

## Základy spalování

- Palivo, druhy, palivové zdroje a jejich spotřeba
- Tuhá paliva, vlastnosti, charakteristiky
- Charakteristika kapalných a plyných paliv
- Energetická hodnota paliva, spalné teplo, výhřevnost
- Statika spalování tuhých a kapalných paliv
- Statika spalování plyných paliv
- Součinitel přebytku spalovacího vzduchu
- Nedokonalé spalování, Ostwaldův trojúhelník
- Tvorba znečišťujících látek při spalování
- Tvorba a snižování emisí  $\text{NO}_x$
- Tvorba a snižování emisí  $\text{SO}_2$ , CO a tuhých látek
- Tvorba a snižování emisí  $\text{CO}_2$
- Základní typy spalovacích zařízení
- Účinnost spalování a spalovacích zařízení



# Rozdělení paliv

## Podle stáří :

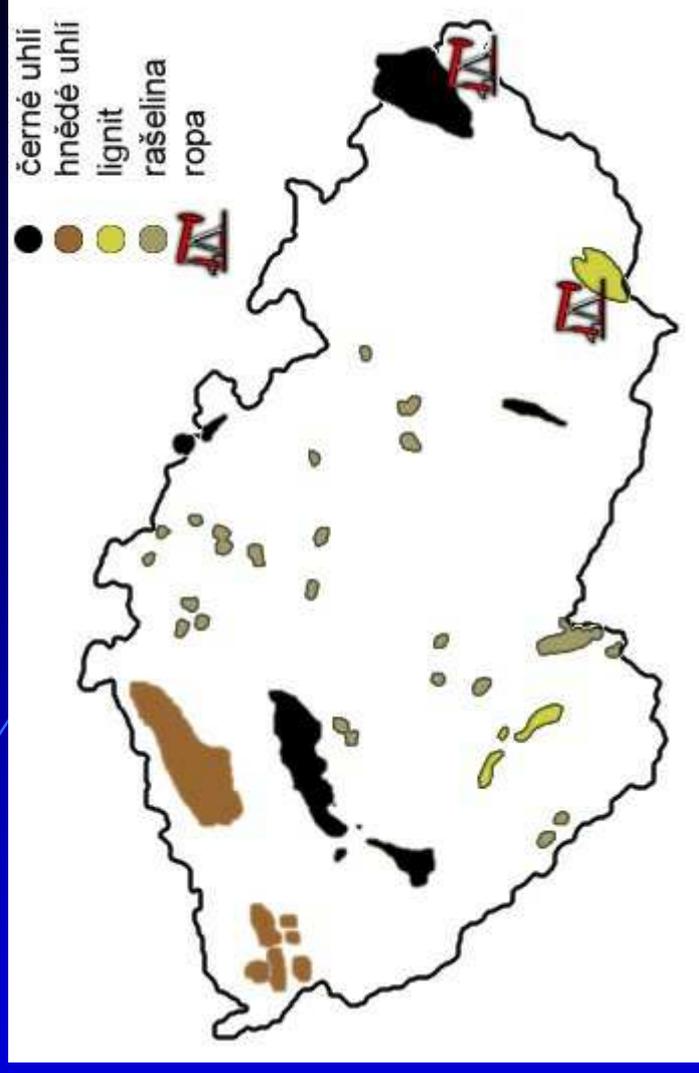
- fosilní – uhlí, plyn
- recentní – dřevo, biomasa

## Podle skupenství :

- tuhá
- kapalná
- plynná

## Podle původu :

- přírodní
- umělá
- ušlechtilá paliva
- chemické suroviny



# Zásoby paliv

Záleží na výkupní ceně

Velikost zásob:

- uhlí – 150-200 let 75 %
- ropa – 40 – 50 let 14 %
- zemní plyn – 50 – 70 let 11 %



# Charakteristiky uhlí

- ✓ výhřevnost hořlaviny uhlí
- ✓ výhřevnost prchavé hořlaviny
- ✓ reologické (deformační) vlastnosti popela
- ✓ granulometrie surového uhlí a prášku
- ✓ melitelnost uhlí
- ✓ napuchavost
- ✓ spékavost
- ✓ náchylnost k samovznícení na skládce a v zásobníku
- ✓ homogenita paliva



# Fyzikální vlastnosti uhlí

- ✓ spalné teplo
- barva
- lesk
- skutečná a zdánlivá měrná hmotnost
- pevnost, tvrdost, křehkost, lom, štěpnost
- měrné teplo
- tepelná a elektrická vodivost
- dehtovitost
- obsah huminových kyselin (vznikají rozkladem organických látek)
- koksovateľnost



# Rozbor paliva

## *Hrubý rozbor*

- běžně se provádí v elektrárnách a teplárnách
- zaměřen pouze na obsah vody, popeloviny a hořlaviny

$$h + A + w = 1$$

*kde:*

- h** obsah hořlaviny v palivu
- A** obsah popeloviny v palivu
- w** obsah vody v palivu



# Rozbor paliva

## *Prvkový (elementární) rozbor hořlaviny*

- záležitost laboratoří, výjimečně i elektráren a tepláren
- prchavá hořlavina – není možno provést analýzu
- hořlavina – aktivní prvky – C, H, S
  - pasivní prvky – N, O

$$C + H + N + O + S_{spal} = 1$$

kde:

C, H, N, O, S    procentuální obsah prvků v hořlavině uhlí



# Hrubý rozbor uhlí

|  |              |                            |                       |
|--|--------------|----------------------------|-----------------------|
| uhlí v původním stavu (surové, těžené) |              |                            |                       |
| přítěž (balast)                        |              | hořlavina U (uhelná hmota) |                       |
| voda veškerá $W_t^r$                   | popelovina M |                            |                       |
| voda hrubá $W_{ex}$                    | zbylá $W_h$  | sušina                     |                       |
|  | popel $A^r$  | $\Delta V$                 | prchavá hořlavina     |
|  |              |                            | zdanlivá prchavá h. V |
|  |              |                            | zdanlivá hořlavina    |
|  |              |                            | tuhy uhlík $C_{fix}$  |



# Hořlavina

- vytvořila se z hořlavých původních organických látek
- podíl prchavé a neprchavé hořlaviny určuje koksovací zkouška
- ochlazením prchavých složek se získá karbonizační plyn, dehet a voda
- tuhý zbytek po koksování vzorku je tvořen neprchavou hořlavinou (tuhým uhlíkem) a popelovinami přeměněnými při žhání
- výhřevnost hořlaviny  $Q^h_i$  [kJ.kg<sup>-1</sup>] má prakticky konstantní hodnotu pro určitý revír
- příklady výhřevností hořlaviny různých paliv

| Palivo           | $Q^h_i$<br>[kJ.kg <sup>-1</sup> ] | Palivo            | $Q^h_i$<br>[kJ.kg <sup>-1</sup> ] |
|------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Dřevo            | 17 600                            | Kladenské uhlí    | 31 000                            |
| Lignity          | 26 000                            | Svatoňovické uhlí | 33 500                            |
| Rašeliny         | 24 800                            | Ostravské uhlí    | 34 400                            |
| Vysokopecní koks | 33 300                            | Plynárenský koks  | 33 300                            |

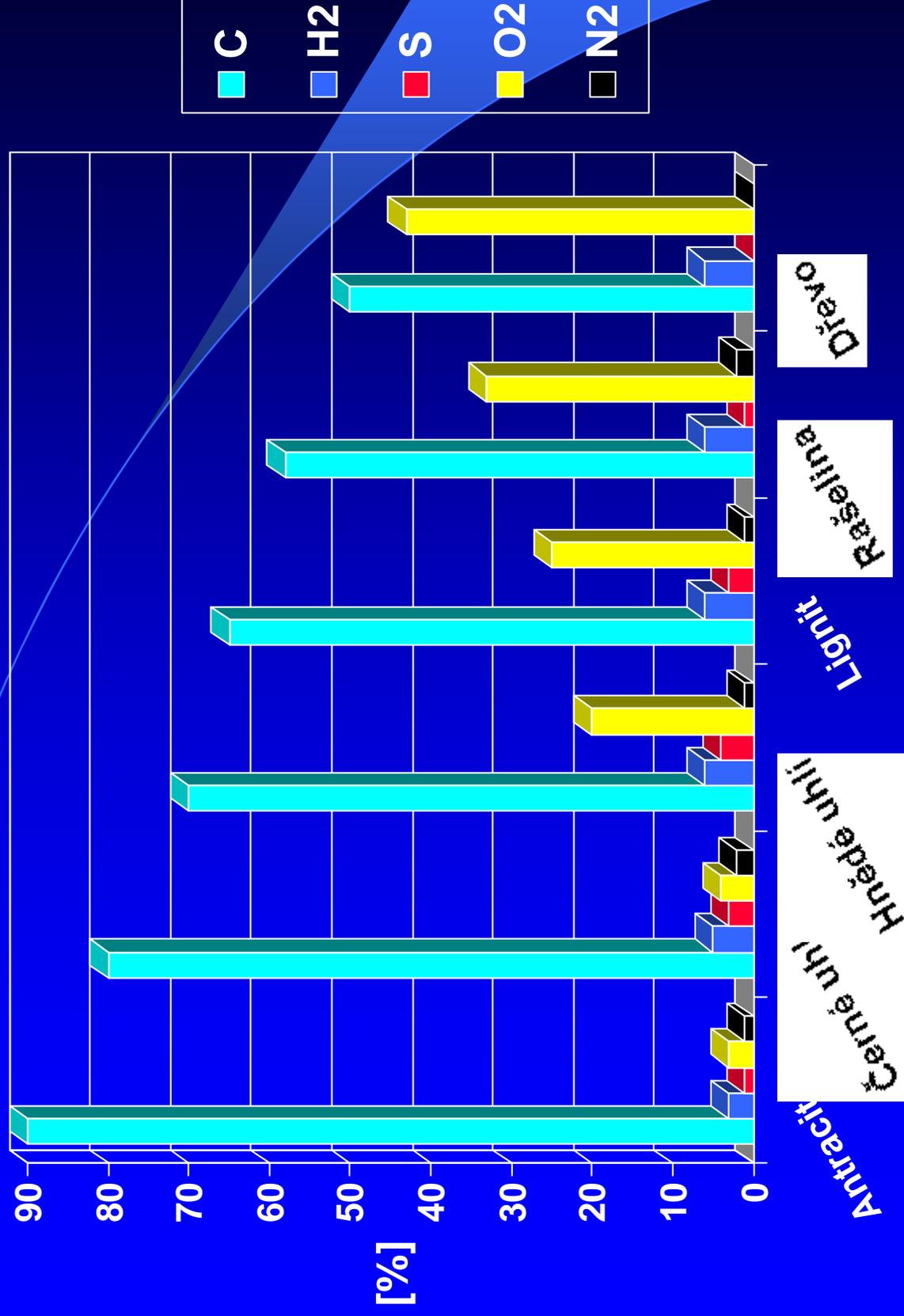


# Složení hořlaviny tuhých paliv

| Složka<br>hořlaviny<br>% | Antracit | Uhlí  |         | Lignit  | Rašelina | Dřevo   |
|--------------------------|----------|-------|---------|---------|----------|---------|
|                          |          | černé | hnědé   |         |          |         |
| C                        | 90-93    | 72-92 | 64-77   | 61-69   | 54-61    | 49-51   |
| H <sub>2</sub>           | 2-4      | 4-6,3 | 4-7,8   | 5-5,8   | 5,5-6    | 6       |
| S                        | 0,5-2    | 2-16  | 0,5-7,5 | 1,5-8   | 0,3-0,5  | 0,03    |
| O <sub>2</sub>           | 2-4      | 0,5-7 | 14-27   | 22-28   | 33-34    | 42-44   |
| N <sub>2</sub>           | 1-1,2    | 1-1,8 | 0,6-1,3 | 0,7-1,3 | 2,2-2,5  | 0,2-0,5 |



# Složení hořlaviny v grafu



# Prchavá hořlavina

## *Prchavá hořlavina $V^{\text{daf}}$*

- množství plynné látky uvolněné z hořlaviny zahříváním za nepřístupu vzduchu při 300-800 °C
- obsah závisí na geologickém stáří (stupeň prouhelnatění paliva)
- geologicky starší palivo má menší prchavou hořlavinu
- uhlí s velkou prchavou hořlavinou se snadno vzněcuje, ale obtížně vyhořívá

| Palivo     | $V^{\text{daf}}$ [%] | Palivo     | $V^{\text{daf}}$ [%] |
|------------|----------------------|------------|----------------------|
| Koks       | 0 až 5               | Hnědé uhlí | 45 až 60             |
| Antracit   | 5 až 10              | Rašelina   | 60 až 73             |
| Černé uhlí | 10 až 45             | Dřevo      | 73 až 88             |



# Obsah vody

- geologicky starší uhlí obsahuje méně vody
- při spalování voda zvětšuje objem spalin a tím i komínovou ztrátu
- snižuje spalovací teplotu
- prodlužuje dobu zapalování paliva
- vlhké palivo se špatně mele (vyžaduje předsoušení)
- větší vlhkost spalin zvyšuje rosný bod (nebezpečí koroze teplosměrných ploch na konci kotle)
- vlhké palivo v zimě může až zamrznout
- voda je vázána různým způsobem
- rozdělení jednotlivých druhů vod udává norma ČSN 44 1350



# Druhy vod v palivu

## *Přimíšená voda*

- po vytěžení, lze ji odstranit mechanicky - filtrací, odstředěním ( např. kaly nebo praná uhlí )

## *Povrchová voda*

- voda ulpívající na povrchu zrn paliva, odstraňuje se mechanicky nebo odsátím filtračního papíru

## *Hrubá voda*

- voda odpařující se při volném vysýchání rozdrčeného vzorku na vzduchu (do 40 °C, vlhkost vzduchu cca 50%)

## *Hygroskopická (zbytková) voda*

- voda kapilárně vázaná (zbytek po odpaření hrubé vody)
- uvolňuje se sušením analytického vzorku paliva (zrno pod 0,2 mm) za zvýšené teploty při 105 °C



# Druhy vod v palivu

## *Volná voda*

- celkový obsah vody přimíšené - povrchové a hrubé

## *Veškerá voda*

- celkový obsah vody přimíšené, hrubé a zbytkové

## *Hydrátová voda*

- krystalová voda minerálů, voda chemicky vázaná na popeloviny, běžně se neurčuje, uvolní se při teplotách rozkladu paliva

## *Okludovaná voda*

- chemicky vázaná na hořlavinu , běžně se neurčuje, je zahrnuta v prchavé hořlavině a uvolní se rovněž až při teplotách rozkladu paliva



# Popelovina

- minerální složky v palivu
- převážně komplexní křemičitany hliníku, hořčíku, vápníku, železa, sodíku a draslíku
- volný  $\text{SiO}_2$ , uhličitán vápenatý, hořečnatý a železnatý, sulfáty, kyslíčníky železa
- malá množství alkalických kovů
- řada jiných minerálů ve stopových množstvích
- *vlastní (vnitřní) popelovina*
  - syngenetická - pochází z rostlin, je v hořlavině rovnoměrně rozptýlena, je jí asi 2%
  - epigenetická – zanesena do uhlí během geologických změn a její množství kolísá
- *přimíšená (vnější) popelovina*
  - hlušina nadloží, mezivrstev a podloží způsobná těžbou uhlí
  - proplástky – uhlí obsahující velký podíl přimíšených popelovin
  - přimíšená popelovina se při zvýšených požadavcích na kvalitu uhlí odstraňuje



# Popel

- vzniká spalováním a postupným zahříváním popelovin, mění se jejich složení i hmotnost
- hmotnost popeloviny a popela se liší v důsledku ztráty hydrátové vody, úniku některých prchavých kyslíčků, oxidace nebo rozpadů některých minerálů při teplotách nad 400°C
- změny a reakce probíhají převážně v oxidačním prostředí, čímž vzniká směs kyslíčků
- $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}$  aj.
- popel může obsahovat stopové prvky As, B, Be, Ge, Pg, Cd, Au, Ni, Ba, Se, Zn, V, Zr, U aj.
- škvára - při spalování dosáhl popel teploty tavení a nastalo spojení zrn ve větší celky
- struska - minerální zbytky paliva po spálení nad teplotou tečení popela, tvoří sklovitou hmotu
- popílek - drobné minerální částice unášené spalinami (výsyvky kotlů, se spalinami z kotle)



# Definice charakteristik uhlí

## *Frakční charakteristika*

- procentuální hmotnostní podíly zrn  $Y_x$  v určitém rozsahu velikosti zrn

## *Zbytková (rozseková) charakteristika*

- procentuální podíl zrn, která zůstanou na síť příslušné velikosti

$$R_x = \frac{\Delta m_{(x \text{ až } x_{\max})}}{m_{\text{celk}}}$$

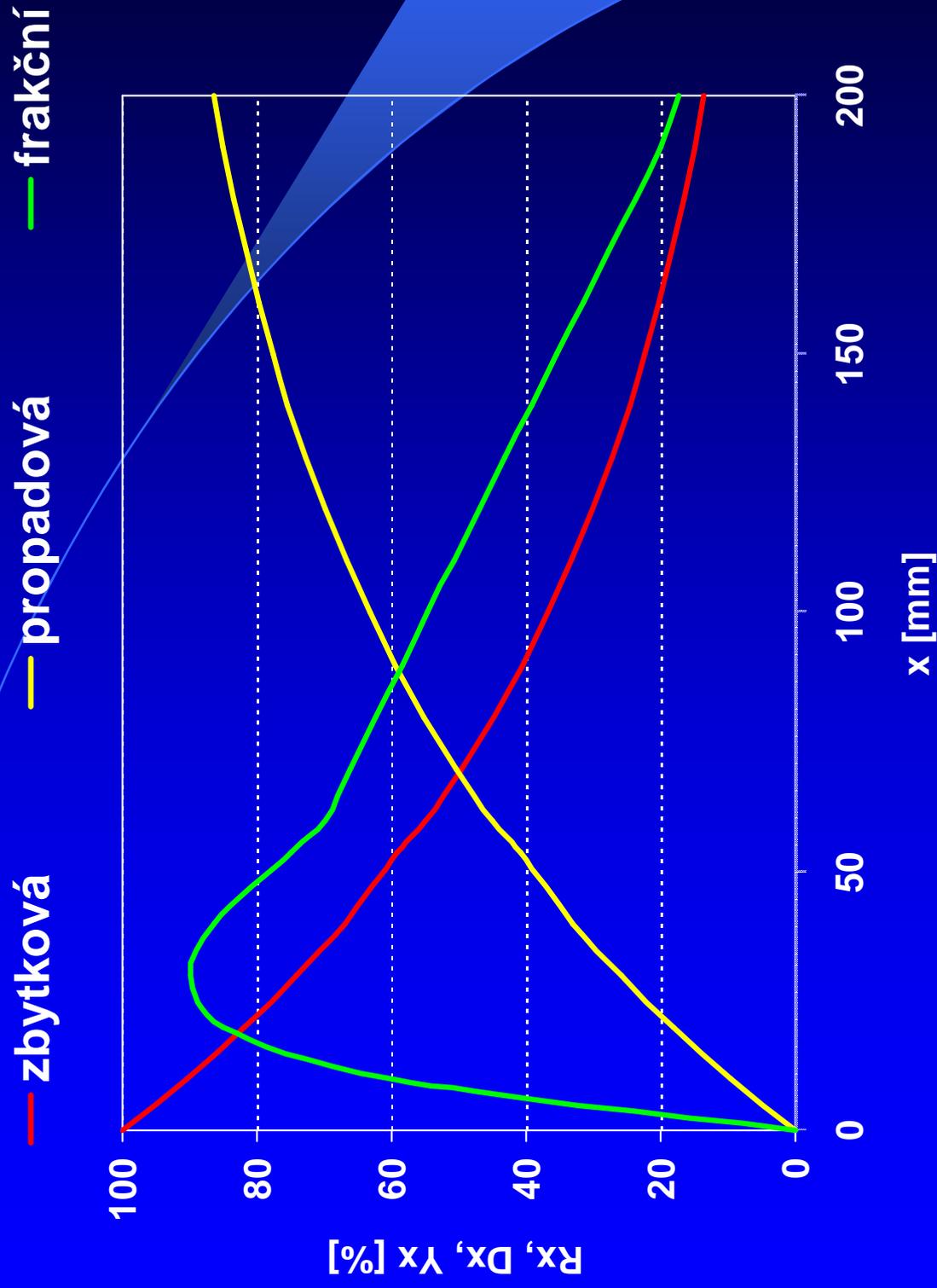
## *Propadová charakteristika*

- komplementární ke zbytkové charakteristice
- procentuální podíl zrn, která propadnou sítem určité velikosti

$$D_x = 100 - R_x \quad [\%]$$



# Charakteristiky uhlí



# Rozsekový zákon

Zbytková charakteristika

- vyjadřuje se empirickým vzorcem, který dosti matematicky přesně vystihuje charakter rozsevového zákona. Výpočetní vzorec je Rosinův-Rammlerův

$$R_x = e^{-bx^n} = e^{-(x/x_0)^n} \quad [kg.kg^{-1}]$$

kde:

- exponent  $n$  vystihuje vnitřní skladbu velikosti zrn, čím je  $n$  větší, tím je zrnění rovnoměrnější, a tedy tím více se blíží monodisperzní skladbě
- koeficient  $b$  vyjadřuje způsob a jemnost mletí
- parametr  $x_0$  je charakteristikou zrnitosti, jeho velikost plyne z podmínky, že zbytek na síť  $x_0$  je
- $x$  udává velikost zrn

$$R_{x_0} = \frac{1}{e} = 0,368 \quad kg.kg^{-1}, \quad \text{resp.} \quad R_{x_0} = 36,8\%$$



# Třídy zrnění uhlí

| Černé uhlí |         |         | Hnědé uhlí |         |         |        | Koks    |        |        |        | Polokoks |        |       |      |
|------------|---------|---------|------------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|-------|------|
| Značka     | Třída   | [mm]    | Značka     | Třída   | [mm]    | Značka | Třída   | [mm]   | Značka | Třída  | [mm]     | Značka | Třída | [mm] |
| ku         | kusy    | 80až120 | ku         | kusy    | 80až120 |        |         |        | h      | hrubý  | 10až40   |        |       |      |
| ko         | kostka  | 50až80  | ko         | kostka  | 50až80  | slk1   | slév.1  | nad 90 | d      | drobn. | 0až40    |        |       |      |
| o1         | ořech 1 | 30až50  | o1         | ořech 1 | 30až50  | slk2   | slév.2  | 60až90 | p      | prach  | 0až10    |        |       |      |
| o2         | ořech 2 | 18až30  | o2         | ořech 2 | 18až30  | ku     | kusy    | nad 80 |        |        |          |        |       |      |
| hr         | hrášek  | 10až18  | hr         | hrášek  | 12až18  | vk     | hutnic. | nad 40 |        |        |          |        |       |      |
| hp         | hrubý   | 0až10   | kr         | krupice | 8až12   | ko     | kostka  | 60až80 |        |        |          |        |       |      |
|            | prach   |         |            |         |         | o1     | ořech1  | 40až60 |        |        |          |        |       |      |
| p          | prach   | 0až6    | hp         | hrubý   | 0až12   |        |         |        |        |        |          |        |       |      |
|            |         |         |            | prach   |         | o2     | ořech2  | 20až40 |        |        |          |        |       |      |
| le         | letek   | 0až0,5  | p          | prach   | 0až20   |        |         |        |        |        |          |        |       |      |
| h          | hrubé   | 30až80  | d          | drobné  | 0až20   | hr     | hrášek  | 10až20 |        |        |          |        |       |      |
|            | uhlí    |         |            | uhlí    | 0až30   | p      | prach   | 0až10  |        |        |          |        |       |      |
|            |         |         |            |         | 0až40   |        |         |        |        |        |          |        |       |      |



# Melitelnost uhlí

- udává velikost odporu, který uhlí klade při dezintegraci v porovnání s etalonem
- závisí na vnitřní struktuře uhlí a obsahu vody
- dobrá melitelnost uhlí je výhodná z hlediska nákladů na mletí prášku
- špatná melitelnost je příznivá z hlediska dopravy a překládání paliv pro spalování na roštích
- melitelnost se určuje v laboratořích na zkušebních mlýnech (tři druhy zkoušek)

Dva přístupy srovnání uhlí:

- *podle stálé jemnosti* – srovnání množství energie vynaložené na semletí uhelného vzorku s etalonem na stejnou zrnitost uhlí
- *podle stálé energie* – srovnává se přírůstek měrného povrchu odpovídající stejně vynaložené energii jako pro porovnávací etalon (měrná mlecí práce v kWh.t<sup>-1</sup>)



# Výhřevnost a spalné teplo

## *Výhřevnost $Q_i$*

- množství tepla uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na výchozí teplotu 20 °C za vzniku vody ve formě páry (jen definice v praxi neuskutečnitelné), [kJ kg<sup>-1</sup>]

## *Spalné teplo $Q_n$*

- teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na teplotu 20 °C, dojde ke kondenzaci vodní páry, [kJ kg<sup>-1</sup>]

Přepočít mezi jednotlivými tepley vyjadřuje vzorec:

$$Q_i = Q_n - 2453 \cdot (W + 9 \cdot H_2)$$



# Stanovení výhřevnosti

## *Kalorimetrický způsob*

- výhřevnost se vypočte ze spalného tepla, které se stanoví spálením 1 g paliva v kyslíkové atmosféře při tlaku asi 2,5 MPa v kalorimetrické bombě, ponořené ve vodní lázni
- oteplení vodní lázně kalorimetru teplem uvolněným ze spalného vzorku je úměrné spalnému teplu

## *Přibližný výpočet*

- z prvkového složení paliva
- platí vždy jen pro určitou skupinu paliv

$$Q_i = 33910 \cdot C + 120580 \cdot \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 10470 \cdot S - 2453 \cdot W \quad [kJ \cdot kg^{-1}]$$

- pro mladší paliva se počítá podle Vondráčkova

$$Q_i = (37200 - 2596 \cdot C^h) \cdot C + 90960 \cdot H_2 + 10470 \cdot S - 11300 \cdot O_2 - 2453 \cdot W \quad [kJ \cdot kg^{-1}]$$



# Označování stavů

## *Horní index*

- r surové (původní) palivo - stav paliva, ve kterém se těží, dopravuje nebo spotřebovává
- a analytický vzorek – zkušební vorek, velikost zrn pod 0,2 mm, obsah vody je v rovnovážném stavu s vlhkostí laboratoře
- d bezvodý vzorek, sušina – vysušený vzorek
- h hořlavina – uzanční stav paliva bez obsahu vody a popela
- daf zdánlivá hořlavina – prchavá hořlavina



# Složení uhlí v různých stavech

*Složení surového uhlí*

$$C^r + H^r + N^r + O^r + S^r + A^r + W^r = 1$$

*Složení analytického uhlí*

$$C^a + H^a + N^a + O^a + S^a + A^a + W^a = 1$$

*Složení sušiny*

$$C^d + H^d + N^d + O^d + S^d + A^d = 1$$

*Složení hořlaviny*

$$C^h + H^h + N^h + O^h + S^h = 1$$

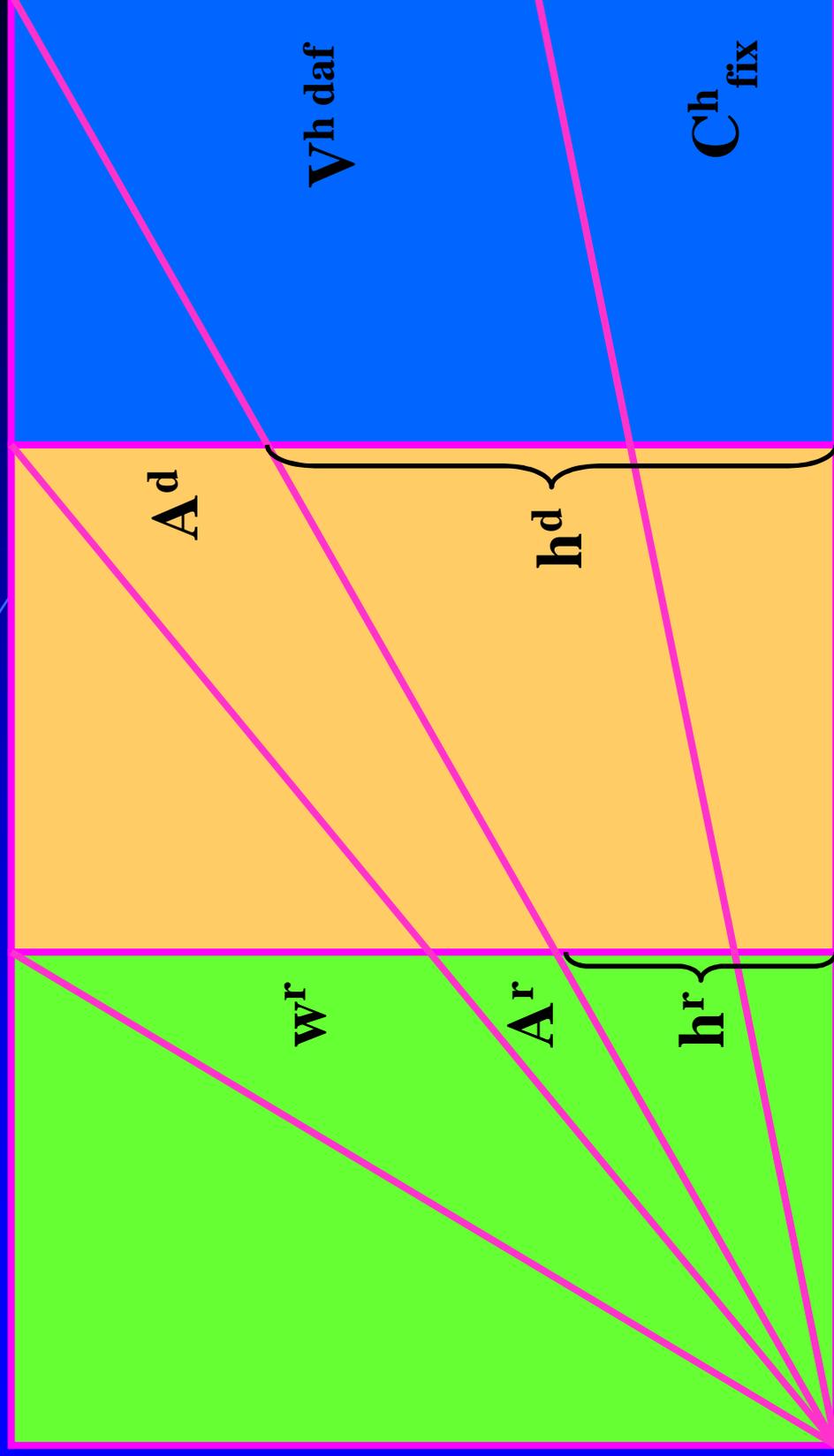


# Stavy paliva

surové uhlí

sušina

hořlavina



# Kapalná paliva

- nejužívanější jsou topné oleje - produkty zpracování ropy, dehtů, produkty přímého zpracování uhlí a hořlavých břidlic
- neupravená ropa se jako palivo používá velmi zřídka
- složení topného oleje - uhlík, vodík a kyslík, ty tvoří směs různých uhlovodíků
- obsah balastu je minimální - obsah popelovin a vody je ve zlomcích procenta
- topný olej se snadno vzněcuje (nutné pro uskladňování a zahřívání)
- teplota tuhnutí závisí na příměsi parafínu, u některých druhů je 25 °C
- přečerpávání topných olejů s vyšší teplotou tuhnutí - předeheřtí oleje na teplotu 50 až 80 °C (vybavení cisteren a nádrží parním nebo horkovodním vytápěním)
- podle měrné hmotnosti a průběhu destilační křivky se topné oleje rozdělují na lehké, střední a těžké



# Kapalná paliva

## *Porovnání s palivy tuhými*

- vyšší výhřevnost a nepatrný obsah popelovin
- nečistoty ve spalinách – ze spalovacího vzduchu
- snazší doprava a skladování
- možnost dosažení vyšší účinnosti kotle (přebytek vzduchu 1,06 – 1,1)
- lze použít kondenzačních kotlů ( u zemního plynu neobsahují spaliny SO<sub>2</sub>)
- menší investiční a provozní náklady (odpadá mletí, doprava popílku, nedochází k abrazi)
- větší regulační rozsah kotlů (20 – 100 %)
- menší emise škodlivin



# Druhy a použití kapalných paliv

| Druh oleje  | Hustota<br>kg/m <sup>3</sup> | Složení |      |     |     |     | Výhřevnost<br>Q <sub>i</sub> <sup>r</sup><br>MJ/kg |
|-------------|------------------------------|---------|------|-----|-----|-----|--|
|             |                              | %       |      |     |     |     |  |
|             |                              | C       | H    | O   | N   | S   |  |
| extra lehký | 0,84                         | 85,9    | 13   | 0,4 | -   | 0,7 | 42,7   |
| lehký       | 0,88                         | 85,5    | 12,5 | 0,8 | -   | 1,2 | 42,3   |
| střední     | 0,92                         | 85,3    | 11,6 | 0,6 | -   | 2,5 | 40,8   |
| těžký       | 0,97                         | 84      | 11   | 1,1 | 0,4 | 3,5 | 40,2   |
| dehet       | 1,05                         | 89      | 6,5  | 1,7 | 1,2 | 0,8 | 37,7   |

- jako najížděcí palivo kotlů na tuhá paliva

- ke stabilizaci hoření

- u špičkových zdrojů – dobré dynamické vlastnosti



# Charakteristiky kapalných paliv

- *bod vzplanutí* - teplota, při které se při tlaku 0,1 MPa nad hladinou oleje tvoří páry v dostačujícím množství, aby při dočasném přiblížení plamene vzplanuly ihned hasnoucím plamenem (spodní mez výbušnosti – tři třídy nebezpečnosti)
- *bod hoření* - teplota, kdy při přiblížení plamene páry nad olejem vzplanou a hoří stabilním plamenem, neboť z oleje se již odpařuje dostatek nových par, takže za přístupu vzduchu olej hoří (asi o 60 °C vyšší než bod vzplanutí)
- *bod zápalnosti (samovznícení)* - teplota, při které olej sám vzplane bez přiblížení ohně (350 - 600 °C)



# Charakteristiky kapalných paliv

- *viskozita (vazkost)* - dynamická viskozita [ $\text{Ns.m}^{-2}$ ], kinematická viskozita [ $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ] nebo v empirických jednotkách, např. ve stupních Englera [ $^{\circ}\text{E}$ ]. Viskozita oleje se mění s teplotou.
- *bod tuhnutí* - teplota, při které oleje tuhnou. Závisí na složení a viskozitě oleje (18 až 40  $^{\circ}\text{C}$ )
- *bod tečení* - teplota, při které začíná olej téci (asi o 50  $^{\circ}\text{C}$  vyšší než bod tuhnutí)
- *obsah vody* - normy připouštějí 0,5 až 1 % vody podle druhu (sražením vlhkosti vzduchu na stěnách cisteren - olej pění, může i náhle přetéci z nádrže nebo způsobit nebezpečné stoupenutí tlaku v nádrži)
- *obsah síry* - nežádoucí (zvyšuje rosný bod spalin, nízkoteplotní koroze)



# Ropa

- světle žlutá až černá kapalina
- hustotě 0,73 - 1,00 kg/m<sup>3</sup>
- směs plyných, kapalných i pevných uhlovodíků
- obsahuje 80 až 85% uhlíku, 10 až 15% vodíku, 4 až 7% síry a zbytek dusíku
- ložiska ropy jsou v hloubkách až několika stovek metrů, mezi nepropustnými vrstvami hornin a často spolu se zemním plynem

- ropa vznikla rozkladem obrovského množství odumřelých drobných organismů (živočichů) za příznivých podmínek - pod značným tlakem, za určité teploty a bez přístupu vzduchu



## TĚŽBA Z MOŘSKÉHO DŇA

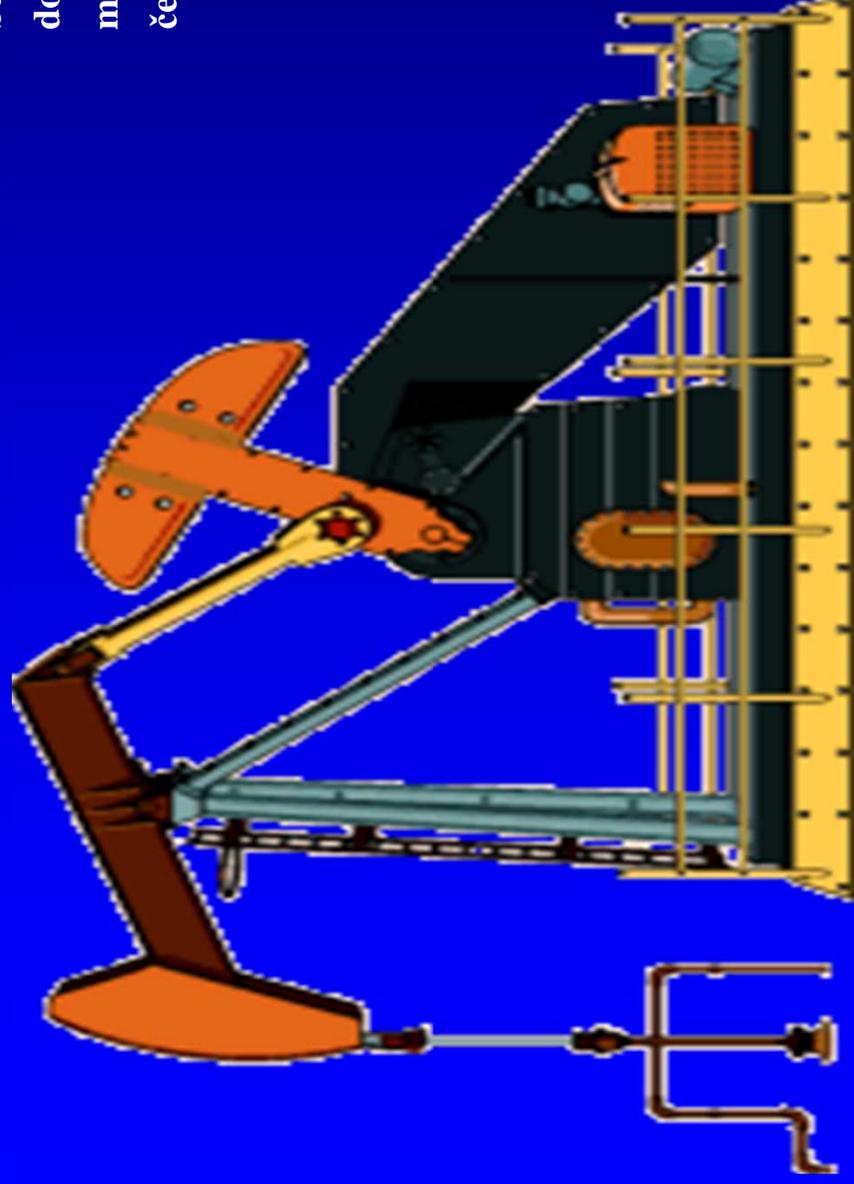
Mnohé pobřežní státy využívají pro těžbu ropy ložiska nacházející se v tzv. šelfu tj. v příbřežní části mořského dna, svažující se zvolna od čáry pobřeží.



# Těžba ropy

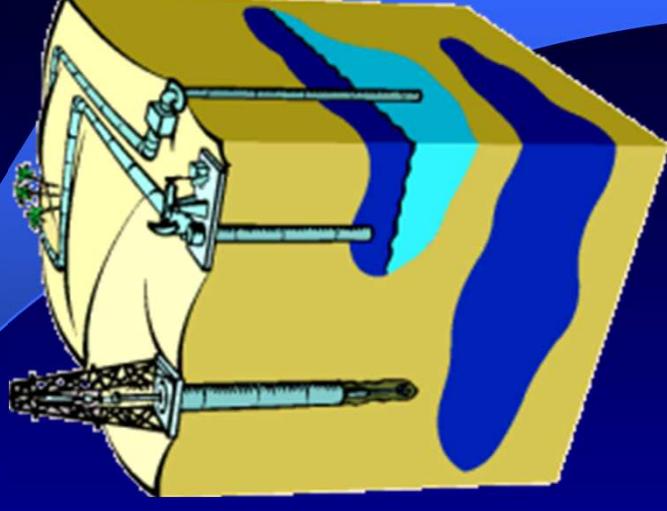
## **VRTÁNÍ**

Nejjednodušší a také často používaný způsob se nazývá vrtání nárazové.



## **TĚŽBA NA PEVNINĚ**

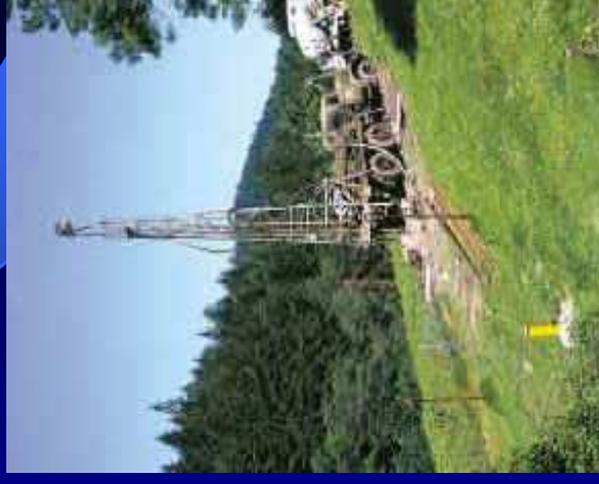
Ropná ložiska se otevírají a těží hlubinnými vrty, z nichž ropa buď sama vyvěrá, někdy dokonce tryská do mnohametrové výše, nebo se čerpá.



# Využití ropy

- zpracovává se v rafinériích
- rafinací vznikají těžší frakce (TTO, mazut)
- v dopravě se používají především její složky benzín a nafta pro pohon spalovacích motorů
- LTO lze použít také pro motory automobil

|                          |
|--------------------------|
| <b>Produkty rafinace</b> |
| <b>benzín</b>            |
| <b>nafta</b>             |
| <b>lehký topný olej</b>  |
| <b>těžký topný olej</b>  |
| <b>mazut</b>             |



# Plynná paliva

## **Přírodní plyny**

- *zemní plyn* – nejrozšířenější plynné palivo

## **Odpadní plyny**

- *degazační (důlní) plyn* – uniká z dolů při těžbě, velmi proměnlivé složení
- *vysokopecní (kychtový) plyn* – vzniká jako vedlejší produkt výroby železa
- *koksárenský plyn* – vzniká při koksování uhlí, otop koksovacích baterií

## **Uměle vyrobené plyny**

- *bioplyn* - vzniká anaerobní fermentací exkrementů zvířat - použití v kotlech na zemní plyn
- *dřevoplyn* – spalováním vznikají nánosy, kogenerační jednotky 0,2 – 4 MWe
- *generátorový plyn* – vzniká zplyňováním tuhých paliv jako hlavní produkt



# Složení plyných paliv

| Plyn         | Výhřevnost                  | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | C <sub>x</sub> H <sub>x</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> |
|--------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|------|----------------|-----------------|----------------|
|              | Q <sub>i</sub> <sup>r</sup> |                 |                |                               |      |                |                 |                |
|              | [MJ.kg <sup>-1</sup> ]      | [%]             |                |                               |      |                |                 |                |
| Metan        | 35,7                        | -               | -              | -                             | -    | -              | 100             | -              |
| Zemní        | 35,4                        | 0,1             | -              | 0,7                           | -    | -              | 98              | 1,2            |
| Vodní        | 10,5                        | 6,3             | 0,2            | -                             | 3,8  | 51             | 0,5             | 4              |
| Koksový      | 16,3                        | 2,3             | 0,8            | -                             | 6,8  | 57,5           | 22,5            | 7,8            |
| Vysokopecní  | 3,95                        | 10,5            | -              | -                             | 28   | 2,7            | 0,3             | 58,3           |
| Generátorový | 5,25                        | 5,2             | 0,2            | -                             | 28,1 | 13,3           | 0,6             | 52,4           |



# Charakteristiky plyných paliv

- *hustota*  $\rho$  - dána složením topného plynu (např. pro zemní plyn  $650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , vysokepecní plyn  $1\,220 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) - důležité kritérium pro spalovací vlastnosti a pro dopravu plynu
- *zápalná teplota* - podmíněná fyzikální konstanta, prakticky se používá jen zřídka
- *teplota vznícení* – uvedena v tabulce

| Plyn                | °C  | Plyn                            | °C  |
|---------------------|-----|---------------------------------|-----|
| Metan $\text{CH}_4$ | 645 | CO                              | 610 |
| Koksárenský         | 560 | Propan $\text{C}_3\text{H}_8$   | 510 |
| Vodík               | 530 | Acetylén $\text{C}_2\text{H}_2$ | 335 |
| Generátorový        | 700 | Etan $\text{C}_2\text{H}_6$     | 590 |



# Charakteristiky plyných paliv

- *teplota hoření* - nejvyšší dosažitelná teplota plamene
- *vlhkost plynu* - absolutní [g.m<sup>-3</sup>] nebo relativní [%], tvoří nežádoucí složku plynu
- *nečistoty v topných plynech* - [g.m<sup>-3</sup>] vyvolávají tvorbu dehtových a prachových usazenin, korozi potrubí, armatur, hořáků atp.
- *čistota topných plynů* - lze míry přizpůsobit požadovaným účelům (na rozdíl od tuhých a

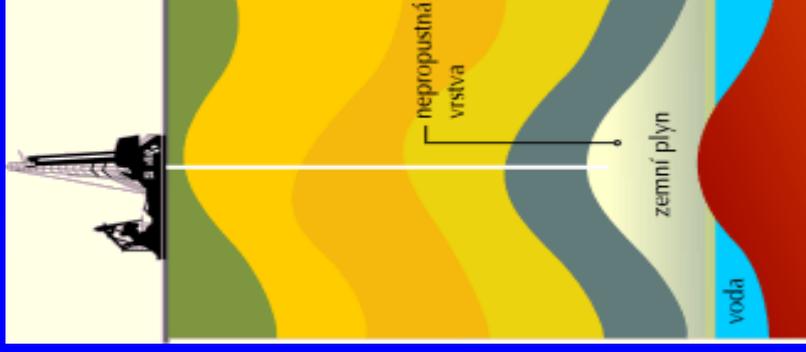
kapalných paliv)

- stupeň vyčištění plynů je dán ekonomikou čistících zařízení
- základní nečistoty - dehet, sirné sloučeniny, karbonizační benzín, naftalen, amoniak, kyanovodík



**VŠB - Technická univerzita v Ostravě, Výzkumné energetické centrum**

# Zemní plyn



- má proměnlivé složení, vždy obsahuje jako základní složku uhlovodík metan  $\text{CH}_4$  (obvykle 88 - 99,8 %)
- nejedovatý plyn bez pachu (obohacuje se páchnoucí složkou)
- při spalování nevzniká popílek, minimum  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_x$
- často se vyskytující společná ložiska ropy a zemního plynu
- tlak zemního plynu někdy způsobuje, že při navrtání ložiska ropy z něho ropa samovolně tryská
- ložiska ropy i zemního plynu bývají v různých hloubkách od 30 do 8 000 m

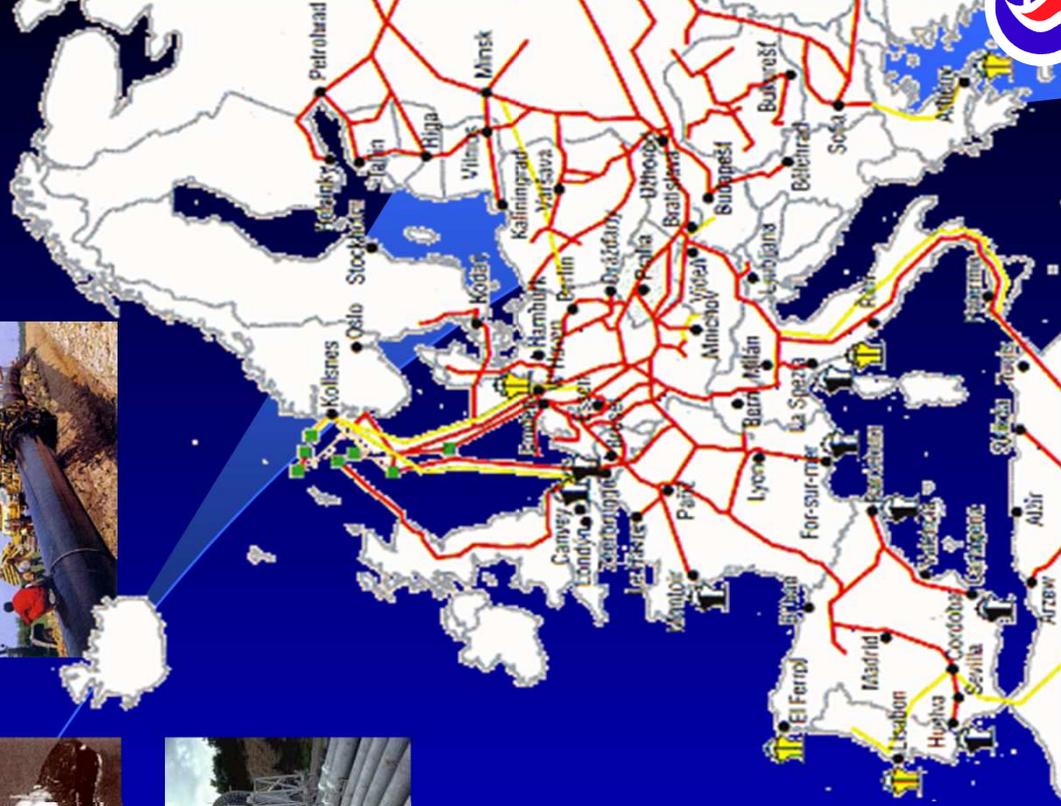


## Použití ZP

- palivo pro energetiku a automobily
- vaření 1/2 domácností
- ohřev vody a topení 1/5 domácností



# Plynovody a ložiska



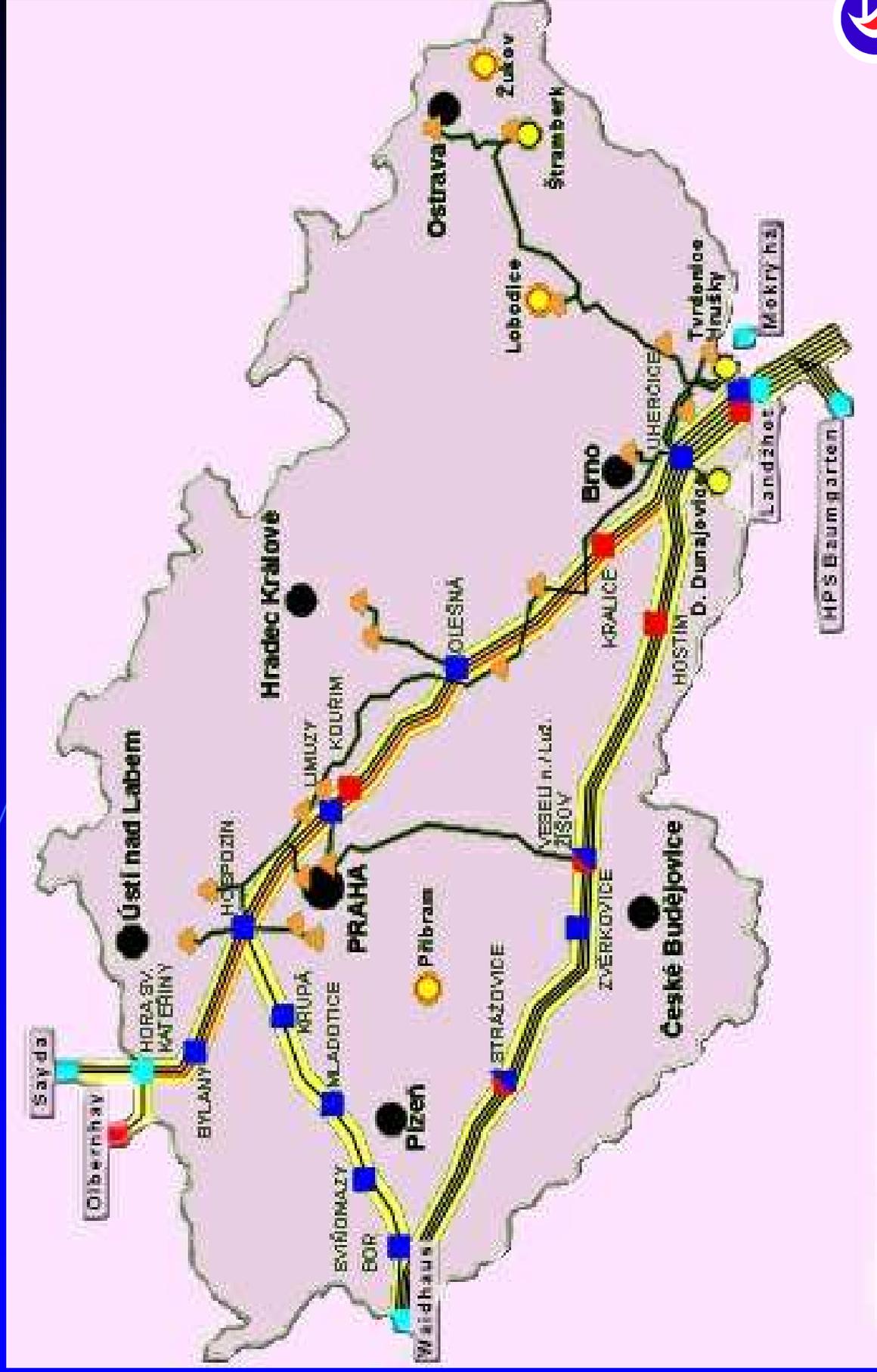
**Doprava zemního plynu v Evropě a do Evropy**

- délka plynovodů překročila 430 000 km
- Celosvětově je v provozu více než 1250 000 km vysokotlakých plynovodů
- jen asi 1,5 % zemního plynu, který je u nás ročně spotřebován, je kryto vlastní těžbou z ložisek na Hodonínsku
- zemní plyn dovážíme, zatím výhradně z Ruska

**VŠB - Technická univerzita v Ostravě, Výzkumné energetické centrum**



# Plynovody v ČR



# Spalování tuhých paliv

*Spalování* - chemická reakce probíhající při každé reálné teplotě.

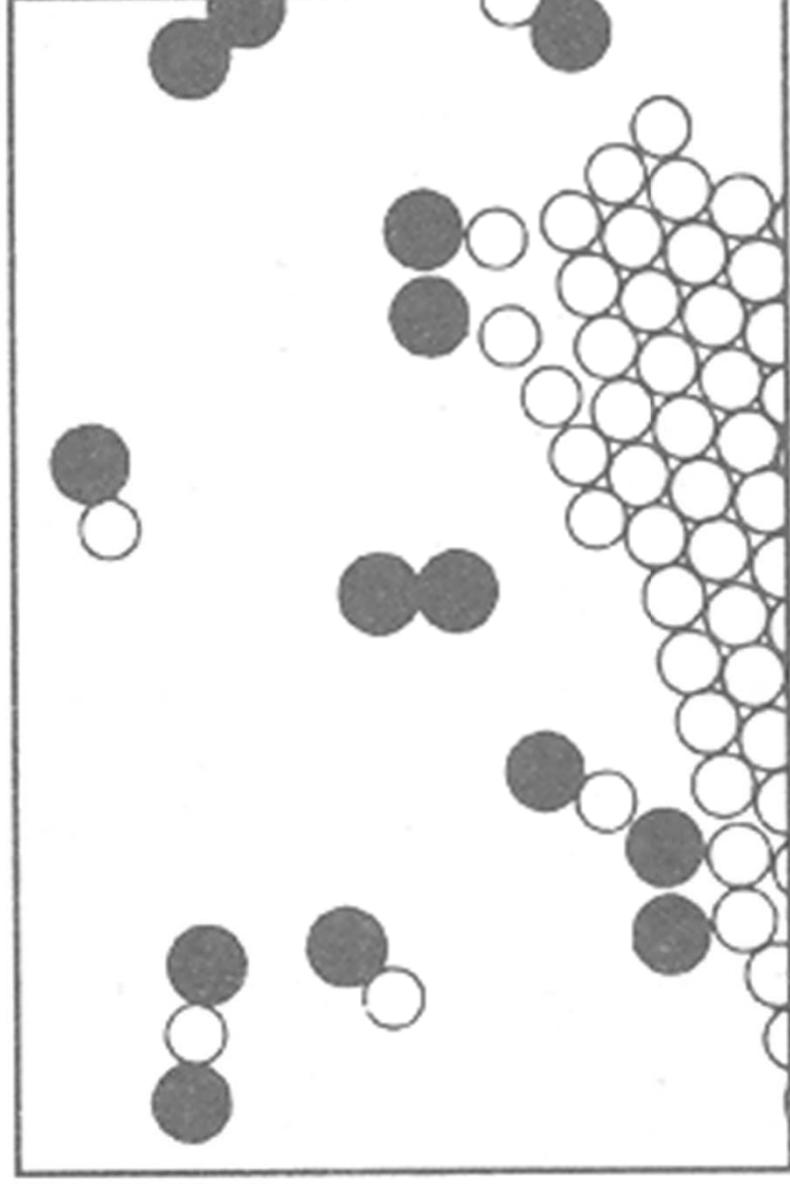
*Hoření* – fyzikálně chemický děj slučování hořlaviny s okysličovadlem za doprovodného světelného efektu a vzniku tepla, tzn. teplota produktů hoření dosáhla oblasti viditelného spektra.



*Proces, ve kterém dochází k přeskupování atomových partnerů, nazýváme chemickou reakcí*



# Uhlík hořící v kyslíku



- Spalování biomasy:

- Citát: „stromy vznikly převážně ze vzduchu. Když je spálíme vrátí se zpátky do vzduchu, přičemž se uvolní sálavé teplo, což je sálavé teplo Slunce, které bylo třeba, aby se vzduch přeměnil v dřevo stromů; trocha popela je pozůstatek té části stromů která neměla původ ve vzduchu, ale v zemi“

(Richard P. Feynman)

# Hessův zákon

- tepelný efekt reakce nezávisí na cestě, kterou reakce probíhá ke konečnému produktu, nýbrž jen na počátečním a konečném stavu soustavy
- sumární popis oxidace uhlíku:
  - $C + O_2 = CO_2 + Q_s$  (394 MJ/kmol)
- soubor dílčích reakcí:
  - $C + 0,5O_2 = CO + Q_1$  (111 MJ/kmol)
  - $CO + 0,5O_2 = CO_2 + Q_2$  (283 MJ/kmol)
- dle Hessova zákona platí:
  - $Q_s = Q_1 + Q_2$  (28% + 72%)



# statika a kinetika spalování

- teorie chemismu spalovacích reakcí se dělí na dvě části: statiku a kinetiku spalování  
statika – hodnotí kvantitativní stránku reakce (bez ohledu na čas, neexistuje přebytek ani nedostatek reagentů)

energetická bilance spalovací reakce:

$$Q_p^* M_p^* n_p + Q_o^* M_o^* n_o = Q_{sp}^* M_{sp}^* n_{sp} + Q$$

(slučovací tepla – pro rozbití vazeb atomů molekuly, p-palivo, o-oxidovadlo, sp-spaliny)  
Q – tepelný efekt reakce



# Stechiometrie spalování

*Stechiometrické spalování* – veškerý kyslík se spotřebuje na vznik produktů hoření

*Spalování* – probíhá u hořlavých složek paliva, pro tuhá paliva je to C, H, S

*Rovnice je možno vyjádřit několika způsoby:*

- molárně (součet počtů molů na levé a na pravé straně rovnice se nemusí rovnat)
- hmotnostně (hmotnost reagentů a produktů hoření je stejná)
- objemově
- kombinovaně (tuhé složky v hmotnostním vyjádření, plynné objemově)



# Stechiometrické rovnice spalování

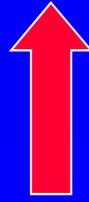
*Spalování uhlíku C*



$$12,01 \text{ kg} + 22,39 \text{ m}^3 = 22,26 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + \frac{22,39}{12,01} \text{ m}^3 = \frac{22,26}{12,01} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + 1,865 \text{ m}^3 = 1,855 \text{ m}^3$$



$$V_{O_2,t} = 1,865 \cdot C^r + \dots$$



# Stechiometrické rovnice spalování

*Spalování vodíku H*

$$H_2 + 1/2 \cdot O_2 = H_2O + 120\,580 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$2,016 \text{ kg} + 1/2 \cdot 22,39 \text{ m}^3 = 22,41 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + \frac{11,2}{2,016} \text{ m}^3 = \frac{22,41}{2,016} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + 5,553 \text{ m}^3 = 11,11 \text{ m}^3$$



$$V_{O_2,t} = 1,865 \cdot C^r + 5,553 \cdot H^r + \dots$$



# Stechiometrické rovnice spalování

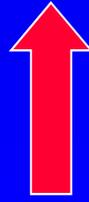
*Spalování síry S*



$$32,06 \text{ kg} + 22,39 \text{ m}^3 = 21,89 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + \frac{22,39}{32,06} \text{ m}^3 = \frac{21,89}{32,06} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + 0,699 \text{ m}^3 = 0,683 \text{ m}^3$$



$$V_{O_2,t} = 1,865 \cdot C^r + 5,553 \cdot H^r + 0,699 \cdot S^r - 0,7 \cdot O^r$$



# Výpočet množství spalovacího vzduchu

Spotřeba spalovacího vzduchu se vypočítá z množství kyslíku potřebného ke stochiometrickému spálení hořlaviny v palivu.

Vzduch obsahuje přibližně 21 objemových % kyslíku.

$$V_{vz,t}^s = \frac{1}{0,21} \cdot V_{O_2,t}$$



# Výpočet množství suchých spalin



$$12,01 \text{ kg} + 22,39 \text{ m}^3 = 22,26 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + 1,865 \text{ m}^3 = 1,855 \text{ m}^3$$



$$V_{sp,t}^s = 1,855 \cdot C^r + \dots$$



$$32,06 \text{ kg} + 22,39 \text{ m}^3 = 21,89 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} + 0,699 \text{ m}^3 = 0,683 \text{ m}^3$$



$$V_{sp,t}^s = 1,855 \cdot C^r + 0,683 \cdot S^r + \dots$$



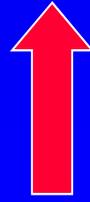
# Výpočet množství suchých spalin

Přechod dusíku z tuhé fáze v palivu na plynnou

$$2 \cdot N \Rightarrow N_2$$

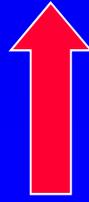
$$2 \cdot 14,007 \text{ kg} \Rightarrow 22,41 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} = 0,796 \text{ m}^3$$



$$V_{sp,t}^s = 1,855 \cdot C^r + 0,6883 \cdot S^r + 0,796 \cdot N^r + \dots$$

Přechod dusíku ze spalovacího vzduchu do spalin



$$V_{sp,t}^s = 1,855 \cdot C^r + 0,6883 \cdot S^r + 0,796 \cdot N^r + 0,79 \cdot V_{vz,t}^r$$



# Objem vodní páry ve spalinách

Přeměna vody v palivu na vodní páru



$$(2 \cdot 1,008 + 16) \text{ kg} \Rightarrow 22,41 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg} = 1,244 \text{ m}^3$$



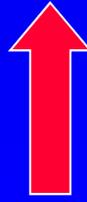
$$V_{H_2O} = 1,244 \cdot w^r + \dots$$

Přeměna chemicky vázaného vodíku v palivu na vodní páru



$$1 \text{ kg} + 5,553 \text{ m}^3 = 11,11 \text{ m}^3$$

$$2,016 \text{ kg} + 1/2 \cdot 22,39 \text{ m}^3 = 22,41 \text{ m}^3$$



$$V_{H_2O} = 1,244 \cdot w^r + 11,1 \cdot H^r + \dots$$



# Objem vodní páry ve spalinách

Součinitel zvětšení objemu spalin vzdušnou vlhkostí v přivedeném spalovacím vzduchu  $v$

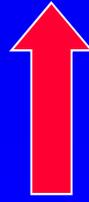
$$v = 1 + \varphi \cdot \frac{p_p''}{p_c - \varphi \cdot p_p''}$$

kde:

$\varphi$  relativní vlhkost vzduchu

$p_p''$  parciální tlak vodní páry na mezi sytosti

$p_c$  celkový tlak vlhkého vzduchu



$$V_{H_2O} = 1,244 \cdot w^r + 11,1 \cdot H^r + (v - 1) \cdot V_{vz,t}^s$$



# Výpočet množství vlhkých spalin

$$V_{sp,t}^v = V_{sp,t}^s + V_{H_2O}$$

Rychlý výpočet teoretického množství spalin lze získat ze vztahů (pro tuhá paliva):

$$V_{sp,t}^s = 0,5 + 1,012 \frac{Q_i^r}{4187}$$

$$V_{sp,t}^v = 1,375 + 0,95 \frac{Q_i^r}{4187}$$

kde: čísla jsou experimentálně určena

4187 je přepočet mezi kcal a kJ



# Přibližný výpočet množství spal. vzduchu a množství spalin

Pro dříve uvedené objemové výpočty potřebujeme provést složitou elementární analýzu paliva. Proto se velmi často výpočty vzduchu a spalin provádějí přibližně podle výhřevnosti paliva  $Q_i$  [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ], k jejímuž určení stačí běžně používaný kalorimetr. Rosin odvodil tyto vztahy :



# Přibližný výpočet množství spal. vzduchu a množství spalin

a) pro tuhá paliva

$$V_{v\min} = 0,5 + 1,012 \frac{Q_i}{4187} \quad [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$V_{s\min} = 1,375 + 0,95 \frac{Q_i}{4187} \quad [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

b) pro kapalná paliva

$$V_{v\min} = 1,7 + 0,88 \frac{Q_i}{4187} \quad [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$V_{s\min} = 1,11 \frac{Q_i}{4187} \quad [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

c) pro plynná paliva

$$V_{v\min} = 1,09 \frac{Q_i}{4187} - 0,28 \quad [m^3 \cdot m^{-3}]$$

$$V_{s\min} = 0,446 + 1,09 \frac{Q_i}{4187} \quad [m^3 \cdot m^{-3}]$$



# Spalování s přebytkem vzduchu

Proč spalování probíhá vždy s přebytkem vzduchu ?

- nelze zajistit stechiometrické spalování (netěsnosti kotle, nepřesné nastavení množství vzduchu)
- k zajištění většího procenta vyhoření hořlavých složek

*Definice přebytku spalovacího vzduchu:*

*poměr skutečného množství sp. vzduchu k teoretickému množství sp. vzduchu*

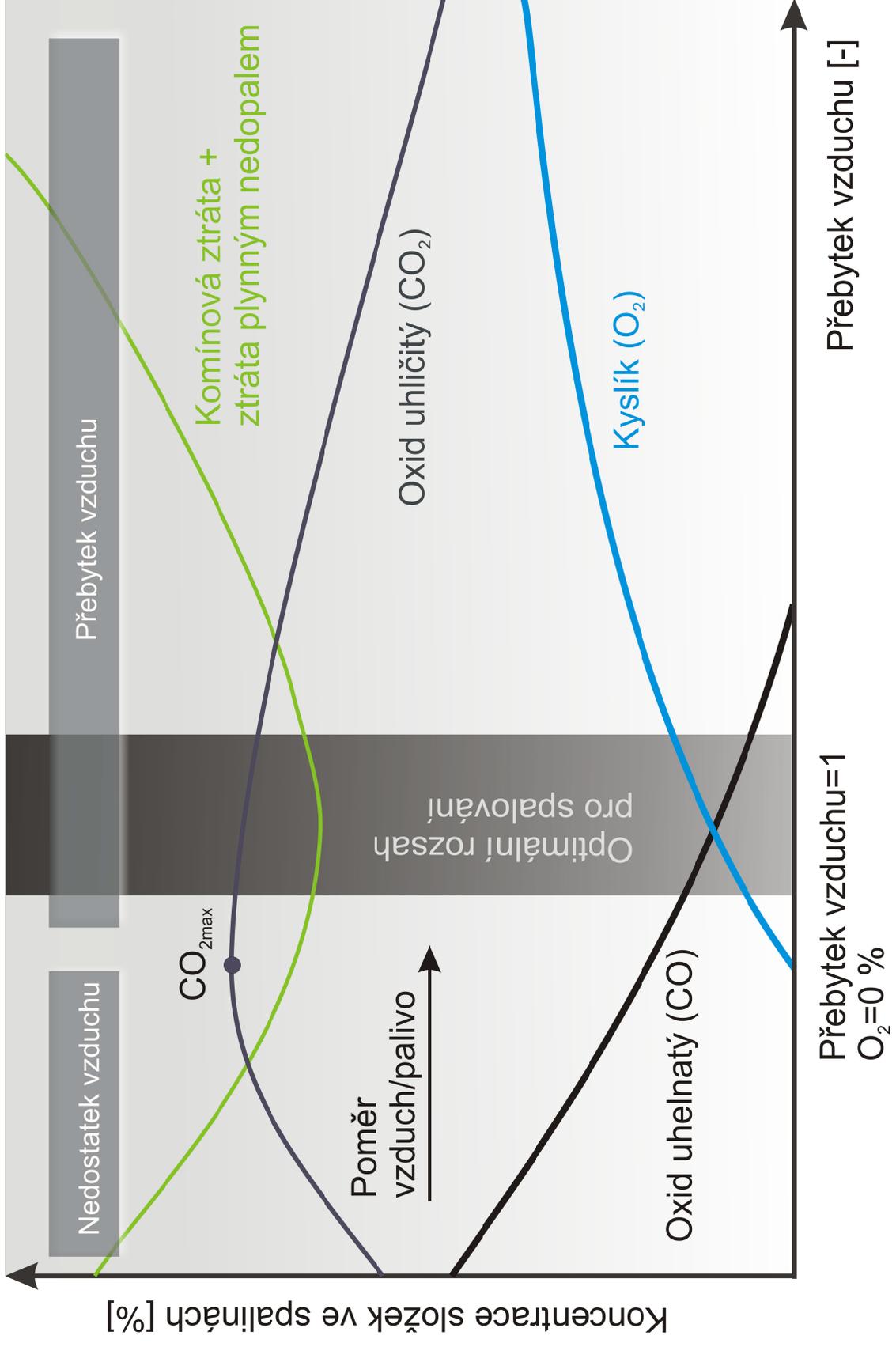
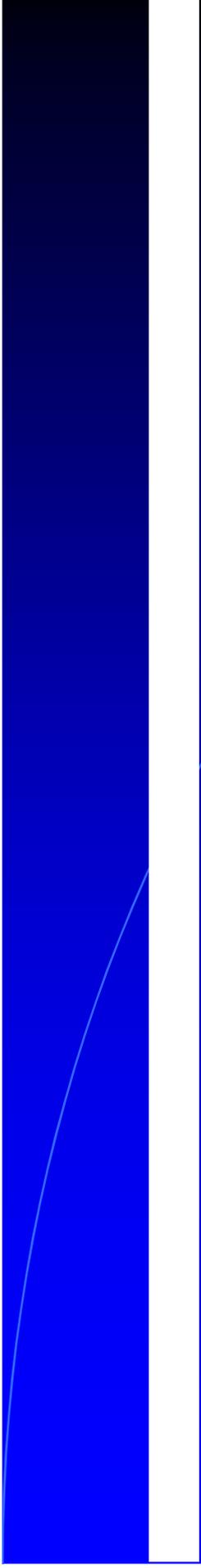
$$\alpha = \frac{V_{vz}^s}{V_{vz,t}^s} \geq 1$$



# Velikost přebytku vzduchu

- ✓ roštová ohniště 1,30 až 1,50
- ✓ prášková granulární ohniště 1,20
- ✓ prášková výtavná ohniště 1,15
- ✓ cyklónová ohniště 1,05 až 1,10
- ✓ ohniště spalující kapalná paliva 1,01 až 1,15
- ✓ plynová ohniště 1,01 až 1,10





# Výpočet přebytku vzduchu z $O_2$

- podle naměřené koncentrace kyslíku na konci spalovacího procesu
- vychází se z rovnice: přebytek kyslíku v přivedeném spalovacím vzduchu = objemové množství kyslíku ve spalinách

$$0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s = c_{O_2} \cdot V_{sp}^s$$

$$c_{O_2} = \frac{0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp}^s} = \frac{0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,t}^s + (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s}$$

$$\alpha = 1 + \frac{V_{sp,t}^s}{V_{vz,t}^s} \cdot \frac{c_{O_2}}{0,21 - c_{O_2}}$$



# Výpočet přebytku vzduchu z O<sub>2</sub>

$$\alpha = 1 + \frac{V_{sp,t}^s}{V_{vz,t}^s} \cdot \frac{c_{O_2}}{0,21 - c_{O_2}}$$

- většinou platí:

$$V_{sp,t}^s \approx V_{vz,t}^s$$

- pak se celý vztah zjednoduší na:

$$\alpha \approx \frac{0,21}{0,21 - c_{O_2}}$$



# Výpočet přebytku vzduchu z $CO_2$

- podle naměřené koncentrace  $CO_2$  na konci spalovacího procesu
- vychází se z rovnice: objemové množství  $CO_2$  v suchých spalinách naměřených =  
= maximálně možné množství  $CO_{2,max}$  ve spalinách teoretických

$$CO_2 \cdot V_{sp}^s = CO_{2,max} \cdot V_{sp,t}^s$$

$$\frac{CO_2}{CO_{2,max}} = \frac{V_{sp,t}^s}{V_{sp,t}^s + (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s}$$

$$\alpha = 1 + \left( \frac{CO_{2,max}}{CO_2} - 1 \right) \cdot \frac{V_{sp,t}^s}{V_{vz,t}^s}$$

$$V_{sp,t}^s \approx V_{vz,t}^s$$

$$\alpha = \frac{CO_{2,max}}{CO_2}$$



# Druhy spalování

- *dokonalé* – veškerá hořlavina přivedená v palivu se přemění na plynnou fázi
  - za hranici dokonalosti spalování je považována hodnota nedopalu v tuhých zbytcích po spalování do 5%
- *nedokonalé* – tuhé zbytky po spalování obsahují více než 5% nedopalu
- *podstechiometrické* –  $\alpha < 1$ , přivedené množství vzduchu nestačí na převedení veškeré hořlaviny do plynného stavu
- *stechiometrické* –  $\alpha = 1$ , za ideálních podmínek je palivu přivedeno stejné množství vzduchu jaké je potřeba na dokonalé vyhoření paliva
- *nadstechiometrické* –  $\alpha > 1$ , ve spalinách se objeví nezreagovaný kyslík



# Nedokonalé spalování

- posuzuje se podle stupně vyhoření uhlíku C
- část C shoří nedokonale na CO (a)
- část uhlíku neshoří vůbec (b)
- část uhlíku shoří na CO<sub>2</sub> (1-a-b)
- zobrazuje se do Ostwaldova trojúhelníku
- zmenšení množství CO<sub>2</sub> ve spalinách se určí podle:

$$\Delta V_{CO_2} = (a + b) \cdot \frac{22,27}{12,01} \cdot C = (a + b) \cdot 1,854 \cdot C$$



# Nedokonalé spalování

- zvětšení množství CO ve spalinách:

$$V_{CO} = a \cdot \frac{22,37}{12,01} \cdot C = a \cdot 1,863 \cdot C$$

- množství kyslíku ve spalinách navíc:

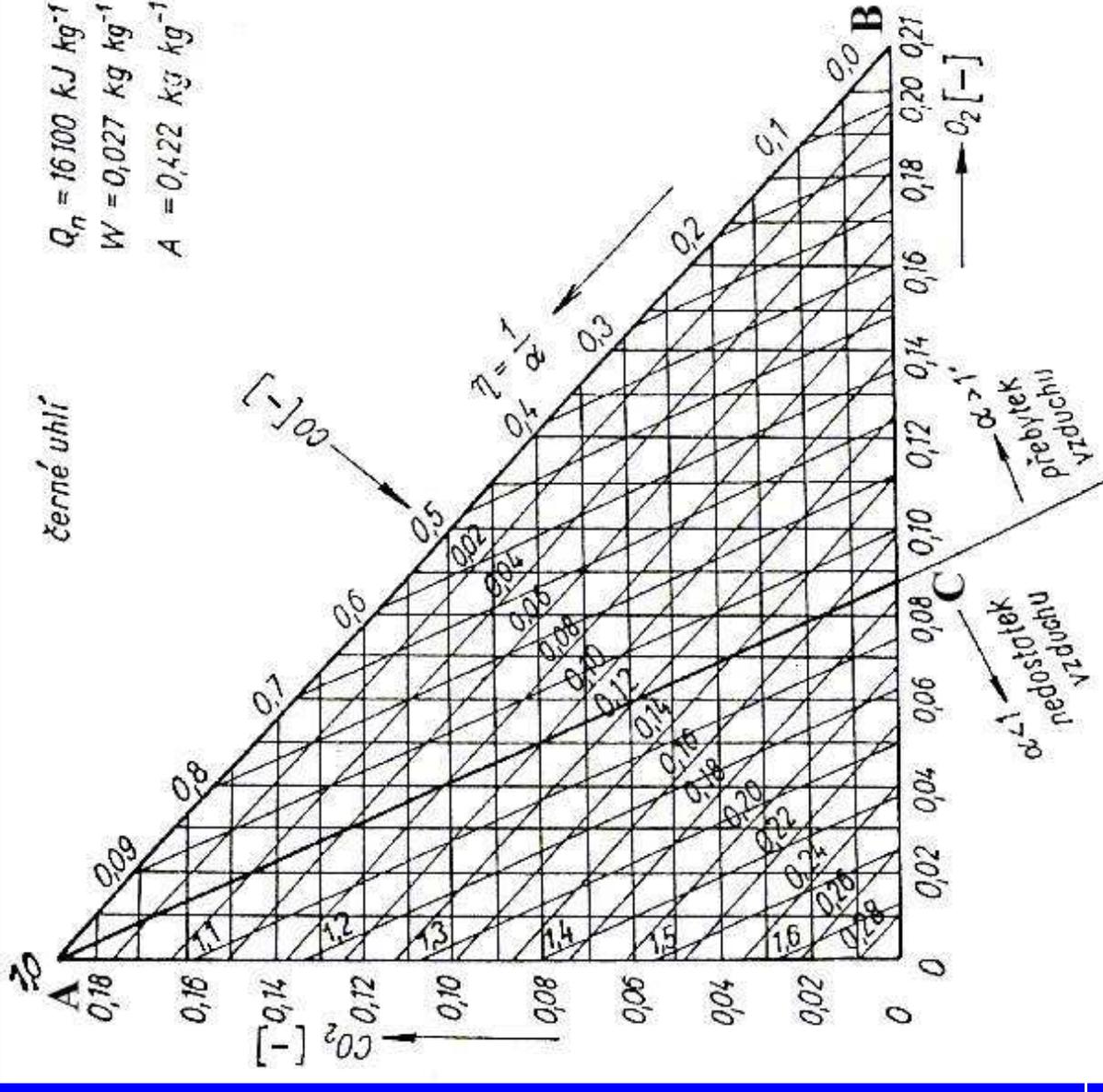
$$\Delta O_{2\min} = \frac{22,39}{2 \cdot 12,01} \cdot a \cdot C + \frac{22,39}{12,01} \cdot b \cdot C = 1,865 \cdot \left( \frac{a}{2} + b \right) \cdot C$$

- množství spalovacího vzduchu ve spalinách navíc:

$$\Delta V_{v\min} = \frac{100}{21} \cdot \Delta O_{2\min} = 8,881 \cdot \left( \frac{a}{2} + b \right) \cdot C$$



# Ostwaldův trojúhelník



- slouží ke kontrole dokonalosti spalování a stanovení parametrů spalování

- je sestaven pro konkrétní palivo

- **A** -  $\alpha = 1$ , dokonalé spalování,  $O_2 = 0$ ,  $CO_2 = CO_{2, amx}$

- **B** -  $\alpha = 0$ , dokonalé spalování,  $O_2 = 21 \%$ ,  $CO_2 = 0$

- **C** -  $\alpha = 1$ , nedokonalé spalování, veškerý C shořel na CO

- stavy dokonalého spalování leží na přepone AB

- mezi AB a AC dochází k nedokonalému spalování, lze odečíst množství CO a  $\alpha$



# Koncentrace produktů ve spalinách

kde:

$c_s^t$  koncentrace složky spalin při jejím úplném vyhoření při  $\alpha = 1$

$V_s^t$  objem spalin při stechiometrickém spalování

$c_s^\alpha$  koncentrace složky spalin při jejím úplném vyhoření při  $\alpha > 1$

$$c_s^t = \frac{V_s^t}{V_{sp,t}^v}$$

$$c_s^\alpha = \frac{V_s^t}{V_{sp,t}^v + (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s \cdot 0,21 + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s} \cdot \alpha$$

$$c_s^\alpha < c_s^t$$



# Spalování plynných paliv

- k rovnicím uvedeným pro spalování tuhých paliv přibývají rovnice pro spalování nasycených

$C_xH_y$  a nenasycených uhlovodíků  $C_mH_n$



- teoretické množství potřebného spalovacího vzduchu

$$V_{vz,t}^s = 4,76 \cdot \left[ 0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + \left(x + \frac{y}{4}\right) \cdot C_xH_y + 3,8 \cdot C_mH_n - O_2 \right]$$



# Spalování plynných paliv

- teoretické množství vlhkých spalin

$$V_{vz,t}^v = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2}$$

- množství vzniklého  $CO_2$

$$V_{CO_2} = CO + x \cdot C_x H_y + 2,6 \cdot C_m H_n + CO_2$$

- množství vzniklé vodní páry

$$V_{H_2O} = H_2 + \frac{y}{2} \cdot C_x H_y + 2,4 \cdot C_m H_n + (v - 1) \cdot V_{vz,t}^s$$

- objem dusíku ve spalinách

$$V_{N_2} = N_2 + 0,79 \cdot V_{vz,t}^v$$



# Druhy spalování

- *dokonalé* – veškerá hořlavina přivedená v palivu se přemění na plynnou fázi
  - za hranici dokonalosti spalování je považována hodnota nedopalu v tuhých zbytcích po spalování do 5%
- *nedokonalé* – tuhé zbytky po spalování obsahují více než 5% nedopalu
- *podstechiomrické* –  $\alpha < 1$ , přivedené množství vzduchu nestačí na převedení veškeré hořlaviny do plynného stavu
- *stechiomrické* –  $\alpha = 1$ , za ideálních podmínek je palivu přivedeno stejné množství vzduchu jaké je potřeba na dokonalé vyhoření paliva
- *nadstechiomrické* –  $\alpha > 1$ , ve spalinách se objeví nezreagovaný kyslík



# Ohniště

*Ohniště* - prostor vymezený nechlazenými keramickými nebo vodou chlazenými celokovovými membránovými stěnami, v němž se spaluje určité množství paliva a ochlazování spalin na požadovanou teplotu

*Rozdělení ohnišť z hlediska rychlosti proudění plynu:*

*rošťová* - kusové palivo je spalováno na pohybujícím se roštu, spalovací vzduch proudí roštnicemi rychlostí, při které nedochází k výraznému únosu tuhých složek paliva

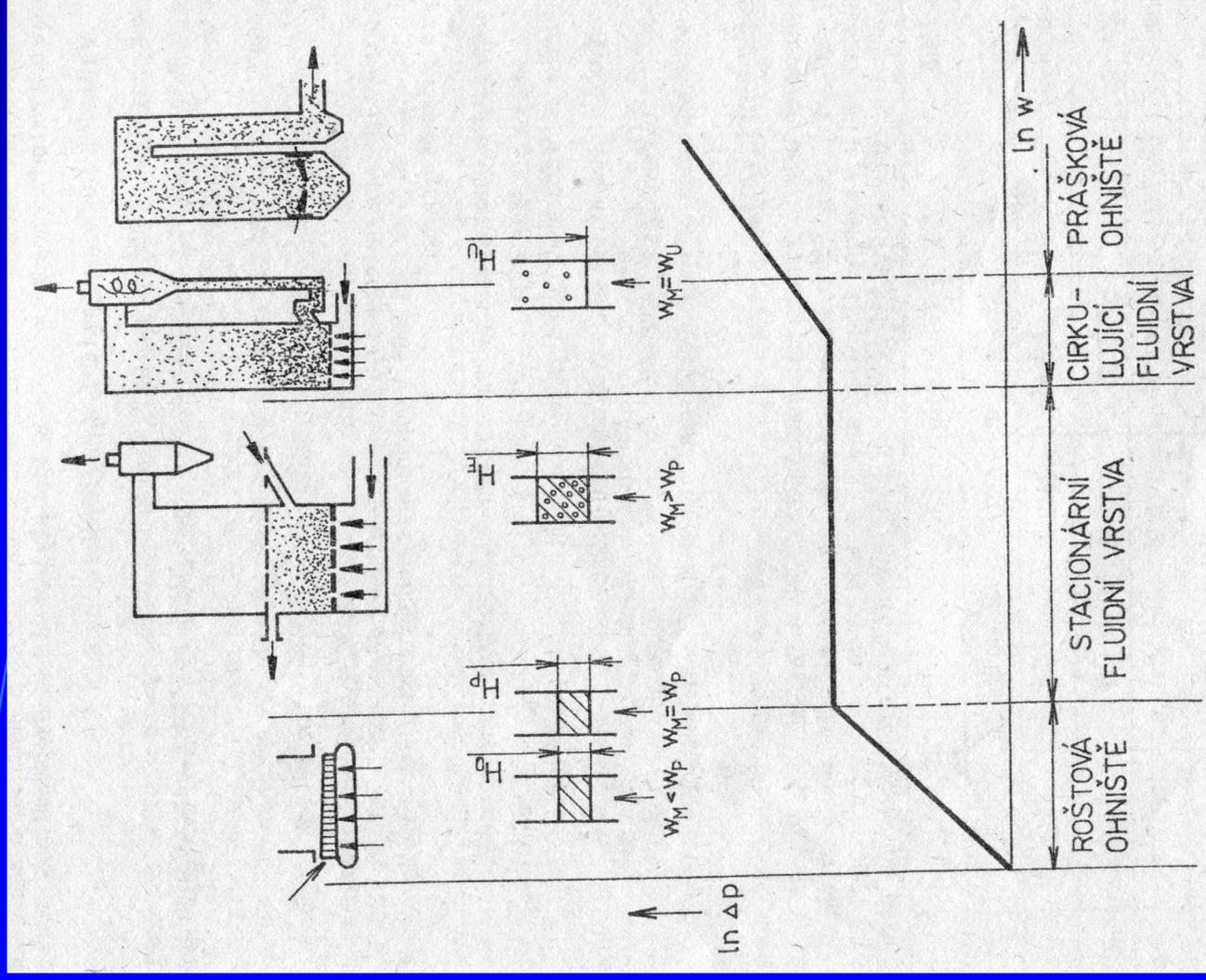
*fluidní* - kusové palivo se spaluje ve vznosu, rychlost proudění plynu a částic je nad prahovou rychlostí fluidace, ale je nižší než úletová rychlost

*prášková*- tuhé palivo se spaluje ve formě prášku v letu v prostoru ohniště, rychlost proudění plynu je nad úletovou rychlostí, jedná se v podstatě o pneumatickou dopravu



# Dělení ohnišť

- $w_M$  rychlost proudění mezivrstvy
- $w_P$  prahová rychlost fluidace
- $w_U$  úletová rychlost mezivrstvy
- $H_0$  výška vrstvy
- $H_P$  prahová výška vrstvy
- $H_E$  výška expandující vrstvy
- $H_U$  úletová výška vrstvy



# Spalovací zařízení pro spalování tuhých paliv

## *Spalovací zařízení (kotel)*

- systém mnoha zařízení (ohniště, výhřevné plochy, systémy dopravy a úpravy paliva a spalovacího vzduchu, parní generátor, transformátor)
- dochází k transformaci chemické energie paliva (nebo druhotných zdrojů energie) na tepelnou energii pracovního média

## *Rozdělení kotlů podle pracovního média*

- parní kotle – přehřátá pára s parametry 10-13 MPa, 450-550 °C
- horkovodní kotle – horká voda o tlaku nad 0,2 MPa a teplotě nad 115 °C



# Roštová ohniště

- palivo leží na roštu ve vrstvě, jejíž tloušťka závisí na tepelném výkonu ohniště a prodyšnosti vrstvy pro spalovací vzduch
- spalované palivo má charakteristický rozměr větší než 10 mm
- výkon ohniště je značně omezen šířkou a délkou roštu
- kotel s nižším výkonem (0,25 - 150 MWt)
- s pevným roštem
- s mechanickým roštem

## *Funkce roštu*

- zajištění přívodu spalovacího vzduchu do jednotlivých míst plochy roštu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu
- umožnit postupné vysušení paliva, zahřátí na zápalnou teplotu, hoření a dokonalé vyhoření
- shromážďovat tuhé zbytky po spalování (škváru), popř. zajišťovat jejich odvod z ohniště; měnit svůj výkon podle požadovaného výkonu kotle



# Prášková ohniště

- kotle o větších jmenovitých výkonech (nad 40 MWt) a s vyššími parametry
- spaluje se jemně mletý prášek přiváděný tryskami hořáků se spalovacím vzduchem
- uhlý prášek se dopravuje ze mlýnů do spalovacího prostoru pneumaticky
- nosné prostředí - část primárního spalovacího vzduchu nebo spalin
- vyhovující účinnost spalování je podmíněna dobou setrvání paliva v ohništi, která musí být kratší než doba potřebná k dokonalému spálení částičky paliva
- uhlí se mele velmi jemně (30 až 90  $\mu\text{m}$  z 90 %)
- černá uhlí se melou jemněji, reaktivnější hnědá uhlí hruběji



# Prášková ohniště

- měrný povrch paliva se rozemletím zvětší více než 200 krát (400 až 1000 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>)
- měrné tepelné zatížení ohniště je zhruba stejné jako u roštových ohnišť - zvětšením měrného povrchu paliva současně klesla relativní rychlost proudění mezi palivem a okysličovadlem
- absolutní rychlost proudění vzduchu vrstvou paliva je téměř nulová - kyslík proniká k částicce paliva vrstvou zplodin difúzí, což spalování zpomaluje
- zvýšení vlastní spotřeby energie použitím mlýnů
- vyšší investiční náklady (mlecí okruhy) než u roštových ohnišť
- velmi jemný popálek zanáší výhřevné plochy, chová se jako tekutina (problémy se skladováním v silech)



# Rozdělení práškových ohnišť

- granulární

- výtavná

- cyklónová



# Granulační ohniště

- ohniště ve tvaru svislého hranolu s charakteristickým zúžením spodní části - *výsypkou*
- výsypka je tvořena vyhnutím dvou protilehlých stěn ohniště – usnadňuje odvod tuhých zbytků po spálení
- odstruskovací zařízení je umístěno pod výsypkou
- příčný řez ohništěm má různý tvar - *čtvercový* – projevuje se chladicí účinek rohů ohniště,

takže velikost tepelného toku stěnou v rozích klesá

- *obdélníkový*

- *mnohoúhelníkový* – umožňuje lepší využití stěn ohniště, neboť tepelné toky po šířce stěny jsou rovnoměrnější

- hořáky mohou být umístěny jakýmkoliv způsobem, kromě ve dně ohniště



**VŠB - Technická univerzita v Ostravě, Výzkumné energetické centrum**

# Výtavná ohniště

- odstranění potíží se zastruskováním ohniště při spalování paliv s nízkou teplotou měknutí popelovin - vyvinutí výtavných ohnišť
- spalování při vyšších teplotách - roztavení popeloviny a odstranění z ohniště v tekutém stavu
- vyšší spalovací teplota - snížení chlazení plamene stěnami ohniště
- zvýšení teploty spalovacího vzduchu:
  - zvýšení jemnosti mletí
  - zvýšení intenzity směšování paliva se vzduchem
  - poslední dvě opatření zajistí shoření paliva na kratší dráze - zvýšení měrného tepelného zatížení ohniště
- zvýšení intenzity směšování - možnost zmenšení přebytku spalovacího vzduchu (další zvýšení teploty v ohništi)

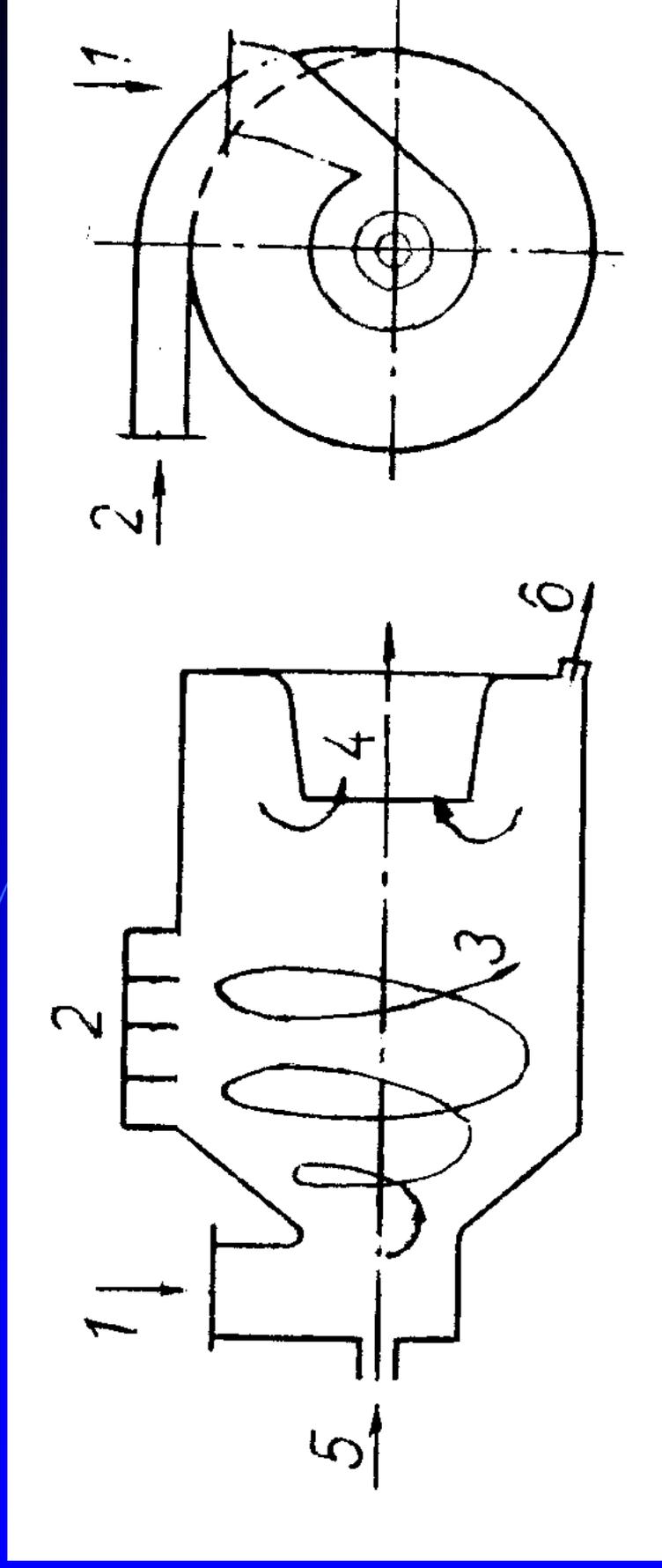


# Cyklónová ohniště

- tvar válce s poměrem délky k průměru 1 až 1,3
- mírně skloněná nebo vodorovná osa
- směs paliva a primárního vzduchu vstupuje do cyklónu vířivým hořákem ve středu mírně kuželovitého čela
- sekundární vzduch se přivádí tangenciálně tryskami na obvodu cyklónu
- tangenciální vstup vzduchu zaviřuje pohyb spalin v ohništi
- spaliny se ohybují po spirále a vystupují zúženým otvorem ve středu protilehlého čela cyklónu
- terciární vzduch - axiálně přiváděná část spalovacího vzduchu - zajistí dospálení částic paliva



# Cyklónová ohniště



1 - vstup paliva a primárního vzduchu

2 - vstup sekundárního vzduchu

3 - pohyb spalin v ohništi

4 - výstupní otvor pro spaliny

5 - vstup terciárního vzduchu

6 - výtokový otvor pro strusku



# Cyklónová ohniště

- veškerý objem spalovacího vzduchu se dělí:

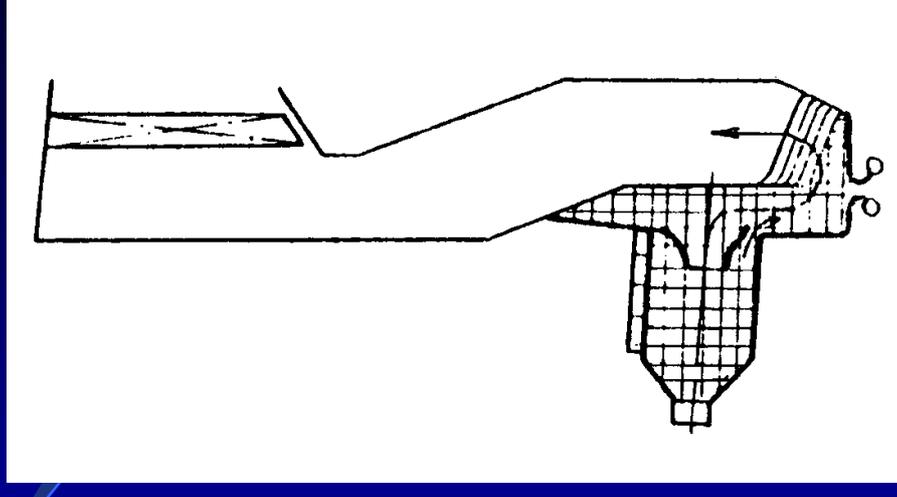
- 15 až 20 % vzduch primární

- 75 až 80 % vzduch sekundární

- 3 až 8 % vzduch terciární

- cyklónové ohniště pracuje jako výtavné

Umístění cyklónového ohniště na kotli



+23,300

+20,580

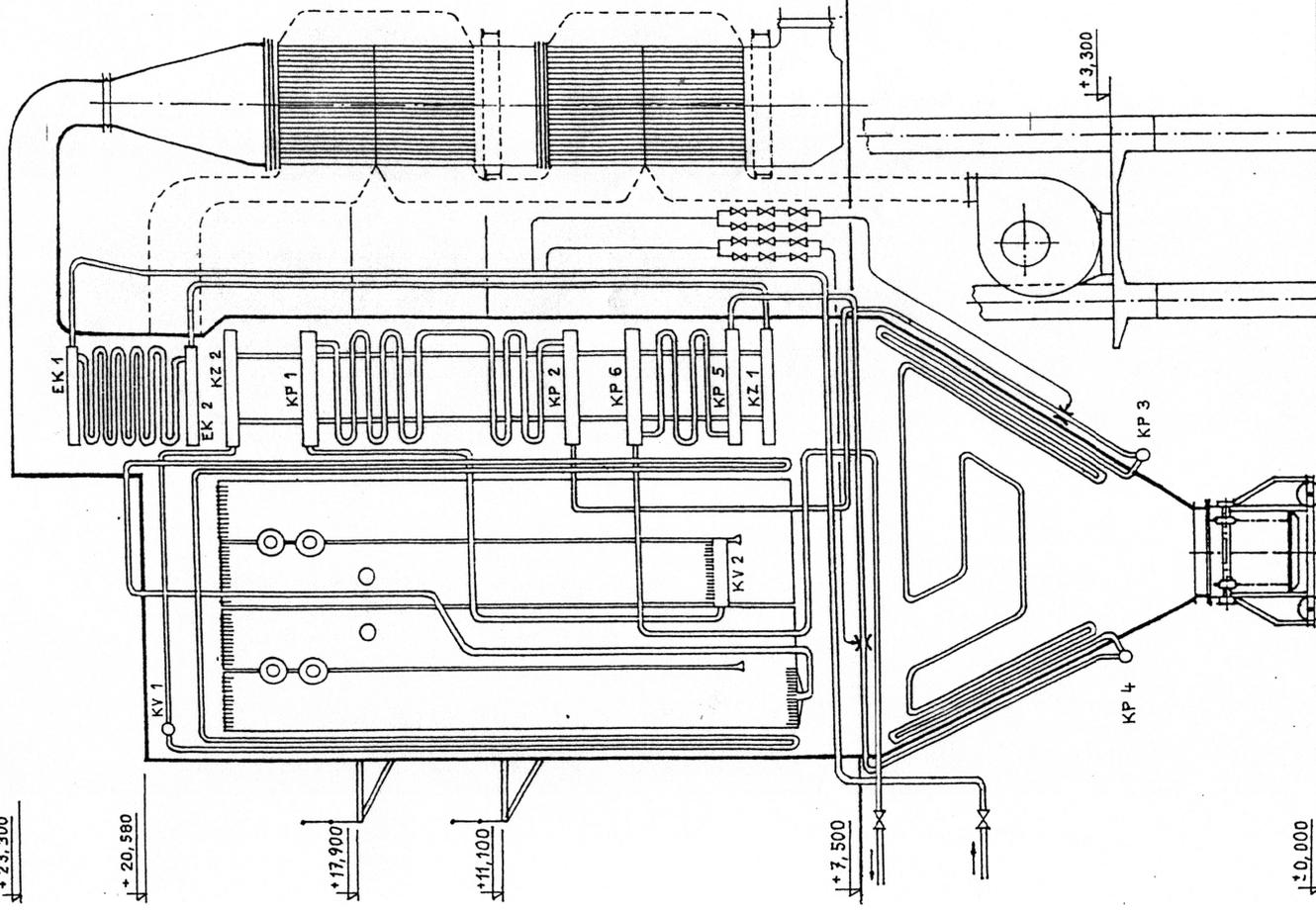
+17,900

+11,100

+7,500

+3,300

+0,000



# Granulační kotel

Kotel K3 v Teplárně Třebovice

průtlačný práškový kotel s granulačním ohništěm  
typu Benson se stropními vířivými hořáky  
třítahový kotel

palivo - prášek černého uhlí nebo propláskku  
sušící médium uhlí - spaliny o teplotě 400 °C

tepelný výkon kotle 55,3 MW

parní výkon kotle 80 t/h

teplota páry na výstupu 508 °C

tlak páry na výstupu z kotle 13,23 MPa

teplota napájecí vody 200 °C

tlak napájecí vody 2 MPa

účinnost kotle 83,2 %

účinnost EO 99,3 %



**VŠB - Technická univerzita v Ostravě, Výzkumné energetické centrum**

# Výtavný kotel

výtavný kotel bubnový o výkonu 375 t.h<sup>-1</sup>

tlak páry 13,9 MPa

teplota přehřáté páry 540 °C

určen pro černá popelnatá uhlí  $Q_i^r = 11,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$

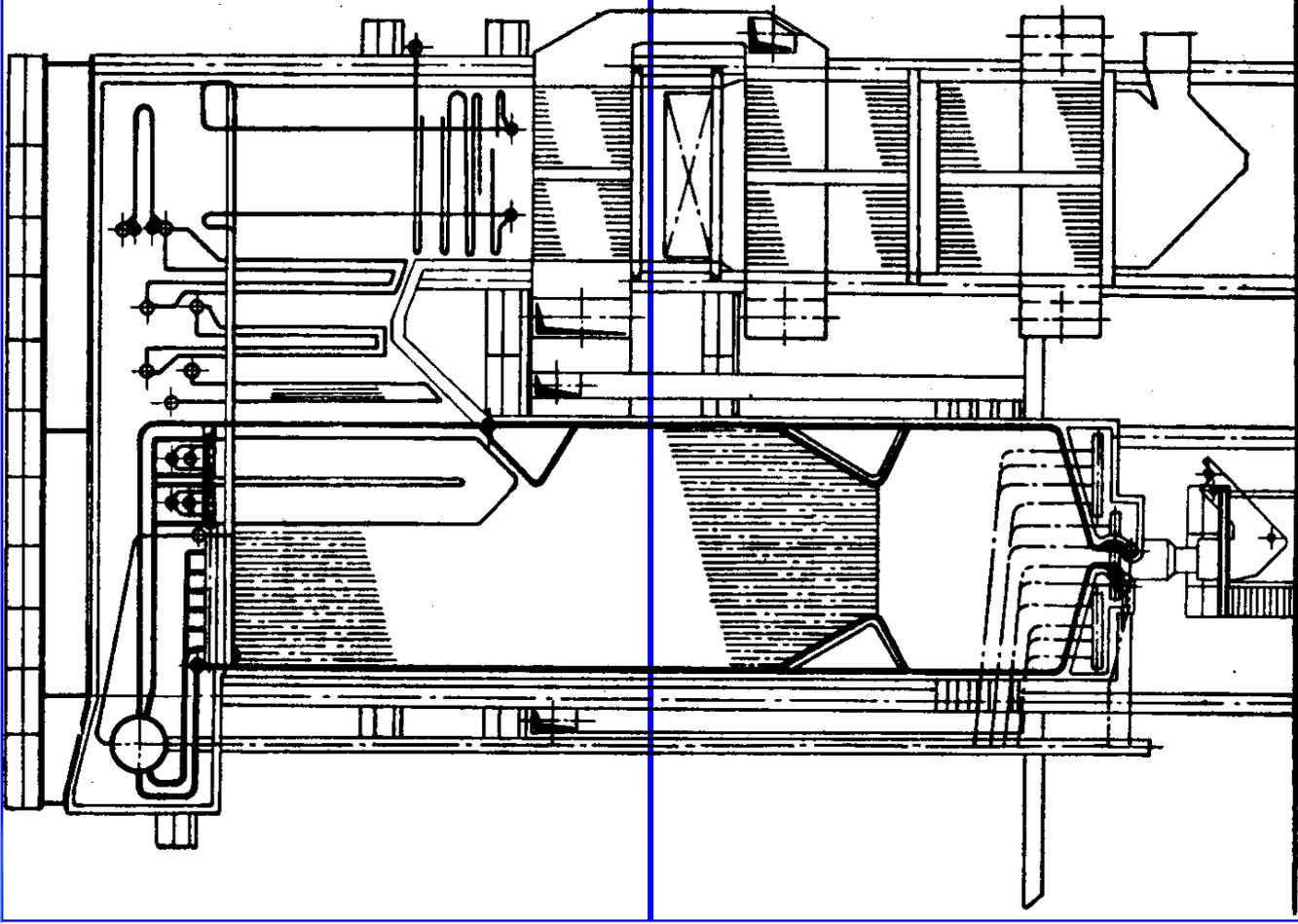
dvoutahový kotel

tavicí prostor oddělen zúžením od

vychlazovacího prostoru

uhlí je mleto v šesti tlukadlových mlýnech a

sušeno horkým vzduchem



# Fluidní ohniště

- v kypící vrstvě se spaluje drčené palivo
- částčky paliva a popílku jsou nadnášeny proudem vzduchu a spalin proudícím svisle vzhůru
- palivo se přivádí pneumatickým nebo šnekovitým podavačem do spodní části ohniště
- větší částice paliva se spalují ve spodní zúžené části spalovacího prostoru s vyšší rychlostí vzduchu
- rovnovážná poloha menších zrn je ve vyšší rozšířené části ohniště
- částice víří kolem rovnovážné polohy
- spalovací vzduch vstupuje do spodní části ohniště otvory ve dnu spalovacího prostoru
- tuhé zbytky po spálení jsou unášeny spalinami z ohniště



# Fluidní ohniště

- spalování ve vznosu - charakterizováno velkým hmotovým a tepelným přenosem uvnitř vrstvy

(částičky a plynné prostředí, vrstva a stěny fluidního ohniště)

- intenzivní víření částice ve vrstvě
- rychlá odezva parametrů kypící vrstvy na změny pracovního režimu
- dlouhá doba pobytu větších částic ve vrstvě
- ohniště opouštějí nejmenší částice (aerodynamický odpor je větší než jejich tíha)
- palivo pro fluidní ohniště se jen drtí
- spalování probíhá při teplotách 700 až 900 °C a nedochází ke spékání popela



# Fluidní ohniště

- vířením částic ve fluidní vrstvě je přestup tepla do výhřevné plochy značně intenzivní ( $\alpha = 200$  až

$600 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ )

- tepelné toky do výhřevné plochy jsou 2 až 3 krát větší než u konvekčních ploch běžného kotle
- na trubkách výhřevných ploch umístěných ve fluidní vrstvě nemohou vzniknout nánosy
- dávkování vápence - omezení tvorba kyslíků síry, zabránění nízkoteplotovým
- velikost částic paliva spalovaného ve fluidní vrstvě bývá v rozsahu 0 až 6 mm
- spotřeba energie na dezintegraci paliva je menší než u práškových kotlů
- lze spalovat různé druhy paliv (i méněhodnotná paliva)
- obsahuje-li palivo málo popelovin, přidávají se popeloviny uměle



**VŠB - Technická univerzita v Ostravě, Výzkumné energetické centrum**

# Dělení fluidních ohnišť

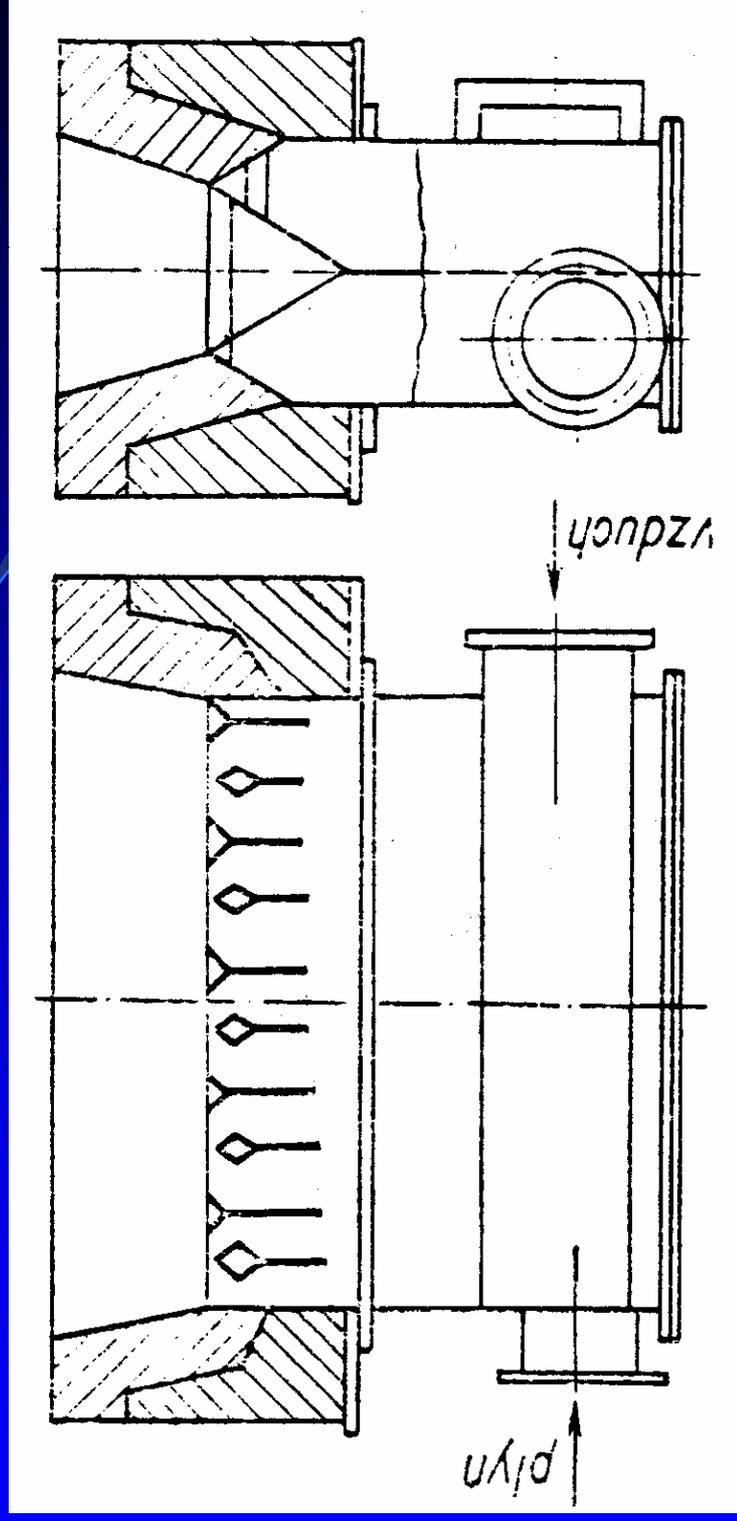
- atmosférická - spalování probíhá za tlaku přibližně stejném jako je v okolní atmosféře
- přetlaková – zvýšení tlakových poměrů v ohništi, zvýšení účinnosti spalování
- se stacionární fluidní vrstvou – spalování ve vznosu s rozeznatelnou hladinou vrstvy
- s cirkulující fluidní vrstvou – částice ve vrstvě obíhají přes cyklon zpět do ohniště dokud nevyhoří
- Ignifluid – přechod mezi roštovým a fluidním ohništěm, spalování v nehybné vrstvě s nakypřenou

částí

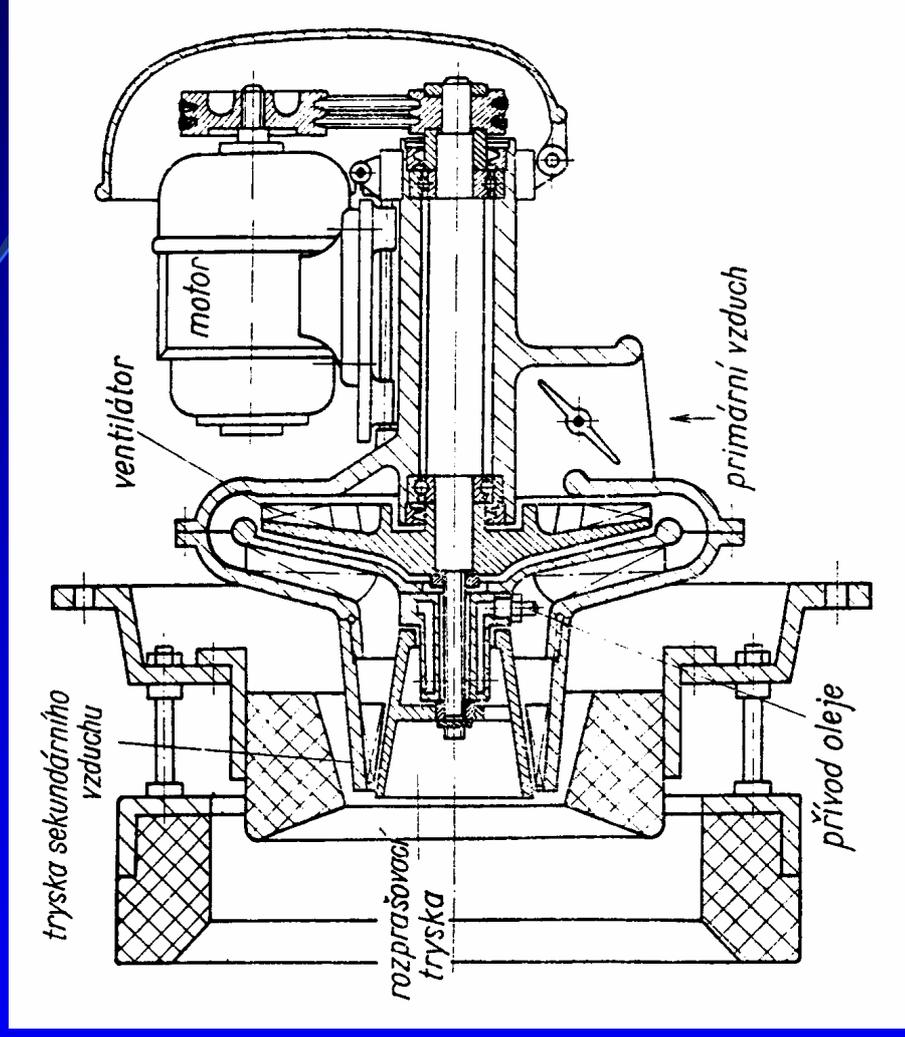


**VŠB - Technická univerzita v Ostravě, Výzkumné energetické centrum**

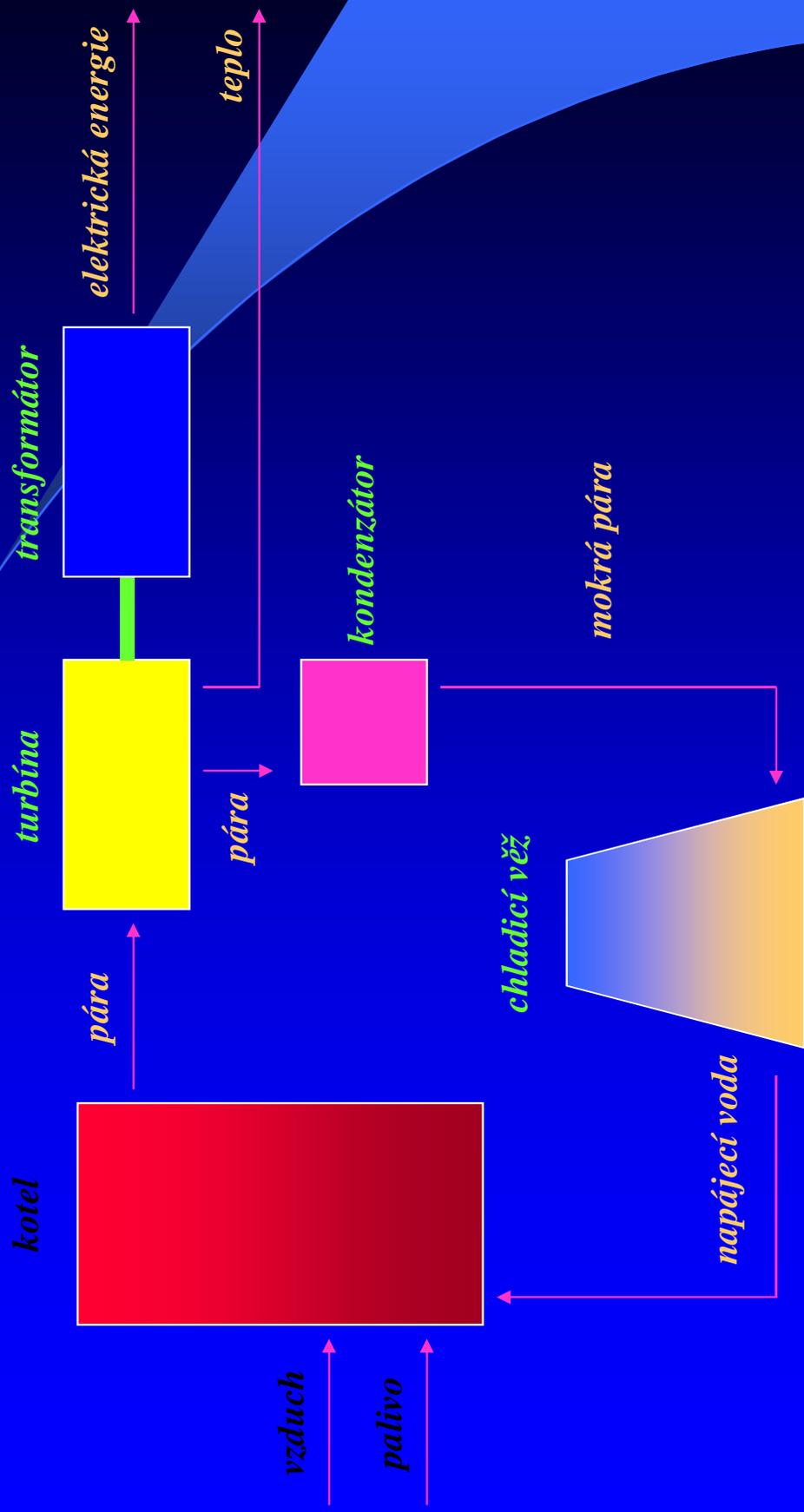
# Spalovací zařízení pro spalování plynných a kapalných paliv



# Spalovací zařízení pro spalování plynných a kapalných paliv



# Teplárna



# Stanovení účinnosti kotlů přímou metodou

$$\eta = 100 \cdot \frac{Q_2}{Q_1}$$

- $Q_1$  teplo přivedené do ohniště zahrnující chemické a fyzické teplo obsažené v palivu, teplo spalovacího vzduchu a předehřátých plynů cizím zdrojem tepla (kotle na odpadní teplo)
- $Q_2$  teplo odvedené z ohniště vodou v ohříváku vody a páře v přehříváku a přihříváku páry



# Stanovení účinnosti kotlů nepřímou metodou

$$\eta = 100 - \sum_i \xi_{ci}$$

$$\sum_i \xi_{ci} = \xi_c + \xi_{co} + \xi_f + \xi_k + \xi_{sv} + \xi_{ch}$$

- $\xi_c$  ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích
- $\xi_{co}$  ztráta hořlavinou ve spalinách
- $\xi_f$  ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků po spalování
- $\xi_k$  ztráta citelným teplem spalin (komínová)
- $\xi_{sv}$  ztráta teplem chladicí vody
- $\xi_{ch}$  ztráta sdílením tepla do okolí



# Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích $\xi_{Cs}$

pro spalování tuhých paliv

$$\xi_c = \sum_i \xi_{Ci} = \xi_{Cs} + \xi_{Cp} + \xi_{C1} + \xi_{Cr} + \xi_{Cb}$$

- $\xi_{Cs}$  ztráta hořlavinou ve škváře nebo ve strusce (tj. v ohništi)
- $\xi_{Cp}$  ztráta hořlavinou v popílku (tj. zachycené TZL v odlučovači)
- $\xi_{C1}$  ztráta hořlavinou v úletu (TZL odcházející komínem)
- $\xi_{Cr}$  ztráta hořlavinou v propadu (roštové kotle)
- $\xi_{Cb}$  ztráta hořlavinou v uhelném prášku v brýdách (práškové kotle s otevřeným mlecím okruhem)



# Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích $\xi_{Cs}$

pro  $\xi_{Ci}$ , kde  $i = s, p, l, b$ , platí:

$$\xi_{Ci} = \frac{C_i}{100 - C_i} \cdot \frac{X_i}{100} \cdot \frac{A^r}{q_i} \cdot Q_{iCi}$$

- $\xi_{Ci}$  ztráta hořlavinou v uvažovaném druhu tuhých zbytků [%]
- $C_i$  obsah hořlaviny v uvažovaném druhu tuhých zbytků [%]
- $X_i$  obsah popela zachyceného v palivu v uvažovaném druhu tuhých zbytků, vztažený k obsahu popela v palivu přivedeném do kotle [%]
- $A^r$  obsah popela ve spalovaném palivu [%]
- $q_i$  teplo přivedené do kotle spálením 1 kg paliva [kJ/kg]
- $Q_{iCi}$  výhřevnost hořlaviny v uvažovaném druhu tuhých zbytků [%], lze uvažovat s hodnotou 32 600 kJ/kg (pro C jako hořlavinu)



# Teplo přivedené do kotle spálením 1 kg paliva

$$q_i = Q_i^r + \Delta i_{pv} + x \cdot V_{vz} \cdot \Delta i_{vz}$$

$Q_i^r$  výhřevnost paliva [kJ/kg]

$\Delta i_{pv}$  přírůstek entalpie paliva po přehřátí v cizím zdroji [kJ/kg]

$x$  podíl vzduchu ohřívajícího cizím zdrojem k celkovému množství

$V_{vz}$  objem vzduchu za normálních podmínek, který je přiveden za účelem  
spálení 1 kg paliva [m<sup>3</sup>/kg]

$\Delta i_{vz}$  přírůstek entalpie spalovacího vzduchu za normálních podmínek ohřátého  
v cizím zdroji [kJ/m<sup>3</sup>]

Nejčastěji však lze uvažovat  $q_i = Q_i^r$

pro kapalná paliva je obvykle  $\xi_C = 0$

pro plyná paliva je vždy  $\xi_C = 0$



# Ztráta hořlavinou ve spalínách $\xi_{CO}$

$$\xi_{CO} = \frac{100 - \xi_C \cdot 12610 \cdot \omega_{CO} + 10798 \cdot \omega_{H_2} + 35818 \cdot \omega_{CH_4}}{100} \cdot V_{PS}$$

$\xi_C$  ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích

$\omega_{CO}$  obsah CO v plyných spalínách [%]

$\omega_{H_2}$  obsah  $H_2$  v plyných spalínách [%]

$\omega_{CH_4}$  obsah  $CH_4$  a vyšších uhlovodíků v plyných spalínách [%]

$q_I$  teplo přivedené do kotle spálením 1 kg paliva [kJ/kg, kJ/m<sup>3</sup>]

$V_{PS}$  objem suchých spalín (při normálních podmínkách) vzniklých z 1 kg (m<sup>3</sup>)

paliva [m<sup>3</sup>/kg, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]



# Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků po spalování $\xi_F$

$$\xi_{\text{F}} = \sum_i \xi_{\text{Fi}} = \xi_{\text{Fs}} + \xi_{\text{Fp}} + \xi_{\text{F1}} + \xi_{\text{Fr}}$$

$\xi_{\text{Cs}}$  ztráta fyzickým teplem ve škváře nebo ve struce (tj. v ohništi)

$\xi_{\text{Cp}}$  ztráta fyzickým teplem v popílku (tj. zachycené TZL v odlučovači)

$\xi_{\text{Cl}}$  ztráta fyzickým teplem v úletu (TZL odcházející komínem)

$\xi_{\text{Cr}}$  ztráta fyzickým teplem v propadu (roštové kotle)



# Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků po spalování $\xi_F$

pro  $\xi_{Fi}$ , kde  $i = s, p, l, r$ , platí:

$$\xi_{Fi} = \frac{X_i}{100 - C_i} \cdot \frac{A^r}{q_i} \cdot c_i \cdot t_i$$

- $\xi_{Fi}$  ztráta fyzickým teplem v uvažovaném druhu tuhých zbytků [%]
- $X_i$  obsah popela zachyceného v palivu v uvažovaném druhu tuhých zbytků, vztažený k obsahu popela v palivu přivedeném do kotle [%]
- $C_i$  obsah hořlaviny v uvažovaném druhu tuhých zbytků [%]
- $A^r$  obsah popela ve spalovaném palivu [%]



# Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků po spalování $\xi_F$

$$\xi_{Fi} = \frac{X_i}{100 - C_i} \cdot \frac{A^r}{q_i} \cdot c_i \cdot t_i$$

$q_i$  teplo přivedené do kotle spálením 1 kg paliva [kJ/kg]

$c_i$  střední měrná tepelná kapacita uvažovaného druhu tuhých zbytků při

teplotě  $t_i$  [kJ/kg/K]

$t_i$  teplota tuhých zbytků [°C]

Hodnoty ztrát fyzickým teplem v úletu a propadu jsou zanedbatelně malé



# Ztráta citelným teplem spalin (komínová) $\xi_K$

$$\xi_K = (100 - \xi_c) \cdot \frac{V_{PV} \cdot c_{PV} \cdot (t_K - t_{VZ})}{q_I}$$

|          |   |
|----------|---|
| $\xi_c$  | ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích   |
| $V_{PV}$ | objem vlhkých spalin (při normálních podmínkách) vzniklých z 1 kg ( $m^3$ ) paliva [ $m^3/kg$ , $m^3/m^3$ ] |
| $c_{PV}$ | střední měrná tepelná kapacita vlhkého vzduchu při teplotě $t_K$ [ $kJ/kg/K$ ]                              |
| $t_K$    | teplota spalin odcházejících z kotle [ $^{\circ}C$ ]  |
| $t_{VZ}$ | teplota vzduchu vstupujícího do kotle [ $^{\circ}C$ ]   |
| $q_I$    | teplo přivedené do kotle spálením 1 kg paliva [ $kJ/kg$ ]   |



# Ztráta sdílením tepla do okolí $\xi_{CH}$

- její velikost se určí z nomogramu
- je závislá na velikosti jmenovitého a okamžitého výkonu kotle
- ztráta sáláním a vedením tepla do okolí



# Vliv spalovacích procesů na ŽP

## Znečištění ovzduší

- způsobují nejen vizuální nepříjemnosti, ale také zdravotní
- zvýšení úmrtnosti, počtu nemocných, otrav
- člověk musí dýchat i inertní složky (N<sub>2</sub>), vzduch (79% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>)
- čisté ovzduší nikdy neexistovalo – rozklad živočichů a rostlin, požáry
- od r. 1850 nárůst znečištění ovzduší – rozvoj uhelných technologií
- smog (smoke a fog – kouř a mlha) – ve všech velkých městech
- čistý vzduch stojí mnoho peněz, ale znečištěný ještě víc (zdravotně nezávadné ovzduší je levnější, než platba za škody znečištěním způsobených)  
tuhé, kapalné a plynné znečišťující látky
- svým působením poškozuje zdraví lidí, organismů a majetek



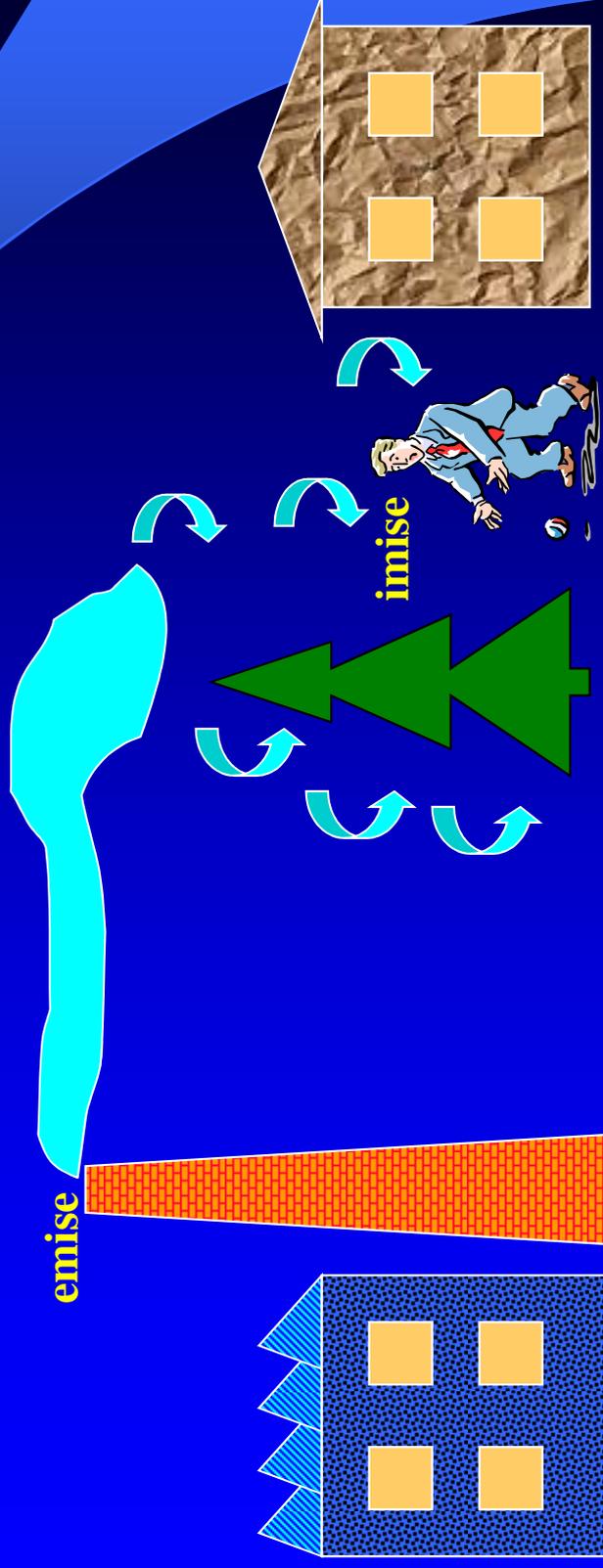
# Definice emisí a imisí

## Emise

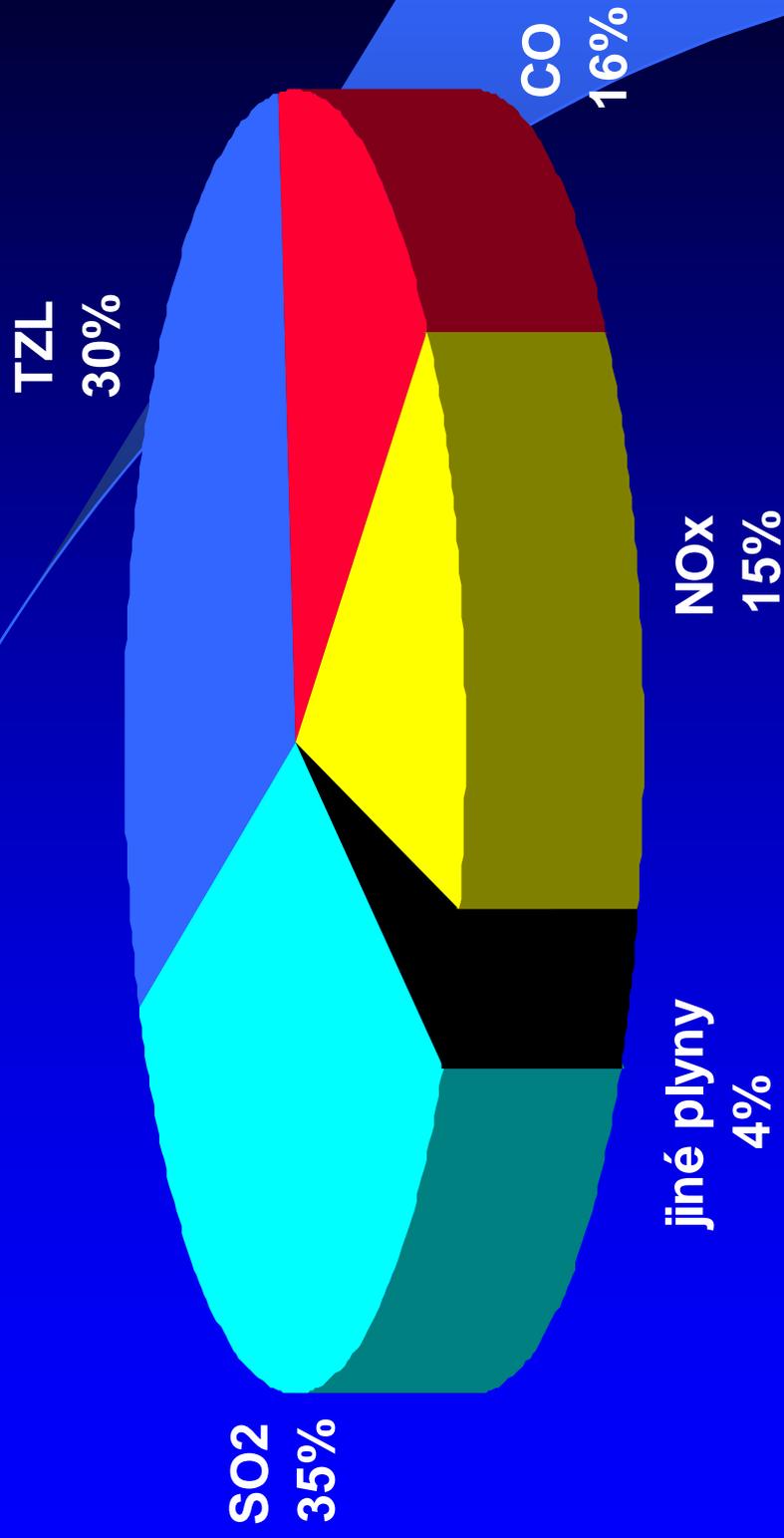
- znečišťování ovzduší – vypouštění znečišťujících látek do ovzduší – děj
- znečištění, tepla, hluku, elektromagnetického záření, radioaktivních prvků

## Imise

- znečištění ovzduší, obsah látek v ovzduší v takové míře, že se nepříznivě projeví na životním prostředí - stav
- škodlivé látky v přízemní vrstvě atmosféry



# Podíl škodlivin na celkovém znečištění



# Tuhé znečišťující látky

## Složení:

- prach – polétavý, jemný, hrubý, různé nečistoty, kouř, prachový aerosol

## Rozlišení podle velikosti částic:

- $> 0,5 \mu\text{m}$  – při vdechnutí jsou zadrženy v dýchacích cestách
- $0,1 - 0,5 \mu\text{m}$  – sedimentují
- $0,25 - 0,5 \mu\text{m}$  – jsou zadrženy v alveolách
- $< 0,25 \mu\text{m}$  – vydechujeme
- $< 0,1 \mu\text{m}$  – ulpívají po nárazu na předmětech, při vzájemných nárazech se shlukují do větších celků – koagulují



# Plynné znečišťující látky

- výbuchy sopek, požáry lesů – zanedbatelné množství
- antropogenní činnost – markantní podíl
- hlavní producenti PZL – energetika, hutnictví, chemický průmysl, koksárenství
- oxidy síry
- oxidy uhlíku
- oxidy dusíku



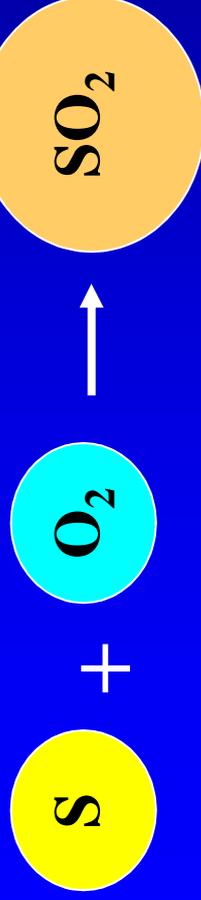
# Sloučeniny síry

SO<sub>2</sub> – hlavní znečišťující složka (velká množství, velmi nepříznivé účinky)

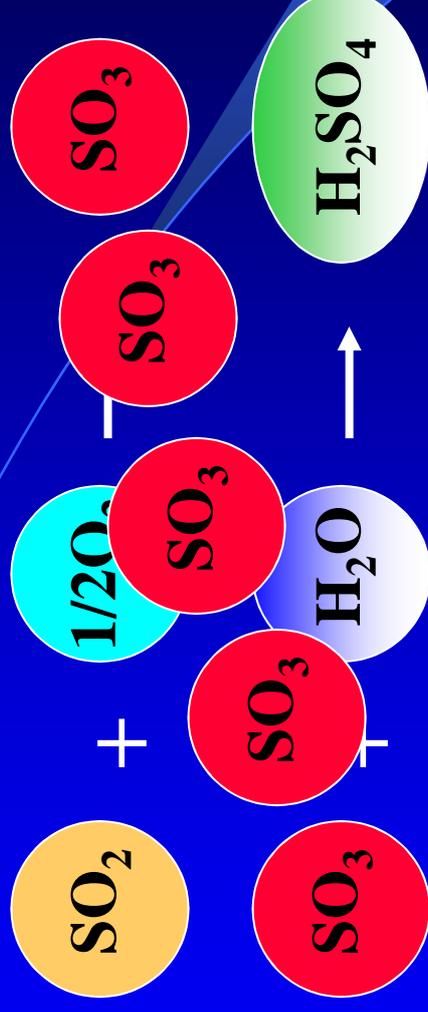
- spalování uhlí, energetika
- výroba kys. sírové
- některá uhlí obsahují více než 5 % S (severočeská U 1 – 4 % S, ostravská U 0,7 % S)
- formy S (elementární, organická, sírníková – spalitelné, sírníková – nespalitelná)
- ze známého obsahu S<sup>r</sup> v palivu:

kapalná paliva 20 · S<sup>r</sup> [ kg SO<sub>2</sub>/ t paliva ]

tuhá paliva 19 · S<sup>r</sup> [ kg SO<sub>2</sub>/ t paliva ] (5% přejde do popele – nespalitelná S)



# Podoby síry



- rychlost oxidace  $\text{SO}_2$  na  $\text{SO}_3$  závisí na pověrnostních podmínkách - teplota, sluneční svít, přítomnost katalyzátorů
- $\text{SO}_3$  je okamžitě hydratován vzdušnou vlhkostí na aerosol  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  reaguje s alkalickými prachovými částicemi za vzniku síranů
- je – li v ovzduší nedostatek částic, dostává se  $\text{H}_2\text{SO}_4$  do srážkových vod – okyselení na  $\text{pH} < 4$
- takto vznikají kyselé deště – uvolňují z půdy Cu, Pb, Cd a poškozují půdní mikroorganismy a vodu



# Fyziologické působení SO<sub>2</sub>

- poškození dýchacích cest
- zvýšení akutního a chronického astma, bronchitidy, rozedmy plic
- malé koncentrace SO<sub>2</sub> – hynutí lišejníků
- poškození fotosyntetického aparátu vyšších rostlin, nejvíce působí na jehličnany (neopadávají, zvýšené koncentrace)
- r. 1952 – Londýn – největší smogová katastrofa  $\phi$  SO<sub>2</sub> 1800, max. 3800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – zemřelo okolo 4000 lidí

## Koncentrace s vyššími hodnotami způsobují:

- 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – dlouhodobě – choroby krevního oběhu, bronchitida, zvýšení úmrtnosti
- 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – dráždění očí a horních dýchacích cest
- 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – poškození činnosti mozkové kůry
- 2500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – snižuje průchodnost kyslíku v plicích - udušení



# Sloučeniny dusíku

- souhrnně se označují jako  $\text{NO}_x$
- patří zde  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  (90%),  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  (dimer), ( $\text{N}_2\text{O}_3$ )
- producenti – spalovací zařízení s vysokými teplotami

## Druhy $\text{NO}_x$ :

- vysokoteplotní – oxidace N ze spalovacího vzduchu za vysoké teploty
- palivové - oxidace N chemicky vázaného v palivu
- promptní – chemicky vázaný N radikálovými reakcemi na rozhraní plamene



# Emise dusíku

## Velikosti emisí $\text{NO}_x$ u různých typů kotlů:

- plynové – 240 – 1400  $\text{mg}/\text{m}^3$
- na topný olej – 500 – 1500  $\text{mg}/\text{m}^3$
- granulární – 800 – 1700  $\text{mg}/\text{m}^3$
- výtavné – 1600 – 1700  $\text{mg}/\text{m}^3$
- fluidní – do 800  $\text{mg}/\text{m}^3$
- automobily – nad 1000  $\text{mg}/\text{m}^3$  (snížení v tříšložkových katalyzátorech)

## Limity $\text{NO}_x$ :

- emisní limit – 650  $\text{mg}/\text{m}^3$  (výtavné kotle 1100  $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- imisní limit – 100  $\mu\text{mg}/\text{m}^3$   
– 200  $\mu\text{mg}/\text{m}^3$  krátkodobé maximum



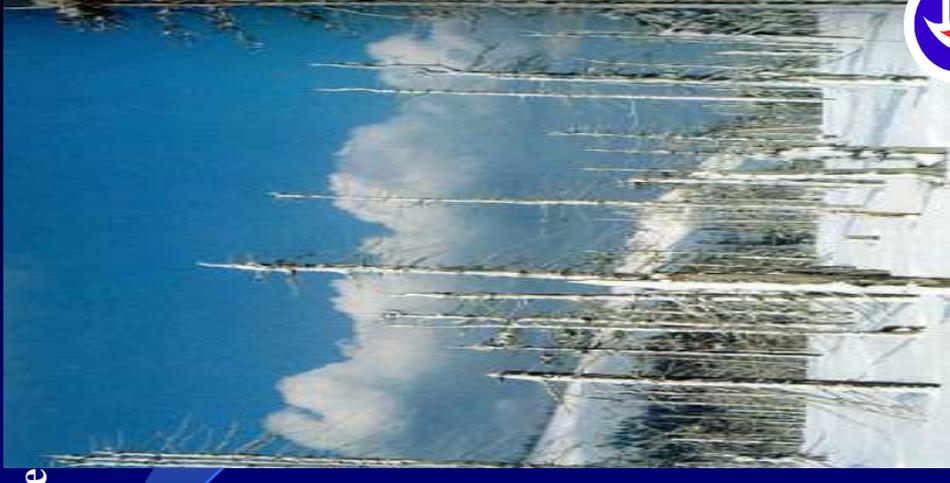
# Fyziologické působení NO<sub>x</sub>

- nepříznivě působí na vnitřní orgány lidí
- váže se na hemoglobin – zhoršuje transfer O<sub>2</sub> z plic do krevního oběhu
- vznik nádorových onemocnění, onemocnění dýchacích cest
- zvyšuje oxidační potenciál atmosféry
- novodobé smogy – vysoký obsah NO<sub>x</sub>



# Působení kyselých dešťů

- uvolňují těžké kovy z půdy – dostávají se do potravního řetězce
- Al – ukládá se v nervových buňkách a způsobuje demenci
  - předčasné stařecké oslabení rozumových schopností
- při pH 6 hynou koryši a měkkýši
- pH < 4 – přežívá jen málo citlivý hmyz
- poškození a ztráta listů a jehličí
- vyluhování živin z rostlin a uvolnění toxických látek
- zapříčiňuje korozi, poškozuje historické budovy a stavby



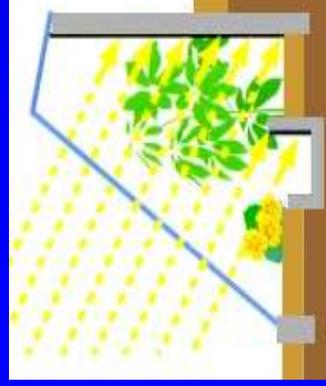
# Globální oteplování země

- střídání mezíob oteplování a ochlazování
- hlavní příčinou jsou skleníkové plyny
- skleníkové plyny propustí sluneční záření, ale zadrží od země odražené



## dlohovlnné záření

- oteplení způsobí
  - útlum vodních srážek
  - zmenšení odtoku vod o 10 % (při zvýšení teploty o 1°C)
- snížení produkce energie z vodních děl



# Hlavní skleníkové plyny

- $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , freony, troposférický ozon
- dominantním plynem je vodní pára – podílí se 60 – 70 % na skleníkovém efektu
- $\text{CO}_2$  – 25 % podíl na skleníkovém efektu
- obě účinnosti nelze sčítat, protože se pásma  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$  překrývají

## Halogenové uhlovodíky

- třetí neúčinnější plyny z hlediska skleníkového efektu
- 0,6 Mt ročně na celém světě
- vysoce stabilní produkty – setrvávají v atmosféře až 500 let



# Hlavní skleníkové plyny

## CO<sub>2</sub>

- současně přes 350 ppm
- ročně se celosvětově vyprodukuje asi 20 Gt
- pro stabilizaci současného stavu je nutno snížit produkci o 50 – 60 %

## Produkce CO<sub>2</sub> při spalování:

| 1 kg paliva   | kg CO <sub>2</sub> |
|---------------|--------------------|
| HU            | 1,3                |
| ZP            | 2,0                |
| ČU            | 2,2                |
| benzín, nafta | 3,0                |
| TTO, LTO      | 3,1                |
| koks          | 3,2                |

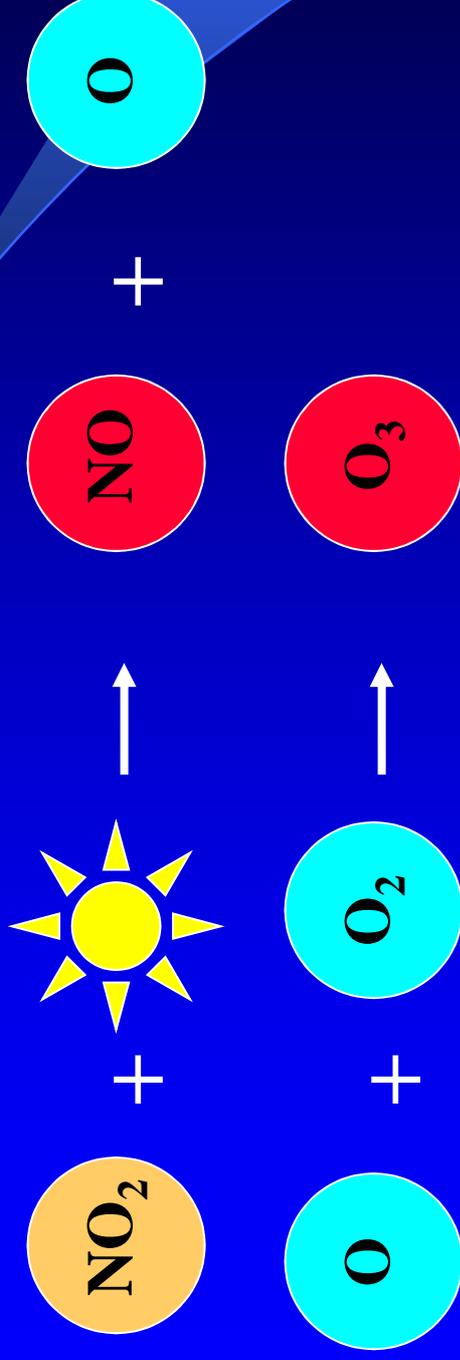
## CH<sub>4</sub>

- další významný plyn
- 1,7 ppm, důlní činnost
- těžba a doprava plynů a uhlí
- potřebné snížení o 15 – 20 %



# Ozon O<sub>3</sub>

- bezbarvý, jedovatý plyn
- zpomaluje růst a vývin kořínků vegetace
- převážná část O<sub>3</sub> vzniká fytolýzou NO<sub>2</sub>



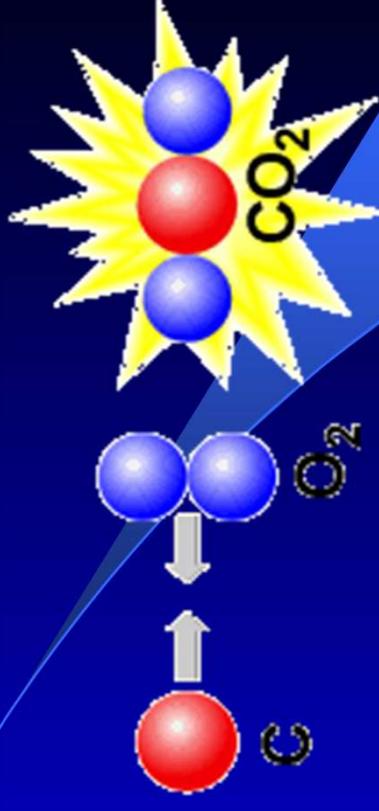
## Limity O<sub>3</sub>

- > 200 µg/m<sup>3</sup> dráždění očí, sliznic v nose, kašel, bolesti hlavy
- > 10000 µg/m<sup>3</sup> smrtelná koncentrace



# Sloučeniny uhlíku

- oxid uhlíčitý
- oxid uhelnatý
- polycyklické aromatické uhlovodíky
- polychlorované bifenylly



## Oxid uhlíčitý

- produkt dýchání, vulkanické činnosti, rozkladu organických látek, spalování
- část se váže fotosyntézou v rostlinách
- část je zachycována ve světových oceánech
- způsobuje doplňkový skleníkový efekt



# Sloučeniny uhlíku

## Oxid uhelnatý CO:

- produkt nedokonalého spalování
- součást kouřových výfukových plynů
- je obsažen v koksárenském, vysokopecním a degazačním plynu
- oxidace – přechod na CO<sub>2</sub> vyžaduje několik měsíců až let
- silně toxický
- s hemoglobinem vytváří pevný karboxyhemoglobin
- váže se několikrát rychleji na krev než O<sub>2</sub>, vede k udušení, otravě

