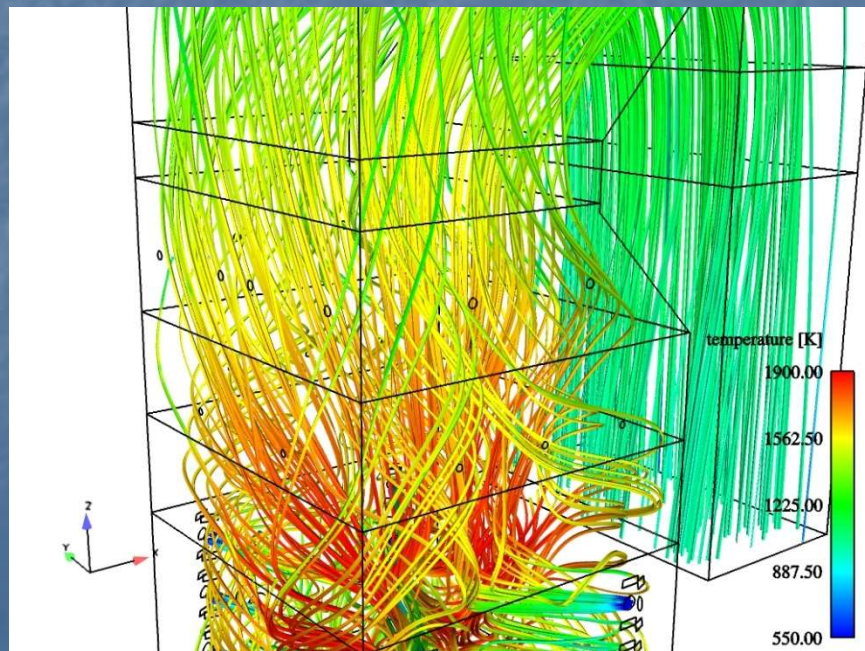
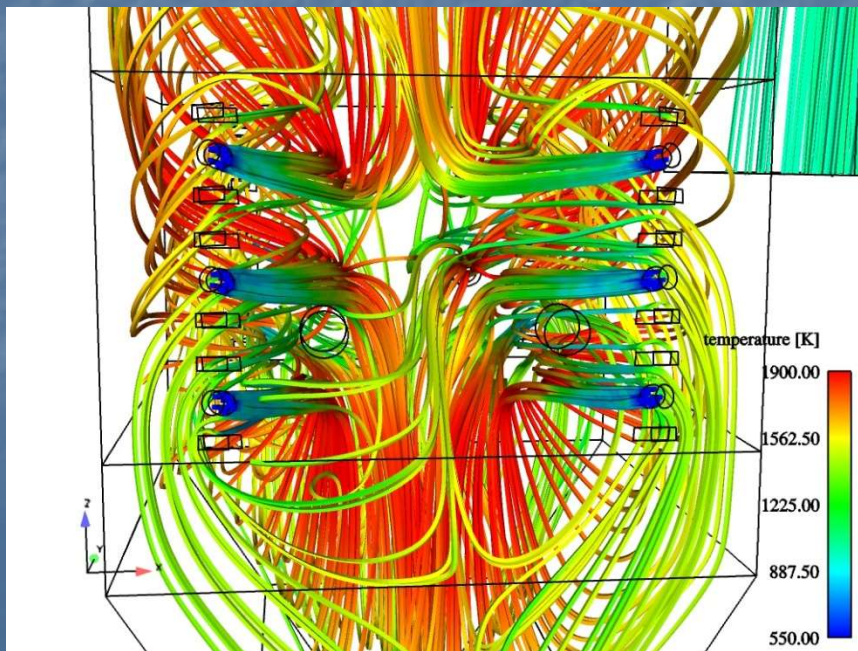


# Umístění hořáků u práškových ohnišť

- 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

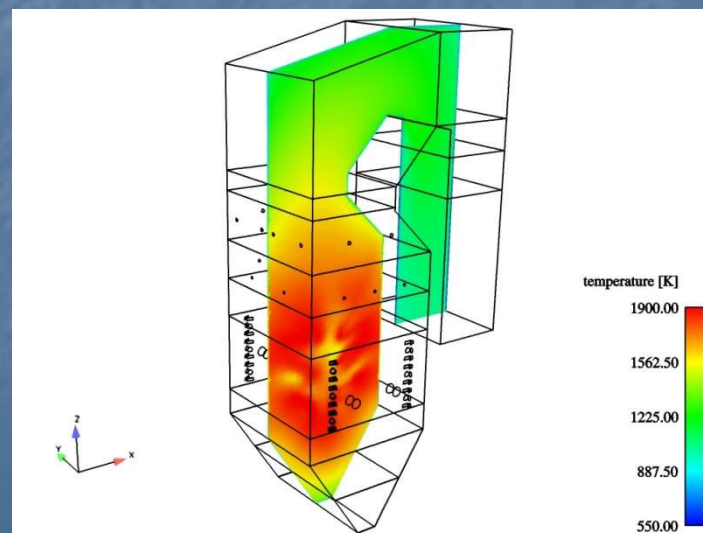
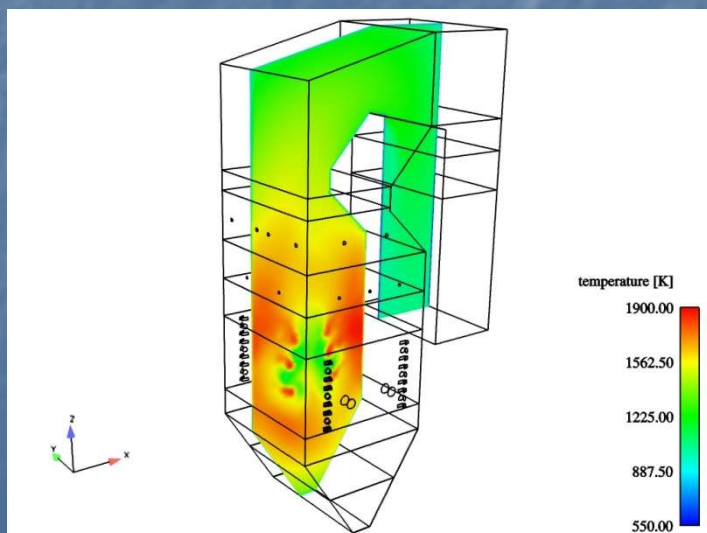
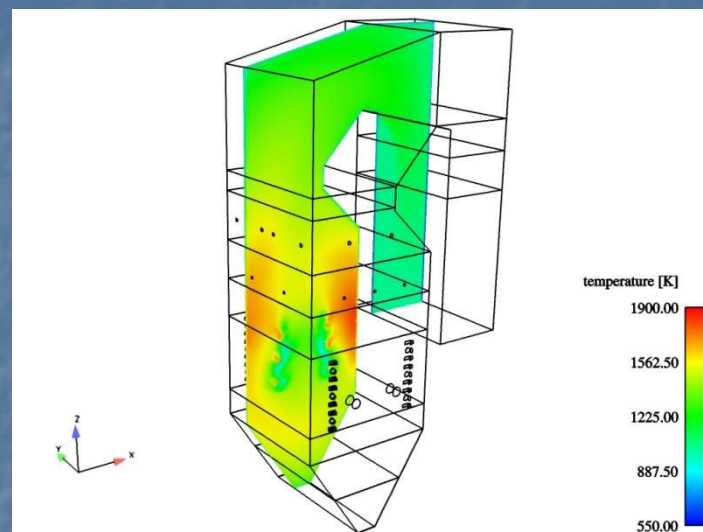
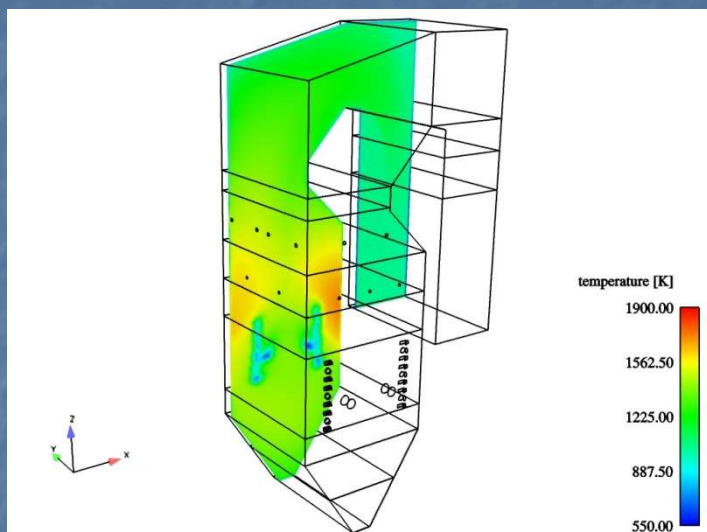
# Modelování ohnišť

- 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



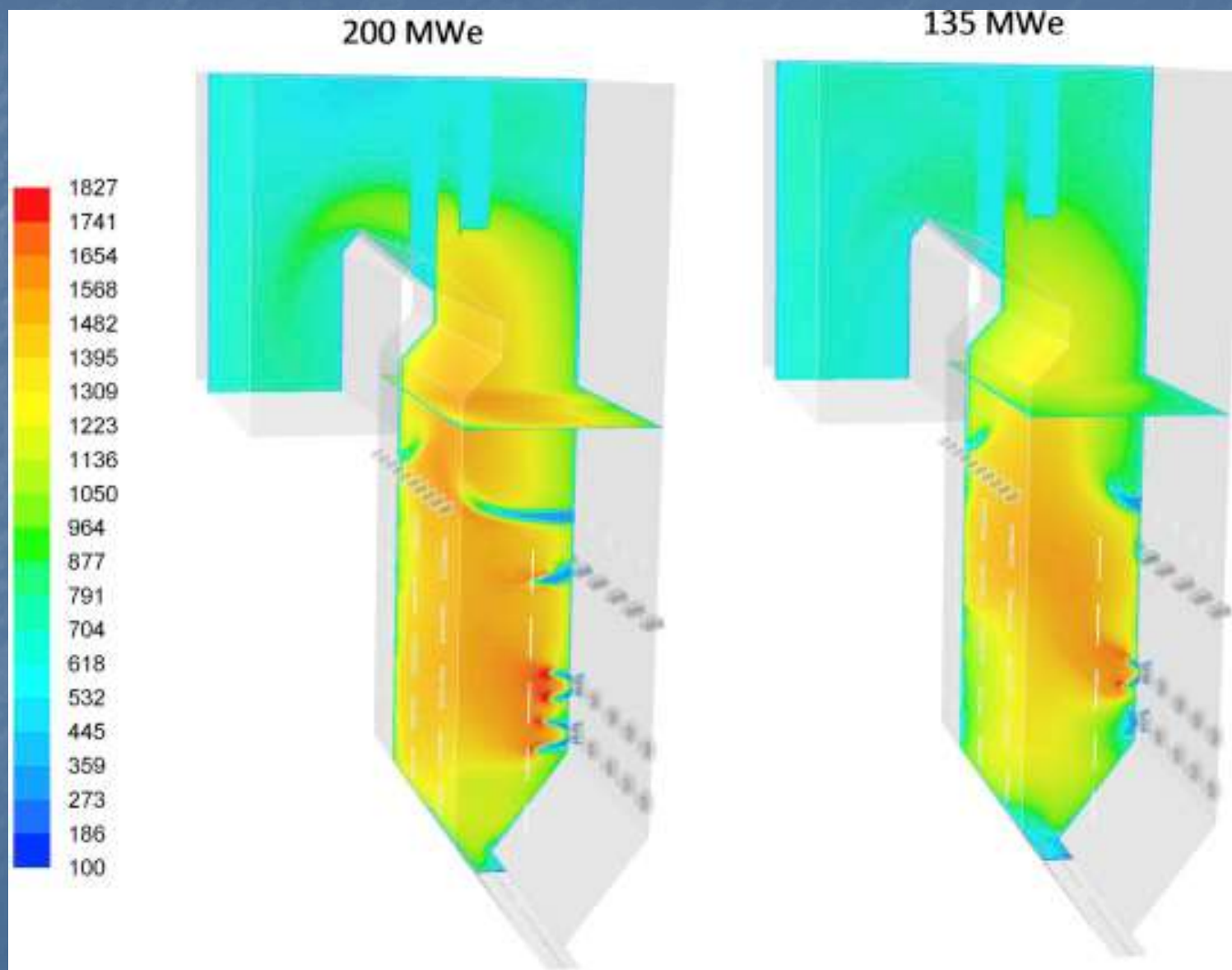


# Modelování ohnišť





# Modelování ohnišť



# 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 hořáku 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

# Návrh šířky ohniště

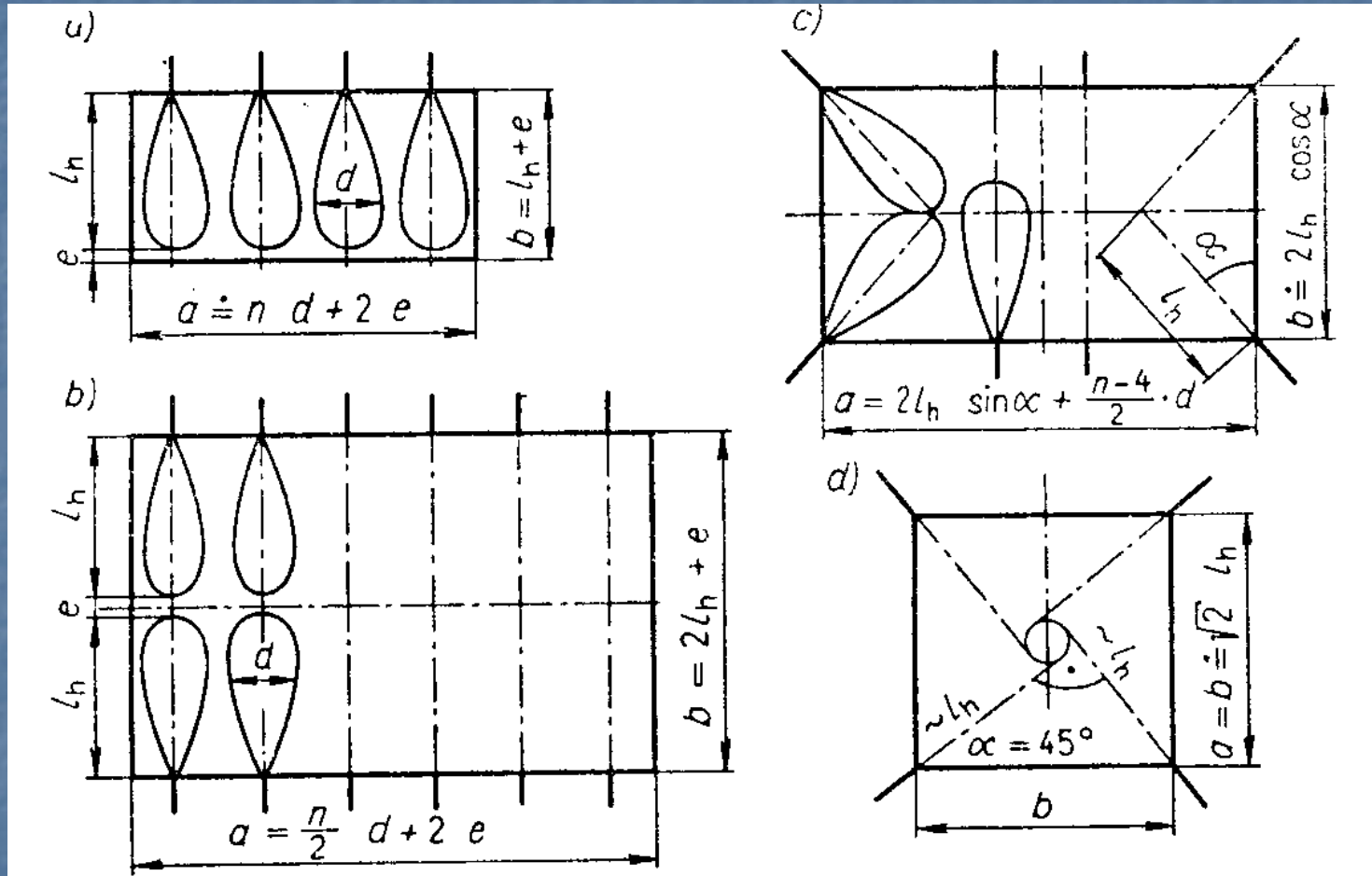
- U kotlů malých a středních výkonů se volí převážně čelní a vstřícné uspořádání hořáků, proto se nejprve vybírá potřebná hloubka ohniště

	Parní výkon kotle [t/h]						
	12	20	75	150	230	440	600 a více
Nejmenší hloubka ohniště [m]	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.

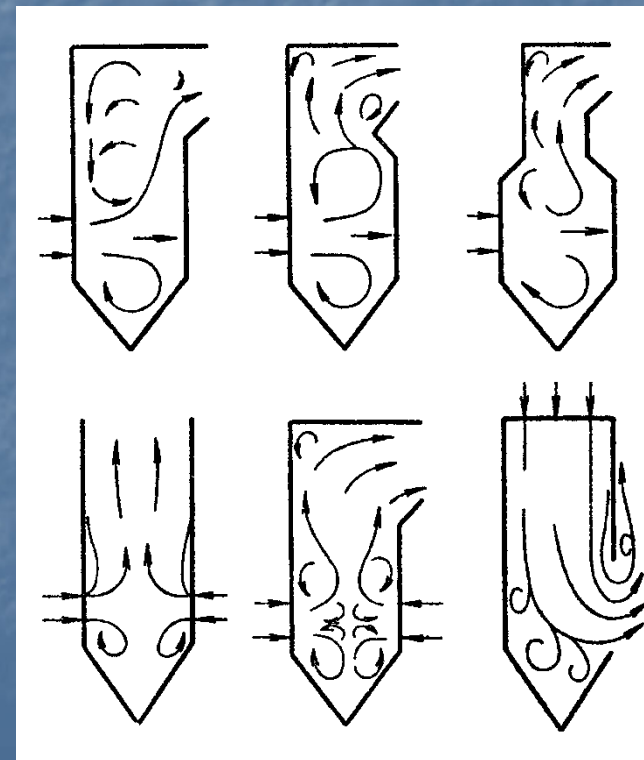


# Vliv délky plamene, počtu a výkonu hořáků na příčný průřez ohniště



# 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



# Koncepční řešení práškových kotlů s granulačním ohništěm

## Dělení

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



vstup paliva	počet a poloha tahů kotle				
		tahy svislé		tahy svislé a vodorovné	
		1 tah	2 tahy	3 tahy	2 tahy
dole	1 tah (věžový k.) I. a) podtlakové ohniště	2 tahy Π a) tahy stejné délky b) potlačen 2. tah c) odsazený ohř. vzd. α) mezera mezi tahy β) tahy u sebe	3 tahy Π a), b), c), α), β) jako u kotlů dvoutahových a), α)      a), β)	2 tahy nepravádí se	3 tahy a) tahy u sebe
	b) přetlakové ohniště	b), α)      c), β)	c), β)      b), β)	a), α) T	b) tahy odděleny
nahore	1 tah nepravádí se	2 tahy U a), β)      a), β)	3 tahy U nepravádí se	2 tahy L nepravádí se	3 tahy provedení souměrné
	dnes se již nepoužívá				

# Jednotahové (věžové) uspořádání

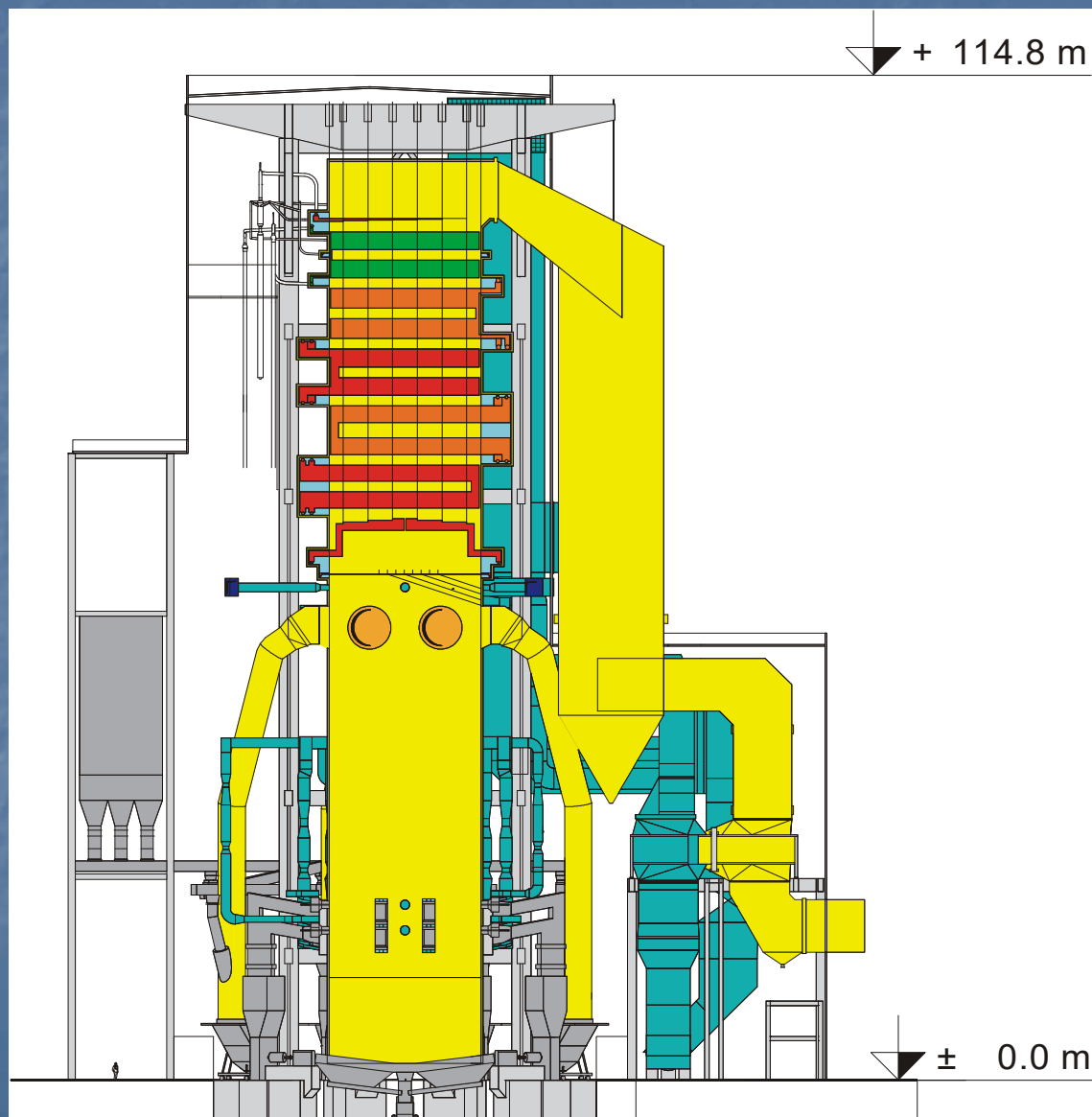
## ■ Výhody

- 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

# Jednotahové (věžové) uspořádání

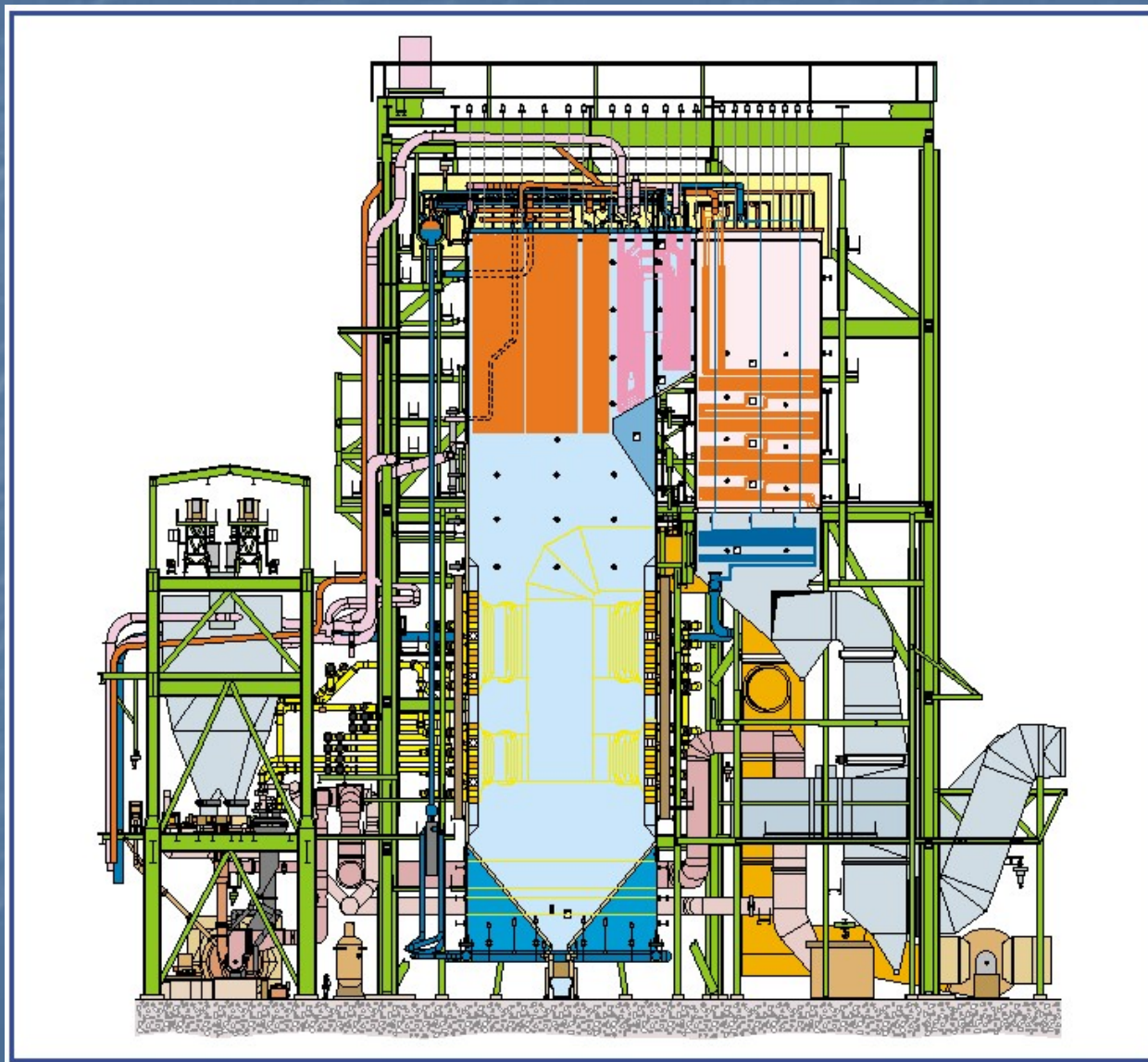




# Dvoutahové uspořádání tvaru $\Pi$

- 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 využité obratové komory,
  - obtíže s umístěním velkého rekuperačního ohříváku ve 2. tahu => ohřívák vzduchu se proto často umísťuje na samostatné nosné konstrukci (Ljungstroem vždy)

# Dvoutahové uspořádání tvaru Π



# 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



# Třítahové uspořádání s tahy za sebou

