

#### 4.1.4 ROŠTOVÁ OHNIŠTĚ

Roštové ohniště slouží k spalování kusových tuhých paliv v klidné vrstvě tzv. filtračním způsobem. Základní části roštového ohniště jsou: spalovací prostor (vlastní ohniště), vymezený na bocích stěnami a přední i zadní klenbou a na dně roštem, rošt s palivovou násypkou, palivovým hradítkem, škvárovým jízdem, škvárovými výsypkami a se zařízením pro přívod a regulaci spalovacího vzduchu. Rošt je tvořen nosnou konstrukcí, roštnicemi a u mechanických roštů též hnacím ústrojím.

Funkce roštu při spalování:

a) vytvářet a udržovat vrstvu paliva požadované tloušťky a prodyšnosti při co nejmenším propadu zrn paliva,

b) zajišťovat přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých míst plochy roštu tak, aby spalování probíhalo s optimálním součinitelem přebytku vzduchu  $\alpha_0$ ,

c) umožňovat postupné vysoušení, zahřátí na zápalnou teplotu, hoření a dokonalé vyhoření zrn paliva,

d) shromažďovat, popř. zajišťovat odvod tuhých zbytků po spalování,

e) regulovat tepelný výkon podle požadované výkonnosti kotle.

Spalované palivo prochází na roštu postupně sušením, odplyňováním prchavé hořlaviny, zapálením, hořením a dohoříváním. U pevných roštů a roštů s pohazováním následují tyto fáze za sebou ve směru výšky vrstvy a u roštů pásových a přesuvných za sebou ve směru délky roštu. Aby mohly všechny fáze pochodu hoření postupně proběhnout, musí se část tepla utajeného v palivu v podobě výhřevnosti do reakce vrátit. Tento podíl se vyjadřuje tzv. *poměrným vzněcovacím teplem*

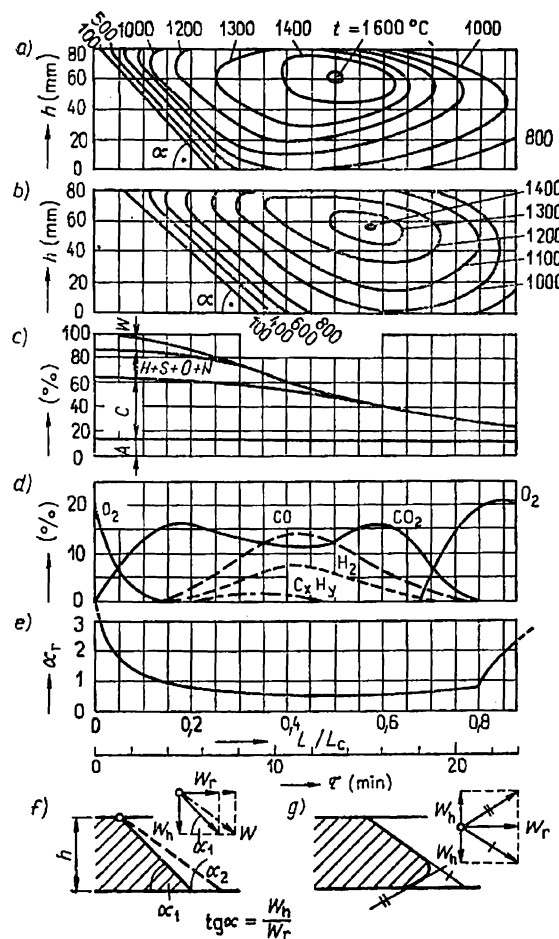
$$g = \frac{q_{vzn}}{Q_n} = \frac{q_o + q_{výp} + q_z}{Q_n} \quad (4.54)$$

Vzněcovací teplo  $q_{vzn}$  ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) závisí na druhu paliva, tj. na jeho zápalné teplotě  $t_z$ , obsahu vody  $W$ , měrné tepelné kapacitě paliva  $c_u$  ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ), okolní teplotě  $t = t_u$  a tlaku při spalování  $p$ , který určuje výparné teplo  $r$  ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) i teplotu varu vody  $t'$ , takže

$$q_{vzn} = \bar{c}_{u1}(t' - t_u) + rW + \bar{c}_{u2}(t_z - t') \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.55)$$

U černých uhlí bývá  $g = 0,15$  až  $0,25$  a u hnědých uhlí podle obsahu vody  $g = 0,33$  až  $0,4$ . Průběh změny složení paliva postupným vysoušením a vyhoříváním a průběh izoterm ve vrstvě paliva ukazuje obr. 4.24, na kterém je současně

vyznačeno i složení spalin těsně nad vrstvou paliva u stejného pásového roštu. Průběh izoterm na začátku vrstvy ukazuje, jak probíhá přívod tepla do vrstvy paliva, a určitým způsobem naznačuje i průběh jednotlivých fází změny paliva

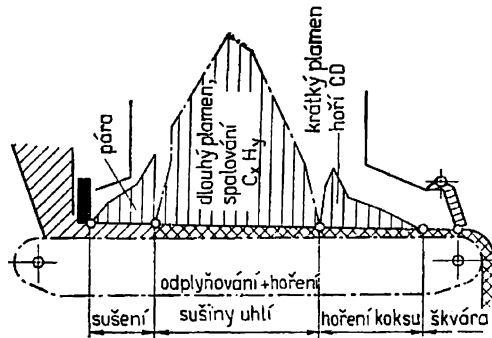


Obr. 4.24. Děje ve vrstvě paliva při spalování na roštu  
a, b — izotermie (černé a hnědé uhlí), c — chemické složení vrstvy, d — složení spalin, e — součinitel přebytku vzduchu, f, g — čelo vzněcování pro horní a kombinovaný zápal

ve vrstvě. Čela těchto fází se zhruba kryjí s průběhem příslušných izoterm. Jejich sklon je dán podle obr. 4.24f tangencí úhlu  $\alpha$  v rychlostním trojúhelníku postupné rychlosti paliva (roštu)  $w_r$  a rychlosti hoření  $w_h$ . Postupná rychlost je kreslena ve smyslu pohybu roštu a rychlost hoření ve směru kolmém k vrstvě.

Přitom u horního zápalu je smysl rychlosti hoření shora dolů a u dolního zdola nahoru. U kombinovaného přívodu tepla, obr. 4.24g, postupuje  $w_n$  současně vzestupně od horního povrchu a vzestupně od dolního povrchu vrstvy.

Spalování v roštových ohništích probíhá jednak ve vrstvě na roštu (tuhý uhlík – koks), jednak v prostoru ohniště nad vrstvou paliva (na začátku roštu – uhlovodíky a v další části roštu popřípadě CO), obr. 4.25. Podíl hoření

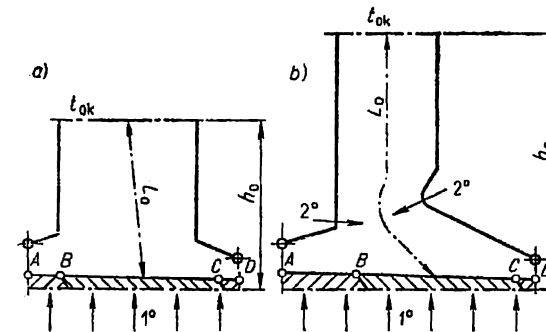


Obr. 4.25. Rozložení plamene nad roštem

složek paliva v prostoru bude tím větší, čím bude větší obsah prchavé hořlaviny v palivu. Antracit a koks hoří krátkým nesvitivým (namodralým) plamenem, kdežto hnědá uhlí dávají mohutný svítivý plamen, vyplňující prostor ohniště vysoko nad rošt. Pokud hořící uhlovodíky prchavé hořlaviny v podobě mohutného plamene přijdou do styku s chladnou výhřevnou plochou ( $t_{st} < 450^\circ\text{C}$ ), ochladí se a dochází k jejich rozkladu na  $\text{H}_2$  a C, přičemž vzniklý amorfní uhlík má vyšší zápalnou teplotu, nevyhoří a ukládá se na vyhřevných plochách v podobě sazí. Proto roštová ohniště s jedním ohništěm hoření (ohniště na paliva s nízkou prchavou hořlavinou) musí být odlišně konstruována, než ohniště s dvěma ohnišky hoření (ohniště na paliva s velkou prchavou hořlavinou). Z porovnání tvaru ohnišť na černé uhlí a na lignit podle obr. 4.26 je vidět, že ohniště s jedním ohništěm hoření je podstatně nižší (délka plamene je kratší, nehrozí nebezpečí tvorby sazí), širší a s krátkou zadní klenbou. Ohniště na palivo s velkou prchavou hořlavinou, a tedy dvěma ohnišky hoření, je vysoké, má dlouhou zadní klenbu a bývá seškrčené, aby délka plamene byla dostatečná a bylo zaručeno dobré promíchávání prchavé hořlaviny se spalovacím vzduchem. Za tímto účelem se obvykle do seškrčeného místa nad zadní klenbou a někdy i do přední klenby zabudovávají hubice pro přívod sekundárního ( $2^\circ$ ) vzduchu. Podíl primárního ( $1^\circ$ ) vzduchu, který se dmýchá pod rošt do vrstvy, je tím menší,

čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny v palivu. Pro černá uhlí a antracit není třeba používat  $2^\circ$  vzduchu, a tedy průtok  $1^\circ$  vzduchu je totožný s průtokem veškerého spalovacího vzduchu.

U roštů s mechanickým či pneumatickým pohazováním se přesouvá do druhého ohniška hoření (do prostoru ohniště) nejen spalování prchavé hořlaviny, ale zčásti i spalování jemných zrn. Při letu ohništěm se malá zrna stačí nejen vysušit a vznítit, ale většinou i dohořet. Jen největší zrna paliva prodělávají všechny fáze přípravy a hoření ve vrstvě na roštu. Středně velké částice se během letu alespoň zčásti vysuší, popř. odplyní, někdy i zčásti vyhoří. Dokončení pochodu pak proběhne na roštu. Proto se u roštových ohnišť s pohazováním paliva může při navrhování plochy roštu připustit vyšší hodnota měrného tepelného výkonu roštu  $\bar{q}_r$ , zatímco hodnota středního měrného tepelného zatížení ohniště  $\bar{q}$ , se musí volit nižší (spalování v prostoru).

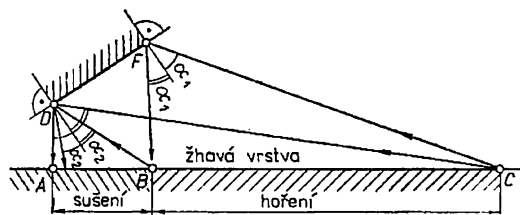


Obr. 4.26. Tvar roštového ohniště  
a — černé uhlí, antracit,  
b — hnědé uhlí, lignit

Podle způsobu přívodu tepla k vysušení a vznícení paliva se rozlišují roštová ohniště se spodním, horním, popř. obojím zápalem. Čistého spodního zápalu se dosahuje buď tím, že se nové palivo nahazuje na žhavou hořící vrstvu, nebo dmýcháním vysoce ohřátého spalovacího vzduchu či spalin pod rošt. U prohrabovacích roštů, kdy dochází k promíchávání vrstvy paliva, lze mluvit též o spodním zápalu. Horního zápalu se dosahuje sáláním obezdívky, zejména přední (tzv. vzněcovací) klenby, a sáláním plynného obsahu ohniště. Funkce přední klenby, jakožto tepelného zrcadla, je zřejmá z obr. 4.27. Sklon, popř. zakřivení přední klenby, i součinitel tepelné pohltivosti mají být zvoleny tak, aby plocha hořící vrstvy paliva dobře „viděla“ plochu paliva, která má být ohřívána za účelem vysušení a zapálení, a tak intenzivně a ve správném směru odrážela teplo vysálané z plochy žhavého paliva. Uplatní se zde zákon o rov-

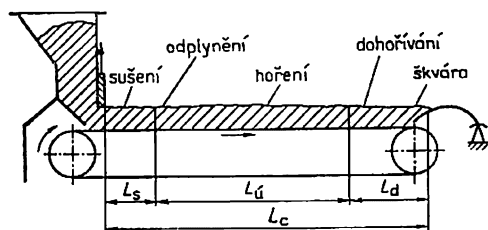
nosti úhlu dopadu a odrazu a stupeň černosti (pohltivosti) povrchu vrstvy a klenby.

Z celkové roštové plochy slouží k uvolňování tepla z paliva (tj. k vlastnímu hoření) jen tzv. účinná plocha (popř. délka) roštu, obr. 4.28. Zbývající část plochy (délky) je jen pomocná a slouží k přípravě paliva pro zapálení a dohořívání. Poměr účinné plochy k celkové ploše roštu bude klesat s rostoucím



Obr. 4.27. Funkce přední klenby

obsahem vody v palivu a nižší teplotou spalovacího vzduchu. S tím souvisí hodnota středního měrného tepelného výkonu roštu  $\bar{q}_r$  ( $\text{kW m}^{-2}$ ). Čím bude mít spalované palivo vyšší obsah vody, tím nutnější je při navrhování roštu volit nižší  $\bar{q}_r$ . V případě konkrétního roštu to znamená, že s rostoucím obsahem vody klesá výkon kotle. Tento nedostatek lze odstranit předsušením



Obr. 4.28. Celková  $L_c$ , účinná  $L_u$  a pomocná délka roštu ( $L_s$  — sušení,  $L_d$  — dohořívání)

paliva, ať už mimo kotel nebo v sestupné sušící spalínové šachtě umístěné na přední stěně ohniště nad násypkou, popř. dmycháním horkého vzduchu či spalin do sušícího pásma roštu. Zatímco spalovací vzduch dmychaný pod rošt se obvykle ohřívá jen do  $150^\circ\text{C}$  (při vyšší hodnotě by docházelo k opalování roštnic), může se při spalování velmi mokrého paliva zvýšit jeho teplota do prvního pásma až na  $250^\circ\text{C}$ . Neúčinnou část plochy roštu při spalování mokrého paliva lze také zkrátit použitím pohazovacího zařízení, které umožňuje sušení a přípravu paliva pro spalování v letu, ještě před dopadem na rošt.

Tab. 4.5. Měrné tepelné výkony roštů

Druh roštu	Vzduch	Palivo	$q_r$ ( $\text{kW m}^{-2}$ )
pevný rovinný	prosáván	černé uhlí tříděné hnědé uhlí tříděné	700 až 1 000 600 až 900
	dmychán	černé uhlí tříděné hnědé uhlí tříděné	800 až 1 200 700 až 1 100
pevný stupňový	prosáván	dřevo ( $W = 40\%$ ) rašelina hnědé uhlí, lignit	500 až 900 500 až 900 600 až 900
pásový	prosáván	černé uhlí tříděné hnědé uhlí netříděné	800 až 1 200 600 až 800
	dmychán (pásmování)	černé uhlí tříděné, mírně spékavé černé uhlí prach černé uhlí proplástky hnědé uhlí tříděné hnědé uhlí hruboprach rašelina	800 až 1 300 600 až 700 700 až 800 800 až 1 100 600 až 700 500 až 700
pásový s pohazováním	dmychán (pásmování)	černé uhlí netříděné hnědé uhlí netříděné	1 000 až 1 600 900 až 1 300
přesuvný	dmychán (pásmování)	hnědé uhlí tříděné hnědé uhlí prach černé uhlí prach	900 až 1 200 600 až 900 700 až 1 000
vratísuvný (prohrabovací)	dmychán (pásmování)	černé uhlí spékavé hnědé uhlí tříděné hnědé uhlí netříděné	800 až 1 300 800 až 1 200 600 až 800
podsvuvný	dmychání		600 až 1 200
lokomotivní (sklopné roštnice)	prosáván	černé uhlí tříděné	1 000 až 3 000

Palivo přivedené na rošt se zpravidla všechno úplně nespálí. Část paliva propadne mezerami mezi roštnicemi a část zůstane ve škváře ve formě odplyněného uhlí — koks. Všeobecně platí, čím drobnější zrno a větší mezera mezi roštnicemi, tím vyšší propad, a čím vyšší obsah popelovin, tím více nedopalu ve škváře. Propad se sníží použitím tříděného paliva (bez prachové frakce), použitím bezpropadových roštnic či dvouvrstevového spalování, popř. pohazo-

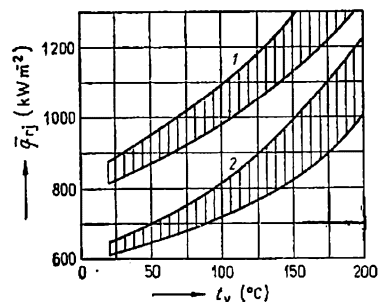
váním paliva nebo vrácením propadu pneumaticky do ohniště. Část paliva v podobě nejmenějších zrn ulétává z vrstvy se spaliny. Celkový úlet poroste s rostoucím obsahem prachových zrn a rychlostí spalovacího vzduchu.

#### 4.1.4.1 Určení roštové plochy a objemu ohniště

U roštů se rozlišuje hrubá plocha  $S_r$  ( $m^2$ ), jež je určena šířkou  $a$  (m) a délkou  $L_c$  (m) roštu, a světlá plocha  $S_{rs}$  ( $m^2$ ), která je totožná s průtočným průřezem roštu pro spalovací vzduch. Při určování hrubé plochy

$$S_r = \frac{M_{pvj} Q_n}{\bar{q}_{rj}} = \frac{M_{pj} \Delta i}{\eta_k \bar{q}_{rj}} = a L_c \quad (m^2) \quad (4.56)$$

se vychází ze jmenovitého středního měrného tepelného výkonu roštu  $\bar{q}_{rj}$  ( $kW m^{-2}$ ), jehož hodnoty se volí podle druhu roštu, paliva a teploty ohřátého vzduchu z tab. 4.5. Nižší hodnoty platí pro palivo s velkým obsahem vody a prachových zrn, vyšší hodnoty se volí pro tříděná černá uhlí s pohazovacím zařízením. S rostoucí teplotou spalovacího vzduchu střední měrný tepelný výkon roštu roste, obr. 4.29.



Obr. 4.29. Vliv teploty vzduchu na  $\bar{q}_{rj}$   
1 — černé uhlí, 2 — hnědé uhlí

Při dimenzování šířky a délky roštu se přihlíží k měrnému šířkovému výkonu kotle  $m_p$ , který bývá  $m_p = 10$  až  $20 t h^{-1} m^{-1}$ , a jímž je vymezena šířka ohniště. Dále se přihlíží k hloubce ohniště  $b$  a k tuhosti nosné konstrukce roštu, aby nedocházelo za pohybu k přičení roštnic. Požadavek tuhosti připouští maximální možnou délku  $L_c$  a šířku  $a$  roštu asi 8 až 12 m. U roštů s pohazovacím zařízením omezuje délku roštu také maximální délka vrhu paliva. Např. délka roštu s ručním nahazováním má být nejvýše 2,5 m.

Světlá plocha roštu

$$S_{rs} = \frac{M_{pvs} V_v v}{\bar{w}_v} = \chi S_r \quad (m^2) \quad (4.57)$$

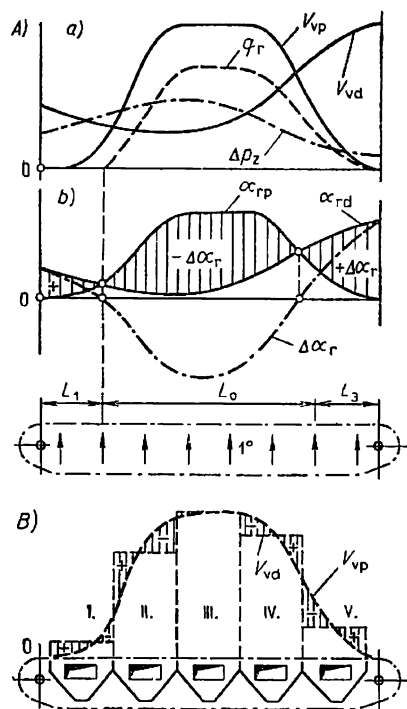
se určí z toku spalovaného paliva  $M_{pvj}$  ( $kg s^{-1}$ ), spotřeby spalovacího vzduchu  $V_v$  ( $m^3 kg^{-1}$ ) pro 1 kg paliva, podílu primárního vzduchu  $v$  a z rychlosti vzduchu  $w_v$  ( $m s^{-1}$ ) ve světlém průřezu roštnic, která obvykle bývá  $w_v = 0,5$  až  $1,5 m s^{-1}$  a u tříděného paliva se zrny přes 5 mm i více (kusové uhlí a brikety  $w_v =$  až  $6 m s^{-1}$ ). Nižší hodnoty rychlosti vzduchu je nutno volit pro přirozený tah a palivo obsahující prachová zrna, vyšší hodnoty jsou vhodné pro tříděná paliva a dmychání spalovacího vzduchu pod rošt ventilátorem. S rostoucím obsahem prachových zrn i vody v palivu bude s klesající výhřevností hodnota  $\chi$  klesat. Vliv rostoucí prchavé hořlaviny vyplývá z nutnosti přivádět část spalovacího vzduchu ve formě sekundárního vzduchu přímo do druhého ohniska hoření v prostoru ohniště nad roštěm, takže podíl  $v$  primárního vzduchu je menší. Vliv obsahu vody a výhřevnosti paliva na  $\chi$  souvisí s měrným tepelným výkonem roštu. Pokud má palivo vyšší obsah vody a nižší výhřevnost, je  $\bar{q}_{rj}$  nižší a je tedy i menší potřeba spalovacího vzduchu. Orientační hodnoty  $\chi$  pro různé druhy paliv jsou v tab. 4.6.

Tab. 4.6. Orientační hodnoty poměrné světlé roštové plochy  $\chi$ , tloušťky vrstvy paliva a tlakové ztráty u spalovacích roštů

Druh paliva	$\chi$	$h$ (mm)	$\Delta p_z$ (Pa)
Hnědé uhlí (hruboprach) (hrášek) (ořech)	0,15 až 0,35	40 až 80	600 až 1 200
	0,15 až 0,35	70 až 150	300 až 700
	0,15 až 0,35	180 až 300	100 až 600
Hnědouhelné brikety	0,15 až 0,35	200 až 400	80 až 600
Černé uhlí (2 až 5 mm) (2 až 30 mm)	0,25 až 0,5	60 až 180	200 až 600
	0,25 až 0,5	100 až 250	150 až 800
Antracit (kusy)	0,20 až 0,5	až 200	80 až 700
Kusová rašelina	0,10 až 0,25	až 500	180 až 800
Dřevo	0,15 až 0,25	400 až 1 500	100 až 1 500

Spalovací vzduch, nasávaný u malých roštových ohnišť podtlakem ohniště, je u výkonnějších ohnišť dopravován pod rošt vzduchovými ventilátory. Při průchodu světlou plochou roštu pomáhá vzduch chladit roštnice a chrání je tak proti opalu. Celkový objemový průtok potřebného spalovacího vzduchu  $V_{vp}$

( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) u roštů, u nichž jednotlivé fáze změny paliva probíhají za sebou, by se měl po ploše roštu rozdělit tak, aby místní objemové průtoky odpovídaly potřebě vzduchu příslušné fáze přípravy a hoření paliva na roštu, tj. aby součinitel přebytku vzduchu místní  $\alpha_r$  i střední  $\bar{\alpha}_r$  zaručovaly dobré vyhoření paliva, aniž by na druhé straně vzrostla nadměrně komínová ztráta. Střední hodnota součinitele přebytku vzduchu by měla být rovna optimální hodnotě pro dané ohniště, jak je uvedeno v kap. 3.1. Místní měrný tepelný výkon roštu  $q_r$  se po délce i šířce roštu mění, jak je vidět z obr. 4.30a. Při sušení na začátku roštu se z paliva neuvolňuje žádné teplo a teoreticky tedy není pro hoření potřeba žádného spalovacího vzduchu. Ohřátý vzduch zde pomáhá palivo pouze sušit.



Obr. 4.30. Vzduchové poměry u roštu bez pásmování (A) a s pásmováním (B)

Malé množství vzduchu je zapotřebí rovněž při dohořívání paliva na konci roštu. Nejvyšší potřeba vzduchu bude v pásmu hoření. Objemový průtok potřeby vzduchu  $V_{vp}$  by tedy měl zhruba odpovídat průběhu místního měrného tepelného výkonu roštu s přihlédnutím k případnému sušení paliva, tedy podle obr. 4.30a.

Dodávaný objemový průtok vzduchu  $V_{vd}$  v určitém místě roštu za provozu závisí však na aerodynamickém odporu roštu a vrstvy paliva a na charakteristice vzduchového ventilátoru, popř. u malých zařízení na charakteristice komína. Protože odpor určité vrstvy paliva  $\Delta p_z$  závisí na fázi přípravy podle obr. 4.30a, mají dodávané místní objemové průtoky vzduchu vrstvou paliva pro jednotlivé fáze hoření průběh podle obr. 4.30a, b, přičemž musí platit

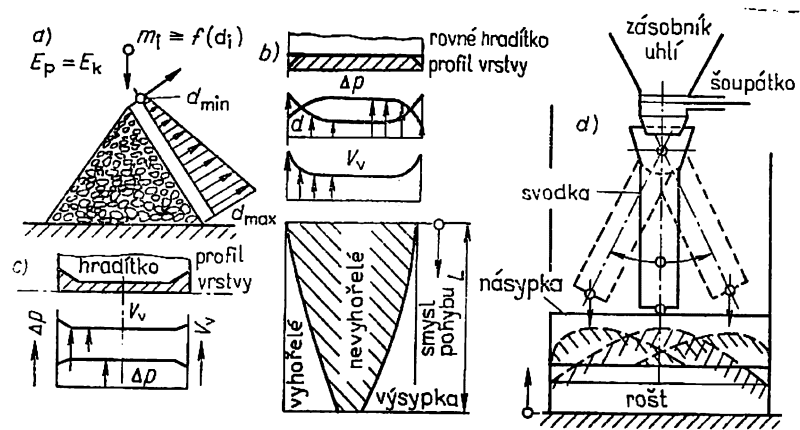
$$\dot{V}_{vd} = M_{pv} \alpha_o V_{vmin} = \int_0^x d\dot{V}_{vd} = \int_0^x w_r dS = \bar{w}_{rs} S_{rs} \quad (\text{m}^3 \text{s}^{-1}). \quad (4.58)$$

Na ploše roštu odpovídající úseku sušení  $L_1$  a úseku dohořívání  $L_3$  bude místní přebytek vzduchu, zatímco v úseku hoření  $L_0$  se bude vzduchu nedostávat. Pokud se neprovede nějaké opatření, vedla by uvedená skutečnost ke ztrátě mechanickým nedopalem ve škváře, protože spalovací vzduch z úseků  $L_1$  a  $L_3$  uniká, aniž se účastní reakce při hoření. Nabízí se jednoduchá pomoc, zvýšit průměrný součinitel přebytku vzduchu  $\bar{\alpha}_r$  tak, aby v pásmu hoření bylo vzduchu dostatek. Toto řešení není vhodné, protože vyšší  $\bar{\alpha}_r$  vede ke snížení spalovací teploty, čímž se zhorší spalování, a ke zvýšení komínové ztráty, protože s  $\bar{\alpha}_r$  roste přímo úměrně množství spalin. Správné řešení je tedy jen tzv. *pásmování* vzduchu, které pomocí plechových přepážek a regulačních klapek rozdělí tok vzduchu do vrstvy tak, jak to odpovídá požadovanému průběhu  $\alpha_r$ . Pásmování se provádí hlavně po délce, ale u širokých roštů i po šířce (nejčastěji se příčně dělí rošt jen na pravou a levou polovinu, ale bylo použito i příčné dělení na více pásem). Příklad nastavení místních poměrů  $\alpha_{rd}$  pro rošt se 4 podélnými pásmy je na obr. 4.30b.

Na správné rozdělení vzduchu pro celou vrstvu paliva a tedy i na dosažení optimální hodnoty  $\bar{\alpha}_r$  má vliv i těsnost ohniště. Falešný vzduch může do roštového ohniště vstupovat kromě netěsnostmi v obezdívce a oplechování ještě nedokonalým utěsněním boků roštu, zejména u pohyblivých roštů, a při špatné funkci škvárového jízku nebo škrabáku. Škvárový jízek či škrabák zadržuje škváru na konci roštu v takovém množství, aby její vrstva tvořila uzávěr proti vnikání vzduchu do ohniště. Přitom toto zařízení musí umožnit odchod přebytečné škváry do škvárové výsypky. Příklad škvárového jízku a bočního utěsnění roštu jsou na obr. 4.35b a obr. 4.41.

Na rozdělení množství vzduchu po šířce roštu má jistý vliv i palivové hradítko, které je zařazeno za palivovou násypku na začátek roštu a má za úkol nastavením výšky řídit tloušťku vrstvy paliva. Přitom stejnorodost vrstvy paliva závisí především na jeho zrnové charakteristice. Bude tím lepší, čím více se bude palivo blížit charakteru monodisperzní směsi zrn (zrna stejné velikosti).

Při polydisperzní směsi zrn dojde při sesypání paliva do násypky k vytřídování větších zrn ke krajům roštu, obr. 4.31, takže v těchto místech bude odpor vrstvy menší a většina vzduchu tudíž bude unikat. To způsobí vyhořívání vrstvy paliva



Obr. 4.31. Vytřídování zrn po šířce roštu a vliv tvaru hradítka na vrstvu  
*a* — princip vytřídování u volně sypané hromady, *b* — vliv rovného hradítka na průřez vrstvy, její odpor a vznik nevyhořelého pásu, *c* — vyrovnání profilu vrstvy tvarem hradítka, *d* — kývavá svodka

po krajích roštu, zatímco uprostřed roštu se bude vzduchu nedostávat a vzniknou „jazyky“ nevyhořelého paliva, které odcházejí do škvárové výsypky a zvyšují ztrátu mechanickým nedopalem. Aby k tomu nedocházelo, provádí se hradítka ve tvaru podle obr. 4.31*c*, čímž se zesílí okraj vrstvy paliva. Dobře pomáhá též použití kyvadlové svodky, obr. 4.31*d*, která zabraňuje vytřídování zrn po šířce roštu.

Objem ohniště se určí podle (4.1)

$$V_o = \frac{M_{pv} Q_n}{\bar{q}_v} \quad (\text{m}^3), \quad (4.59)$$

přičemž měrné objemové zatížení se volí podle tab. 4.1 tak, že nižší hodnota se použije pro nejvyšší jmenovité výkonnosti  $M_{pj} = 80$  až  $100 \text{ t h}^{-1}$ , pro vyšší obsah prchavé hořlaviny a pro rošty s pohazovacím zařízením; nejvyšší hodnoty  $\bar{q}_v$  naopak pro nízké  $M_{pj}$  a antracitická uhlí tříděná.

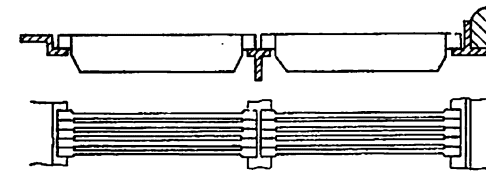
#### 4.1.4.2 Aerodynamický odpor vrstvy paliva

Aerodynamické odpory roštu a vrstvy paliva rozhodují zásadním způsobem o funkci i režimu roštového ohniště, protože, jak je vidět z [8.28], ovlivňuje tlaková ztráta roštu a vrstvy  $\Delta p$ , součinitel přebytku vzduchu  $\alpha_o$  i  $\bar{q}_r$ , a tím jeho výkon i výkonnost celého kotle  $M_p$ . Výpočet  $\Delta p_r$  je uveden v kap. 8.4.7.

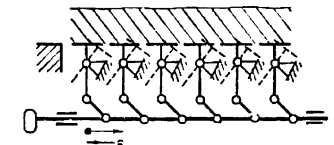
#### 4.1.4.3 Typy roštů

Podle způsobu přemísťování paliva vzhledem k ohništi se rošty rozdělují na rošty s nehybnou vrstvou (např. rovinný rošt pevný), s vrstvou trvale se posouvající (např. rošty pásové) a s přerušovaným přemísťováním vrstvy (např. rošty přesuvné).

*Pevný rovinný rošt*, obr. 4.32, se skládá z litinových desek s otvory pro vzduch nebo z řad vedle sebe a za sebou umístěných roštnic ve tvaru štíhlých



Obr. 4.32. Roštnice pevného rovinného roštu

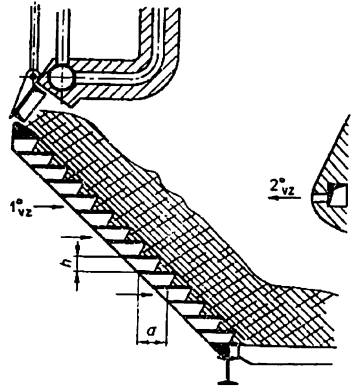


Obr. 4.33. Rovinný rošt se sklopnými roštnicemi

nosníků ze žárovečné litiny. Roštnice jsou vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání a musí být proto dostatečně tuhé. Mezera mezi nimi je úzká, aby palivo roštem nepropadlo, avšak přitom dostatečně velká pro přívod vzduchu. Roštnice musí mít v mezeře, kde jsou chlazeny vzduchem, dostatečný povrch pro odvod tepla, aby se neopalovaly. Pevný rošt s ruční obsluhou vyhovoval jen pro malé výkony. Pro větší výkony již topič nestačil přikládat palivo a bylo třeba tuto funkci zmechanizovat mechanickým pohazovačem s přerušovaným provozem. Prohrabávání paliva a odvod škváry u pevného rovinného roštu mechanizovat nelze. Příkladem rovinného roštu, u něhož lze odstraňovat škváru polomechanickým způsobem, je *rošt se sklopnými roštnicemi*, používaný např. u parních lokomotiv, obr. 4.33. Pákovým systémem lze sklopit roštnice tak, že škvára mezi nimi propadne.

Jiným typem pevného roštu, u něhož se přikládání paliva a odvod škváry děje sesouváním, je *stupňový rošt*, obr. 4.34. Palivo zde padá vlivem gravitace z násypky přes hradítka, jímž se reguluje tloušťka vrstvy, a postupuje

do ohniště až k dohořivacímu rovinnému roštu. Vzduch se přivádí regulačními otvory mezi stupně roštu, na nichž leží palivo. Výška stupňů i jejich vzájemný přesah se volí podle sypného úhlu paliva tak, aby nedocházelo k propadu. Tento rošt se hodí pro paliva s velkým obsahem prchavé hořlaviny a poměrně značným množstvím prachové frakce a pro paliva, která mohou hořet ve vrstvě o značné tloušťce (dřevo, rašelina).



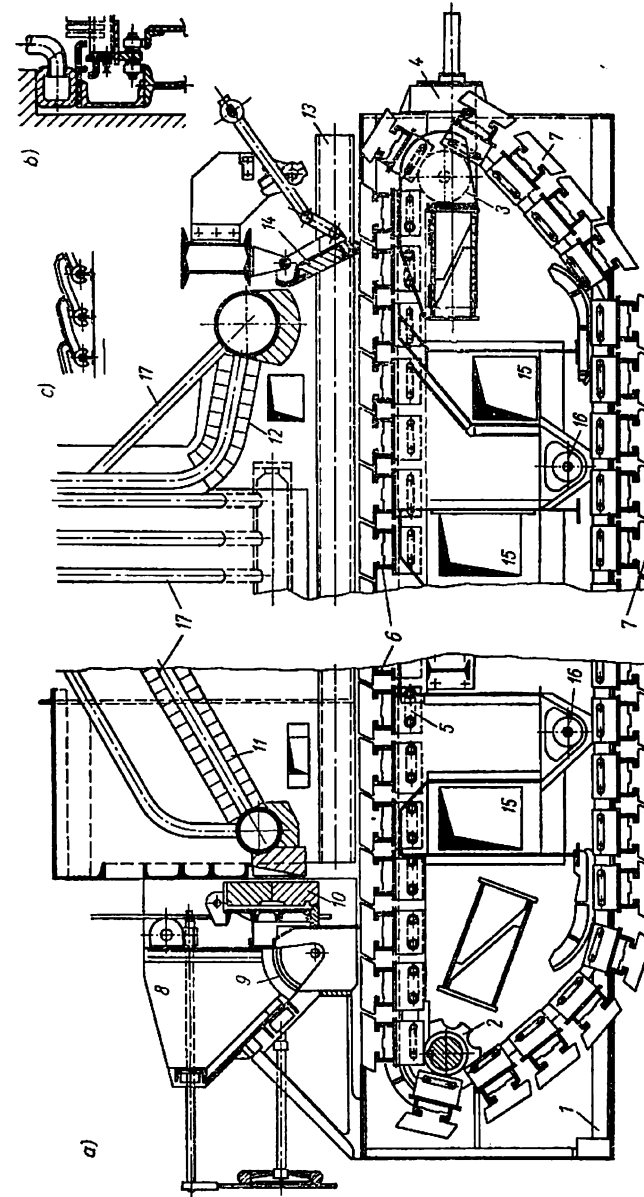
Obr. 4.34. Pevný stupňový rošt

Prvním typem mechanizovaného roštu, který se prakticky osvědčil pro větší výkony, byl *rošt řetězový* a jeho pozdější modifikace *rošt pásový*, obr. 4.35. Řetězový rošt, jehož roštnice tvořily články širokého Gallova řetězu, měl řadu nevýhod, z nichž nejzávažnější byla ta, že při výměně spálené roštnice bylo třeba celý řetěz rozebrat. Pásový rošt používá Gallova řetězu pouze jako nosného elementu na vnějších krajích plochy roštu. Tyto řetězy nepřicházejí s rozžhaveným palivem vůbec do styku. Roštnice jsou zasunuty do příčných trámů, přivařených na člancích řetězu. Aby se pod vahou roštnic a paliva řetězy neprohýbaly, je na každém čepu kladka, odvalující se při pohybu řetězu po kolejnicích na nosném rámu. Ložiska poháněcích řetězových kol jsou obvykle pevně spojena s rámem, ložiska vodicích řetězů jsou přestavitelná, aby bylo možno řetězy napínat. Vrstva paliva na roštu se reguluje hradítkem. Na konci roštu je výkyvný škrabák nebo jízek, který zadržuje škváru, aby dohořela, a současně zabraňuje vnikání falešného vzduchu do ohniště.

Tepelný výkon pásového roštu šířky  $a$  (m)

$$Q_r = M_{pv} Q_n = ahv_r \rho_s Q_n \quad (\text{kW}) \quad (4.60)$$

se může měnit změnou toku paliva  $M_{pv}$  a výhřevnosti  $Q_n$ ;  $M_{pv}$  se regulovaně



Obr. 4.35. Pásový rošt

$a$  — sestava,  $b$  — boční utěsnění vzduchu,  $c$  — bezpropadové roštnice  
 $1$  — nosný rám,  $2$  — hnací řetězka,  $3$  — napínací zařízení nebo válec,  $4$  — článek řetězu,  $5$  — článek řetězu,  $6$  — nosný trámec,  
 $7$  — roštnice,  $8$  — násypka,  $9$  — segmentový uzávěr,  $10$  — hradítko,  $11, 12$  — přední a zadní klenba,  $13$  — boční chladičí komora,  
 $14$  — škvárový jízek,  $15$  — pásmování vzduchu,  $16$  — šnek na vyhřívání škváry a propadu,  $17$  — výparníkové trubky

mění výškou vrstvy  $h$  (palivovým hradítkem) a rychlostí roštu  $w_r$  (změnou otáček) a neregulovaně při změně sypané hmotnosti  $q_s$ . Změna výhřevnosti má rovněž nahodilý charakter; takže

$$\begin{aligned} \Delta Q_r &= Q_n \Delta M_{pv} + M_{pv} \Delta Q_n = \\ &= Q_n a w_r q_s \Delta h + Q_n a h q_s \Delta w_r + Q_n a h w_r \Delta q_s + a h w_r q_s \Delta Q_n \quad (\text{kW}). \end{aligned} \quad (4.61)$$

Flouščka vrstvy paliva u pásového roštu se mění hradítkem v rozsahu  $h = 0,04$  až  $0,3$  m podle zrnění paliva a výkonu (dolní hodnota pro prach a nízký výkon, horní pro tříděné palivo s velkými zrny a velký výkon). Rychlost paliva musí být volena tak, aby zrna paliva za dobu proběhnutí délky roštu  $L$  měla možnost se vysušit a vyhořet, tj. doba setrvání

$$\tau_c = \frac{L}{w_r} \geq \tau_s + \tau_h \quad (\text{s}). \quad (4.62)$$

Protože doby potřebné pro vysušení  $\tau_s$  a vyhoření  $\tau_h$  jsou pro běžnou velikost zrna, tloušťku vrstvy a obsah vody řádově asi  $\tau_c = 5$  až  $15$  min, musí být rychlost roštu v relaci s  $\tau_c$  a  $L$  podle rovnice (4.62). Obvykle vychází  $w_r = 5$  až  $15 \text{ cm min}^{-1} = 0,001$  až  $0,025 \text{ m s}^{-1}$ . V tomto rozsahu se volí několik stupňů rychlostí (až 5). Pro případ poruchy kotle, kdy je třeba dopravit žhavé palivo z roštu rychle do škvárové jímky, je k dispozici ještě tzv. havarijní rychlost roštu okolo  $0,1 \text{ m s}^{-1}$ . Rychlost roštu je shodná s obvodovou rychlostí hnací řetězky a lze ji tedy měnit změnou otáček hnací řetězky, nejčastěji pomocí regulační převodové skříně.

Závislost doby setrvání paliva na roštu a tedy i rychlosti roštu na výkonu

$$\tau_c = \frac{L}{w_r} = \frac{S_r h q_s}{M_{pv}} = \frac{h q_s Q_n}{\bar{q}_r} \quad (\text{s}). \quad (4.63)$$

Příkon motoru pro pohon pásového roštu se určuje z empirického vzorce podle velikosti hrubé roštové plochy

$$P_r = 0,5 + 0,1 S_r \quad (\text{kW}). \quad (4.64)$$

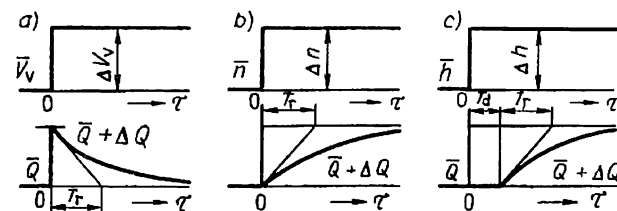
Protože na roštu je akumulováno v hořícím palivu značné množství tepla, lze dočasně, avšak s téměř okamžitým účinkem zvýšit počáteční tepelný výkon  $\bar{Q}_r$  (kW) skokovým zvýšením průtoku vzduchu vrstvou, obr. 4.36a. Naproti tomu skoková změna rychlosti roštu při změně otáček řetězky se projeví pomalým růstem výkonu podle obr. 4.36b, s časovou konstantou roštu

$$T_r = \frac{m_r Q_n}{\bar{Q}_r} = \frac{a L h q_s Q_n}{\bar{Q}_r} \quad (\text{s}). \quad (4.65)$$

Skoková změna tloušťky vrstvy se projeví podle obr. 4.36c navíc ještě se značným dopravním zpožděním

$$T_d = \frac{L}{w_r} \quad (\text{s}). \quad (4.66)$$

Aby byla ztráta propadem u pásového roštu co nejmenší, dělají se někdy bezpropadové roštnice podle obr. 4.35c. Tím ovšem dále vzrůstá již tak značná hmotnost roštu, a proto nebývají v oblibě. Častěji se dosahuje snížení ztráty mechanickým nedopalem pneumatickým vrácením propadu na rošt.



Obr. 4.36. Průběh výkonu roštu při skokové změně  
a — průtoku vzduchu, b — otáček hnací řetězky, c — tloušťky vrstvy paliva

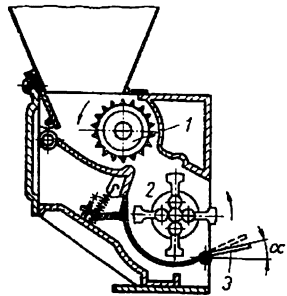
Někdy se také pásové rošty na palivo s velkým obsahem prachu kombinují s pohazovacím zařízením mechanickým (obr. 4.37), pneumatickým nebo parním. Při mechanickém pohazování dopadají větší částice paliva na zadní konec roštu a menší, pokud neshoří v letu, dopadnou tím blíže k pohazovači, čím jsou menší. Plyne to z toho, že při zhruba stejné rychlosti vrhu, dané obvodovou rychlostí pohazovače, má částice s větší hmotností větší kinetickou energii a tedy větší dolet. Proto smysl pohybu pásového roštu s mechanickým pohazováním paliva musí být ve směru k pohazovači a hlavní škvárová výsyпка musí být umístěna pod pohazovačem. U pneumatických a parních pohazovačů, kde se zrna uhlí pohazují proudem tlakového vzduchu nebo páry, dopadnou velké částice naopak blízko pohazovače a drobnější na vzdálenější místa roštu. Aby měla zrna delší čas k vyhoření, musí být smysl pohybu pásového roštu s tímto typem pohazování od výsycky k zadní klenbě a rovněž umístění škvárového škrabáku a škvárové výsycky stejné jako u roštů bez pohazovače (obr. 4.38).

K zmenšení propadu u pásových roštů slouží rovněž dvouvrstvové a vícevrstvové spalování, obr. 4.39. Palivo se rozdělí podle velikosti zrna na dvě nebo více frakcí, které se z roštové násypky kladou na roštu na sebe tak, že nejspodnější vrstva je z nejhrubších zrn, která mezerami roštu nemohou propad-

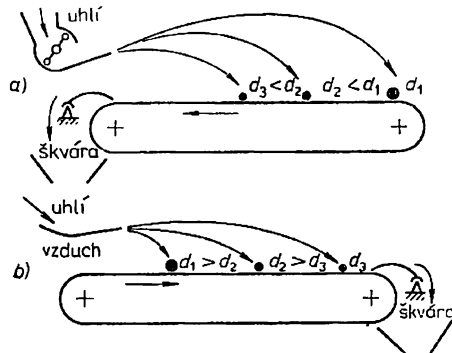


nout, a nejjemnější frakce jsou úplně nahoře. Tím se zároveň zlepši propustnost vrstvy paliva pro spalovací vzduch.

Dalším mechanizovaným roštem, na němž lze spalovat i paliva s prachovým podílem, je rošt přesuvný, obr. 4.40 (viz příloha). Je to šikmý stupňový

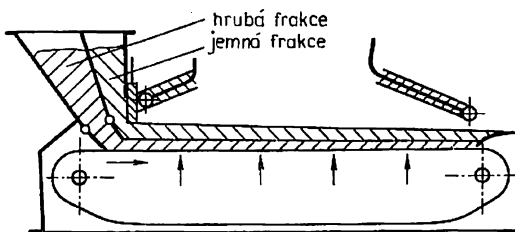


Obr. 4.37. Mechanický pohazovač paliva  
1 — podavač, 2 — rotor pohazovače s výkyvnými rameny, 3 — elevační deska



Obr. 4.38. Smysl pohybu pásového roštu a umístění škvárové výsypky při pohazování  
a — mechanickém, b — pneumatickém

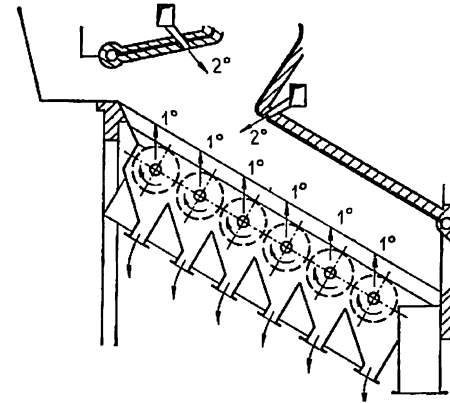
rošt, jehož plocha je složena z úzkých roštnic srovnaných do příčných vodorovných řad (stupňů). Všechny sudé stupně bývají obvykle pevně připojeny k nosnému rámu a všechny liché stupně jsou připojeny na vozíky poháněné přímočaře vratně klikovým mechanismem s elektromotorem nebo hydraulickým



Obr. 4.39. Dvourstvé spalování

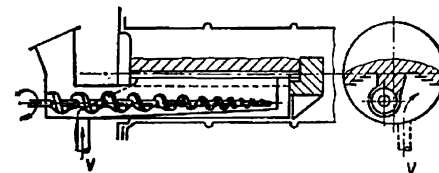
válcem. Pohybem roštnicových stupňů se dosáhne postupného sesouvání paliva, prolamování povrchu vrstvy (což je důležité u spékavých paliv) a částečného promíchávání uhlí ve vrstvě. Povrch roštu je skloněn k vodorovné rovině v úhlu asi 15 až 20°. Výkon roštu lze měnit podobně jako u pásového roštu výškou

vrstvy a rychlostí paliva, tj. změnou rychlosti roštnic (např. změnou převodu, změnou tlaku hydraulického pohonu) a délkou zdvihu roštnice, čehož se dosáhne změnou délky ramene dvouramenné páky klikového mechanismu.



Obr. 4.42. Válcový rošt pro spalování městských odpadů

Ještě pronikavějšího prolamování vrstvy a promíchávání paliva se dosáhne u *prohrabovacích roštů* nazývaných též rošty *vratisuvné*, obr. 4.41. Jejich konstrukce je obdobná jako u roštů přesuvných jen s tím rozdílem, že jednotlivé stupně se pohybují v protisměru k pohybu paliva, takže při jejich pohybu dochází k intenzivnímu promíchávání horní žhavé a spodní dosud nezapálené části vrstvy paliva. Tím se dosáhne spodního zápalu, lepšího vyhoření a u spékavých paliv prolamování spečených „koláčů“. Vyrábějí se jako *kaskádové*, obr. 4.41a, je-li povrch roštu ve vodorovné rovině, nebo jako rošty *Martinovy*, obr. 4.41b, je-li povrch roštů šikmý (viz příloha).



Obr. 4.43. Posuvný rošt v plamenci

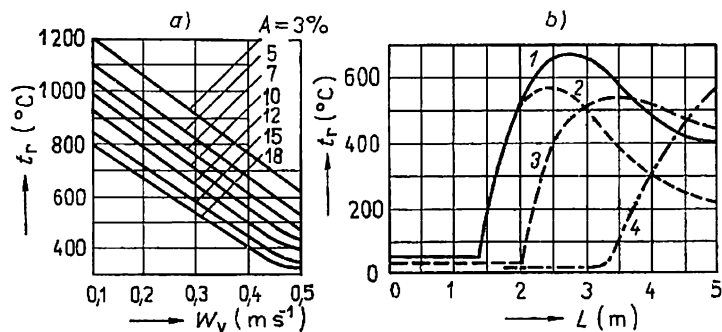
Při spalování městských odpadků se někdy používá šikmého roštu vytvořeného z otáčejících se dutých válců, tzv. *válcový rošt* (Vulkán — Plaček), obr. 4.42. Otáčením válců se vrstva spalovaných odpadků sesouvá až k dohořivací roštnici, odkud padá škvára do výsypky. Vzduch se přivádí dutými čepy

do válců a z nich otvory do vrstvy. (Každý válec má samostatnou regulaci přívodu vzduchu.) Otáčky jednotlivých válců bývají stejné a lze je regulovat. Tím lze měnit při dané výšce vrstvy a sypné hmotnosti tok spalovaných odpadů.

V zahraničí se používají rošty *retortové (posuvné)*, obr. 4.43, u nichž se palivo přivádí na rošt retortu prostřednictvím šneku nebo plunžru. Roštníkové stupně jsou voleny tak, aby nedocházelo k propadu.

#### 4.1.4.4. Roštnice

Roštnice plní funkci nosníků, na kterých je uložena vrstva paliva. U mechanických roštů kromě toho uvádějí do pohybu palivo a škváru, aby postupovaly od palivové násypky ke škvárovému jízku. Za studena je jejich namáhání relativně malé, avšak za provozu dochází k opalu, snížení pevnosti materiálu a k značnému prodloužení, takže při nesprávné konstrukci mohou být při deformaci namáhány velkým napětím. Teplota roštnic je dána především teplotami paliva ve vrstvě, a ty závisí hlavně na vlastnostech paliva (výchřevnosti,

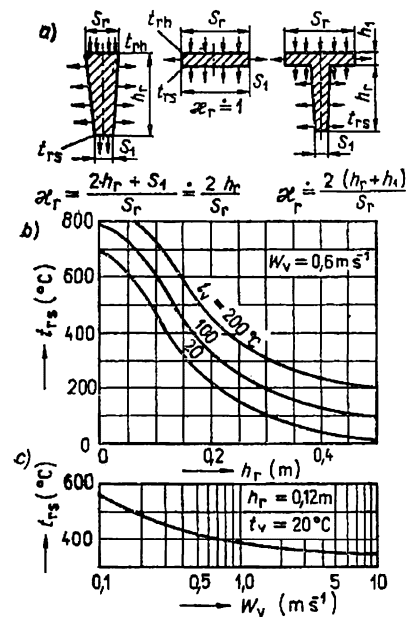


Obr. 4.44. Teplota roštnic

a — vliv rychlosti vzduchu a popela, b — průběh teploty po délce pásového roštu (výška vrstvy paliva 100 mm): 1 —  $w_r = 9,3$  cm min<sup>-1</sup>,  $w_v = 0,75$  m s<sup>-1</sup>; 2 —  $w_r = 9,3$ ,  $w_v = 1,0$ ; 3 —  $w_r = 14,4$ ,  $w_v = 0,9$ ; 4 —  $w_r = 23$ ,  $w_v = 0,75$

obsahu prchavé hořlaviny a vody), na výšce a slehnutí palivové vrstvy, na přebytku vzduchu a jeho teplotě. Jak je vidět z obr. 4.24, nejsou nejvyšší teploty na povrchu spalované vrstvy, ale pod povrchem zhruba asi ve čtvrtině tloušťky vrstvy. Rozdíl teplot ve vrstvě klesá tím více, čím nižší je spalovaná vrstva. U velmi tenké vrstvy při plném tepelném výkonu roštu se teploty v tloušťce vrstvy téměř vyrovnávají. Z obr. 4.44 je vidět průběh teplot v roštnici při spalování spékavého a nespékavého uhlí v závislosti na obsahu popela a rychlosti spa-

lovacího vzduchu v mezeře mezi roštnicemi a závislost teploty roštnic po délce roštu. Aby teplota materiálu roštnice nadměrně nestoupla, musí být teplo z roštnice odváděno, tj. tvar roštnice musí odpovídat zásadám účinného chlazení. Ze zkušenosti plyne, že největší šířka roštnice nemá být větší než čtyřnásobek vzduchové mezery. Nejlépe se osvědčují jednoduché tvary roštnic bez



Obr. 4.45. Tvarový faktor roštnic (a); vliv výšky roštnice a teploty vzduchu (b), popř. rychlosti vzduchu (c), na teplotu roštnice

náhlých změn průřezu. Příliš štíhlé roštnice nejsou výhodné, protože mají malou akumulární schopnost a malý průřez k odvádění tepla. Součinitel vychlazení roštnice (obr. 4.45a)

$$\kappa_r = \frac{2h_r}{s_r}, \quad (4.67)$$

závislý na výšce  $h_r$  a šířce čelní plochy  $s_r$  roštnice, charakterizuje přestup tepla z roštnice a má velký vliv na teplotu roštnice. Pro obvyklé rychlosti vzduchu závisí optimální hodnoty  $\kappa_r$  na druhu paliva, zejména na výchřevnosti, jak je patrné z tab. 4.7. Vliv tvarového faktoru, resp. výšky roštnice a rychlosti vzduchu na teplotu spodní části roštnice je dobře vidět z obr. 4.45b, kde je také vyneseno vliv teploty vzduchu.

Tab. 4.7. Závislost součinitele chlazení roštnic na výhřevnosti spalovaného paliva

$Q_n$ (kJ kg <sup>-1</sup> )	8 000	16 000	24 000	32 000
$\alpha_r$	1 až 3	3 až 6	7 až 11	14 až 20

Přirozenou ochranou roštnic proti sálání ohniště v místech vyhoření paliva je vrstva škváry na roštu. Uvádí se, že paliva s obsahem popela  $A < 8 \%$  nejsou pro spalování na roštích vhodná pro vysokou teplotu roštnic v místě vyhoření paliva. Vliv popela na teplotu roštnic je znázorněn na obr. 4.44. Vyšší a vysoké vrstvy paliva jsou z hlediska nižší teploty roštnic výhodné, protože vyžadují větší poměrný tok vzduchu na 1 m<sup>2</sup> a roštnice jsou lépe chlazeny. I vyšší obsah vody v palivu působí příznivě na snížení místních vysokých teplot roštnic. Proto se někdy do ohroženého pásma dmychá pod rošt pára nebo se rozprašuje voda.

Životnost roštnic je ovlivněna i materiálem. Pokud teplota roštnic nepřesahuje 600 °C, vystačí se při výrobě s běžnou žárovzdornou litinou (C = 3 až 4 %, z toho grafit do 1,5 %, Si = 1 až 2 %, Mn = 0,5 až 0,8 %, P < 0,2 %, S < 0,08 %). Zvýšení žárovzdornosti se dosahuje obsahem chromu (Cr = 15 až 18 %). Někdy se také litina leguje větším obsahem hliníku. Na životnost roštnic má vliv i způsob lití (výhodné je lití do kokil) a nasycování tenké vrstvy při povrchu hliníkem nebo chromem.

#### 4.1.4.5 Mezní výkon roštových ohnišť

Mechanické rošty pro parní kotle lze stavět, jak plyne z mezní velikosti hrubé roštové plochy  $S_r = 80$  až 100 m<sup>2</sup> a měrného tepelného výkonu  $\bar{q}_r$ , jen asi do výkonnosti  $M_{pi} = 80$  až 100 t h<sup>-1</sup> páry. Pro tyto mezní hodnoty vycházejí, hlavně při spalování horších druhů paliv, rozměry roštů již tak velké, že nelze zajistit účinnou kontrolu spalování a dostatečnou pružnost při změně výkonu. Zvýšení měrného výkonu roštu by se dalo dosáhnout jedině zvětšením tloušťky vrstvy paliva. Tím by se však nadměrně zvýšil odpor pro spalovací vzduch a vzduch by vrstvou neprocházel. Navíc by bylo třeba zvýšit i množství vzduchu dmychaného pod rošt, čímž by vzrostla jeho rychlost tak, že by došlo k rozrušení vrstvy a k uvedení zrn do vznosu, přičemž by se jemnější částice strhávaly proudem vzduchu a odcházely se spalinami do komína. Filtrační způsob spalování paliva ve vrstvě lze používat do výkonnosti kotle 100 t h<sup>-1</sup>.