

Pokud se kotle s velkým výkonem stavějí ještě někde s rošty, jsou kombinovány zpravidla s práškovým nebo plynovým ohništěm. Rošt kryje základní výkon a práškové či plynové topení přebírá regulaci výkonu. Důležité však je, aby roštnice nezůstaly za provozu obnaženy, ale pokryty vrstvou paliva, protože by se nadměrně opalovaly.

Nevítanou vlastností roštů je jejich velká hmotnost (bývá až 30 % celkové hmotnosti kotle). Proto i u malých kotlů je snaha vyhnout se roštu. Je to vidět nejlépe z celkového trendu ve světě, kde roštová ohniště jsou i u nejmenších výkonů stále více vytlačována olejovým topením.

4.1.5 PRÁŠKOVÁ OHNIŠTĚ

Prášková ohniště, která vznikla po ohništích roštových, byla zpočátku tvořena keramickými stěnami a měla původně umožnit jen spalování prachové frakce uhlí, zbylé po třídění, kterou ve své době nebylo možno na rostech spalovat. Uhelný prášek má proti tříděnému uhlí pro roštové ohniště řádově 100 až 1 000krát větší měrný povrch S a tudíž jeho spalování proběhne přibližně rovněž tolikrát rychleji. Zatímco u tříděného uhlí je $S = 1$ až $2 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ a doba spalování na roštu $\tau_c \approx 15$ až 20 min , je u uhelného prášku $S \approx 100$ až $2 000 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ a $\tau_c \approx 0,5$ až 2 s . Protože nehrozí nebezpečí spálení roštnic, je možno ohřívát u práškových ohnišť spalovací vzduch na podstatně vyšší teplotu (běžně na 300 až $400 \text{ }^\circ\text{C}$) a tím zvýšit teploty v ohništi, což umožní spalovat dokonaleji i paliva, která by se na roštu nedala vůbec spalovat. Při mletí je možné palivo sušit, a tím jej zkvalitnit (zvýšit výhřevnost).

Zatímco roštová ohniště dovolují stavět kotle s maximální jmenovitou výkonností $M_{pj} = 80$ až 100 t h^{-1} , nebylo dosud u práškových kotlů mezní jmenovité výkonnosti dosaženo. Největší dnes postavený práškový kotel pro blok $1 300 \text{ MW}$ na černé uhlí má jmenovitou výkonnost $M_{pj} \approx 4 200 \text{ t h}^{-1}$ a v budoucnu by nečinilo potíže stavět práškové kotle $M_{pj} = 6 400 \text{ t h}^{-1}$ a větší (pro bloky na $2 000$ i více MW).

Příprava paliva ke spalování v letu, tj. mletí a sušení, je nákladnější než u roštových ohnišť. Investiční náklady na mlecí okruh jsou značné a měrná mlecí práce i energie na sušení nejsou zanedbatelné. Kromě toho z uhelného prášku vzniká jemnější popílek, který je snadno unášen spalinami z ohniště (viz tab. 4.2 – Stupeň zachycení popelovin), takže zanáší konvekční výhřevné plochy a znečišťuje po výstupu z komína biosféru. Proto je třeba vybavit práškové kotle účinnými a spolehlivými odlučovači popílku. Rovněž doprava a skládka jemného popílku jsou náročné. Skládka zaujímá velký prostor a těžko se zabraňuje tomu, aby vítr popílek ze skládky nerozfoval.

U prvních práškových ohnišť se očekávalo, že zintenzívněním spalování v důsledku zvětšení měrného povrchu bude možno proti ohništím roštovým zmenšit poměrný objem ohniště. Ve skutečnosti však střední měrné tepelné zatížení objemu ohniště muselo pro určitý výkon zůstat zhruba stejné, resp. o něco nižší než u roštových, viz tab. 4.1 a obr. 4.1 až 4.3. Je to dáno malou relativní rychlostí mezi palivem a okysličovadlem a nutností, aby při střední rychlosti paliva v ohništi \bar{w}_s , která bývá 5 až 12 m s^{-1} měla zrna paliva možnost dohořet.

Prášková ohniště se konstruují dnes ve 2 variantách. U granulačních probíhá spalování prášku za relativně nižších teplot v ohništi, takže většina popeloviny přitom nepřekročí teplotu tečení ($t_0 < t_{te}$) a odchází z ohniště v tuhé formě jako škvára a popílek. U výtavných práškových ohnišť je $t_0 > t_{te}$ a popelovina se odvádí obvykle nepřetržitě (kromě popílku) jako tekutá struska. Tzv. „oboživelná“ ohniště, která pracovala při vyšších výkonnostech jako výtavná a při nižších jako granulační, se neosvědčila a dnes se nestaví.

4.1.5.1 Velikost a tvar z hlediska spalování

Při navrhování velikosti a tvaru práškového ohniště se musí brát zřetel na 2 hlavní funkce, a to na uvolňování tepla co nejdokonalejším spalováním, a na vychlazení ohniště tak, aby se dosáhlo žádaného odvodu popelovin po spálení (buď granulační či výtavné ohniště) bez zastruskování ohniště i dodatkových ploch. Současně nesmí dojít k poškozování přehříváků řazených za ohništěm. Zajištění 1. funkce se vyjadřuje středním měrným tepelným zatížením ohniště \bar{q}_v (4.1), měrným průřezovým zatížením \bar{q}_s (4.11), dobou spalování nejhrubších zrn paliva τ_s a dobou jejich setrvání v ohništi τ_0 . Musí platit

$$\tau_s = \tau_0 \cdot \tau_{o \cdot \min} \quad (\text{s}). \quad (4.68)$$

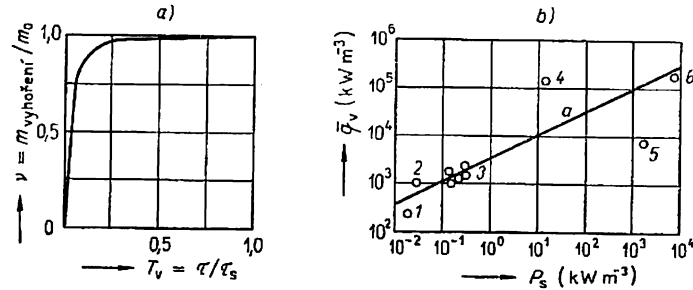
Vztahy pro dobu spalování uhelných zrn jsou uvedeny v kap. 3.2.6. Časový průběh vyhořívání hmotnosti uhelného prášku je patrný z obr. 4.46a. Střední dobu průtoku zrn ohništěm je možno určit ze střední délky dráhy spalin v ohništi L_0 (m) a střední rychlosti spalin w_s (m s^{-1}),

$$\tau_0 = \frac{L_0}{\bar{w}_s} \approx \frac{L_0 S_0}{M_{pv} V_s} \frac{273}{T_0} \approx \frac{k V_0}{V_s} \frac{273}{T_0} \quad (\text{s}). \quad (4.69)$$

Celý objem ohniště V_0 však není vyplněn plamenem a také dráha některých zrn paliva je vlivem víření delší než střední dráha L_0 , takže využití prostoru definované součinitelem

$$\bar{\varphi}_0 = \frac{V_{o \cdot \min}}{V_0} = \frac{\tau_{o \cdot \min}}{\tau_0} \quad (4.70)$$

není dokonalé. Minimální objem $V_{o,min}$ je pouze hypotetický pojem definovaný stejnou délkou všech proudnic, konstantní rychlostí v příčném průřezu a dokonalým vyplněním plamenem, takže pro něj platí $\bar{\varphi}_o = 1$. U běžných ohnišť bývá $\bar{\varphi}_o = 0,3$ až $0,8$. Místní hodnota φ_o se přibližuje 1 v pásmu hořáků a oběma směry nahoru i dolů klesá. Použitím rovnice (4.1) pro stanovení objemu ohniště



Obr. 4.46. Závislost poměrného vyhoření uhlého prášku na poměrné době spalování (a) a optimální závislost \bar{q}_v na středním měrném směšovací výkonu P_s (b)
1 — granulační ohniště, 2 — plamencový olejový kotel, 3 — olejové ohniště, 4 — kombustor plynové turbíny, 5 — cyklonové ohniště, 6 — naftový přeplňovaný motor

$V_o = M_{pvj} Q_n / \bar{q}_{vj}$ (m^3) a rovnic (4.68), (4.69) a (4.70) lze určit závislost měrného objemového zatížení ohniště na stupni vyplnění $\bar{\varphi}_o$, době vyhoření paliva τ , a střední teplotě v ohništi T_o ,

$$\bar{q}_v = \frac{\bar{\varphi}_o}{\tau_s} \frac{Q_n}{V_s} \frac{273}{T_o} \quad (\text{kW m}^{-3}). \quad (4.71)$$

Zlomek $\frac{Q_n}{V_s}$ (kJ m^{-3}) charakterizuje vlastnosti spalovaného paliva a součinitel přebytku vzduchu α_o ; T_o závisí rovněž na druhu paliva, teplotě i přebytku spalovacího vzduchu a recirkulaci spalin prostřednictvím T_{np} a na vlastnostech popelovin (zejména t_{mk}) přes t_{ok} . Hodnotu \bar{q}_v lze zvýšit, a tím snížit V_o zvětšením $\bar{\varphi}_o$, zvládnutím aerodynamiky při spalování a zkrácením doby spalování τ , zejména jemnějším mletím, vyšší teplotou spalovacího vzduchu a správným řešením směšování a dalších dějů při spalování. Přitom s rostoucím výkonem kotle roste V_o , čímž je proudění v ohništi, resp. směšování vzduchu s palivem obtížněji zvládnutelné; $\bar{\varphi}_o$ se přitom zmenšuje a τ prodlužuje. To vede k tomu, že se s rostoucím M_{pj} snižuje \bar{q}_v , jak je vidět z obr. 4.1. Proto je nutné aerodynamice ohniště a směšovací funkci hořáků věnovat náležitou pozornost [4.21], [4.22].

Poměr $\bar{\varphi}_o / \tau_s$ charakterizuje výsledný efekt směšování v ohništi a závisí na konstrukci a uspořádání hořáků, na geometrickém tvaru ohniště, na vlastnostech paliva, rychlostech, teplotách a přebytku vzduchu atd. Vzájemné vztahy mezi uvedenými činiteli jsou složité, nelze je matematicky popsat jednoduchými vztahy, a proto se používá modelování. Podobnost dějů je dána Fourierovým směšovacím číslem

$$Fo = \frac{L^2}{D_t \tau_o} = \text{konst.}, \quad (4.72)$$

v němž L (m) značí charakteristický rozměr plamene (obvykle jeho průměr $L = d$), D_t ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) součinitel turbulentní difúze (viz kap. 3) a τ_o (s) dobu setrvání zrna ve spalovacím prostoru. Čím bude Fo menší, tím bude směšování dokonalejší. Směšování přitom závisí hlavně na kinetické energii proudů směsi paliva a vzduchu vystupujícího z hořáku, vyjadřované tzv. středním a místním měrným směšovacím výkonem

$$\bar{P}_s = \frac{\bar{w}_{sm}^2}{2} \frac{M_{sm}}{V_o} \quad \text{a} \quad P_s = \frac{w_{sm}^2}{2} \frac{M_{sm}}{V_o} \quad (\text{W m}^{-3}). \quad (4.73a, b)$$

Protože součinitel turbulentní difúze závisí na P_s a dynamické viskozitě η_{sm} (Pa s) podle vztahu

$$D_t = K_m L^2 \sqrt{\frac{P_s}{\eta_{sm}}} \quad (\text{m}^2 \text{s}^{-1}), \quad (4.74)$$

lze vyloučením rozměru L popsat podobnost rovnicí

$$Fo = \frac{1}{K_m \tau_o} \sqrt{\frac{\eta_{sm}}{P_s}} = \text{konst.} \quad (4.75)$$

Spojením této rovnice s (4.68) a (4.71) lze vyjádřit vliv směšování na měrné objemové zatížení ohniště

$$\bar{q}_v = Fo K_m \frac{Q_n}{V_s} \frac{273}{T_o} \sqrt{\frac{P_s}{\eta_{sm}}} \quad (\text{W m}^{-3}). \quad (4.76)$$

V logaritmických souřadnicích $\lg P_s$ a $\lg \bar{q}_v$ (obr. 4.46b) je obrazem rovnice přímka

$$\lg \bar{q}_v = \lg k + 0,5 \lg P_s \quad (4.77)$$

s tangentou 0,5 a úsekem

$$k = Fo K_m \frac{Q_n}{V_s} \frac{273}{T_o} \sqrt{\frac{1}{\eta_{sm}}}. \quad (4.78)$$

Pro případ dobrého směšování je u granulačních ohnišť $\lg k \approx 3,5$, čemuž odpovídá přímka a na obr. 4.46b. Zhruba platí, čím více se odchyluje bod cha-

rakterizující směšovací poměry v ohništi od přímky a v kladném smyslu osy $lg \bar{q}_v$, tím je směšování dokonalejší a naopak. Poměry jsou však zčásti zkresleny tím, že $K_m = f(Re)$ a $V_s = f(\alpha_0)$, přičemž Re a součinitel přebytku vzduchu α_0 nemusí být u různých ohnišť různé, čímž srovnání není jednoznačné.

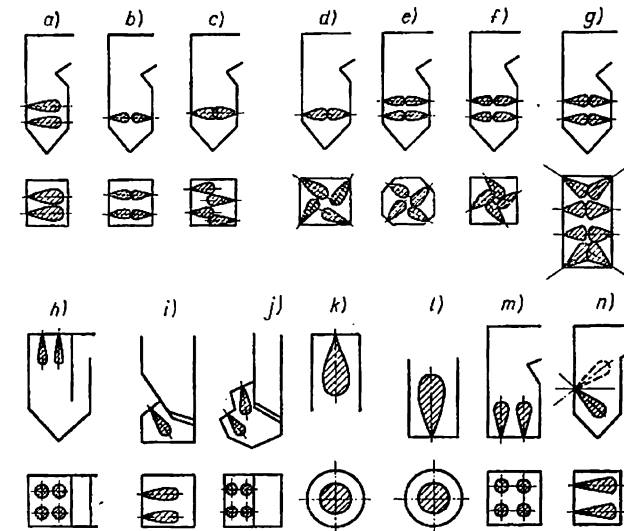
Aby bylo možno ze známého objemu ohniště V_0 stanoveného podle (4.1), resp. (4.69), navrhnout jeho rozměry, stanoví se podle (4.11) předběžně příčný průřez ohniště S_0 a výška $h_0 = V_0/S_0$. Při návrhu tvaru příčného průřezu je nutno předem znát:

- počet, výkon a rozmístění hořáků,
- geometrický tvar a rozměry plamene z hořáků při požadovaném rozsahu výkonosti a vzduchovém režimu,
- průběh izotach, izoterm a vyhořívání paliva po délce plamene, popř. vliv výkonu, konstrukce a umístění os hořáků na místní zatížení stěn ohniště,
- vzájemné ovlivňování plamenů hořáků umístěných vedle sebe při plném výkonu i částečně vypnutých hořácích.

Z prakticky možných variant umístění hořáků podle obr. 4.47 je možno použít u práškových ohnišť všech, kromě variant s hořáky ve dně, u nichž by vnikala škvára či struska do hořáků. Uvedené varianty uspořádání lze hodnotit z různých hledisek, např. jak dlouhé budou práškovody, jak je možno umístit mlýny a zásobníky, jaká bude stabilizace zapalování, jak budou rozděleny tepelné toky po výšce rozdělení spalin do dodatkových ploch apod., avšak nejdůležitější hledisko se zřetelem na spalování bude stupeň vyplnění příčného průřezu ohniště, popř. po jeho výšce plamenem a stupněm mísení v ohništi. Důležitý bude i požadavek, aby se plamen předčasně nedotýkal stěn, a tím nedocházelo k ošlehávání trubek tvořících výhřevné plochy, k zastruskování ohniště po zchládnutí tekuté popeloviny na stěnách a k nadměrným místním tepelným tokům spojeným popřípadě až s poškozením výhřevných ploch. Předčasným stykem prchavé hořlaviny v plameni s chladnou výhřevnou plochou může dojít k jejímu rozkladu a vzniku sazí. Podle obr. 4.9 je při známé délce a průměru plamene možno určit rozměry příčného průřezu ohniště podle uspořádání hořáků. Není to však jediné kritérium pro volbu rozměrů, neboť musí být splněn i vztah mezi f_0 a d_e (4.14) až (4.16), který respektuje přenos tepla v ohništi a tím jeho vychlazení (viz obr. 4.11).

U variant uspořádání hořáků a) až d) podle obr. 4.47 jsou obvykle uváděny tyto hlavní nedostatky: nerovnoměrné rozdělení spalin do dodatkových ploch a teplotová asymetrie v ohništi při odstavení některého hořáku, horší vyhoření paliva v důsledku nedokonalého mísení prouděním v ohništi a ne-

dostatečné využití spodního prostoru ohniště jak pro uvolňování, tak pro přenos tepla. Jak ukazují zkušenosti, lze tyto nedostatky snadno eliminovat pečlivou konstrukcí ohniště z aerodynamického hlediska. Čelní uspořádání hořáků dovoluje někdy lepší zvládnání spalovacího procesu než ohniště s rohovými hořáky, kde vypnutí hořáku způsobí nutně nezvládnutelnou asymetrii proudového i teplotového pole. U čelních a protiběžných hořáků je plamen rovnoměrně rozdělen



Obr. 4.47. Umístění hořáků u ohnišť parních kotlů
 a — dvouřadé čelní, b — jednořadé protiběžné, c — jednořadé vystřídané, d — jednořadé rohové, e — dvouřadé tangenciální (osmiúhelníkový průřez), f — dvouřadé tangenciální (čtvercový průřez), g — dvouřadé kombinované uspořádání, h — stropní, i — uspořádání v šikmé stěně (U-plamen u tavícího prostoru výtavných ohnišť), j — dvouřadé uspořádání šikmé, k — stropní olejový hořák u válcového ohniště, l — ve dně ohniště kruhového průřezu, m — dvouřadé ve dně čtyřhranného průřezu, n — naklápěcí hořáky

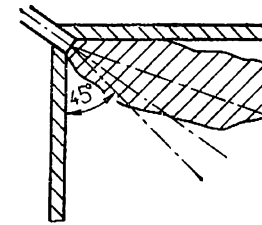
po příčném průřezu a bude-li délka plamene správně korespondovat s rozměry průřezu (obr. 4.46b a obr. 4.9), je možno omezit zanášení stěn ohniště na minimum, a tím prodloužit provozní periodu kotle. Ze stejného důvodu je důležité zrovnoměrnit teplotové pole i po výšce ohniště snížením jmenovitého výkonu hořáků, volit jich větší počet ve 2 i více řadách nad sebou, popř. s velkou výškovou roztečí. Hořáky u čelního uspořádání jsou dobře přístupné, snadno ovladatelné, mlýny a zásobníky se snadno umísťují, práškovody mohou být kratší,

mají ohyby pouze v jedné rovině a koncentrace prášku v primární směsi je rovnoměrnější. Také vzduchovody mohou být jednodušší. Ohniště s čelními a protiběžnými hořáky lze navrhnout při ponechání hloubky b podle délky plamene L_p ($b \approx L_p$, resp. $b \approx 2L_p$) v libovolné šířce a podle jmenovitého výkonu kotle. Délka plamene nesmí být u čelních hořáků větší než hloubka ohniště ($b \geq L_p$), aby nedocházelo k ošlehávání a opalu trubek a k zastruskování protější stěny.

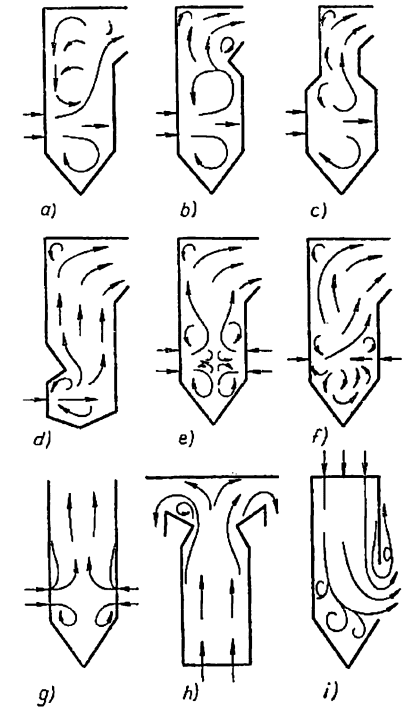
Tangenciální uspořádání hořáků (obr. 4.45e, f) je rozšířeno u kotlů na střední výkony (možná mezní jmenovitá výkonnost $M_{pj} \approx 1\,800\text{ t h}^{-1}$ pro blok $P_j \approx 600\text{ MW}$). Nejčastěji uváděné výhody (lepší vyplnění ohniště plamenem, proudění ve tvaru šroubovnice, delší spalovací dráha, vyšší turbulence a tím lepší směšování, popř. výhodnější podmínky pro zapálení paliva v důsledku zkřížení os plamene atd.) se při podrobnějším zkoumání aerodynamiky v ohništi neukazují o nic lepší než u ohniště s protiběžnými hořáky. Vyplněné ohniště bývá často i horší, neboť v dolní části nebývá vyplněn střed ohniště a segmenty u stěn v blízkosti hořáku, zejména při vypnutí některého hořáku. Obsah ohniště se prakticky nedostává do zamýšlené rotace, protože kinetická energie proudu se při velkém rozšíření průřezu vlivem vysoké viskozity spalin za vysokých teplot rychle zmaří a místo po šroubovnici dochází k proudění po vertikále. Tím se dráha hoření značně zkrátí. Vlivem vírů a nerovnoměrného zaplnění ohniště plamenem dochází často k zastruskování stěn v oblasti hořáků. Aby se zabránilo přiklání plamene vlivem nesymetrie aerodynamických poměrů ke stěně (obr. 4.48), se kterou svírá osa hořáku menší úhel, a tím se snížila možnost zastruskování, neumísťují se hořáky přímo v rozích čtvercového průřezu obr. 4.47d, ale do šikmých stěn ohniště s osmiúhelníkovým průřezem, nebo se umísťují do rovných stěn v určité vzdálenosti od rohů (obr. 4.47e, f). Nasměrování os hořáků tečně k myšlené středové kružnici o průměru $d_i \approx (0,1 \text{ až } 0,25)a$ má být provedeno co nejpřesněji. U ohnišť velkých výkonů je uspořádání s rohovými či tangenciálními hořáky pro svůj čtvercový či osmiúhelníkový příčný průřez nevýhodné pro malý tvarový faktor f_0 . Rovněž z regulačního hlediska jsou tangenciální hořáky nevhodné, neboť při odstavení některého z nich se vytvoří nesymetrické proudové a teplotové pole, viz obr. 4.10A, a tím možnost zastruskování.

U práškových ohnišť se stropními hořáky (obr. 4.47h, k) lze dosáhnout vysokého součinitele využití objemu $\bar{\varphi}_0$ a dobré stabilizace spalování, protože horké spaliny po spalování stoupají ke stropu a pomáhají zapalovat palivo. Hodí se proto pro paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny. Výkony hořáků mohou být relativně vysoké, neboť je menší nebezpečí nárazu plamene a uhel-

ného prášku na stěny. Uspořádání se stropními hořáky vyžaduje dlouhé práškovody. U ohnišť se stropními hořáky jsou nejvyšší tepelné toky q_{st} v horních partiích výparníku, což zhoršuje proudění směsi vody a páry ve varnicích.



Obr. 4.48. Přiklonění plamene ke stěně u rohových hořáků



Obr. 4.49. Vliv tvaru ohniště a umístění hořáků na proudění v ohništi

Hořáky umístěné ve dně (obr. 4.47l, m) nelze u práškových ohnišť použít vzhledem k nebezpečí ucpání škvárou a pro neřešitelný odvod škváry či strusky. Používají se jen u ohnišť na kapalná a plynná paliva a jsou oblíbeny pro dobré vyplnění ohniště plamenem, minimální nebezpečí nárazu i dlouhého plamene na stěny ohniště a pro krátké vzduchovody i potrubí pro přívod paliva. Hodí se pro kotle menších výkonů. U velkých kotlů na tato paliva se musí použít cirkulace spalin do dna a pak je pro hořáky málo místa.

Aerodynamika a využití prostoru ohniště $\bar{\varphi}_0$ závisí také na výškovém umístění hořáků, výstupních rychlostech primární směsi i sekundárního vzduchu a na tvaru ohniště, jak je vidět z obr. 4.49. Z porovnání alternativ a), b) c), (všechny s čelními hořáky) je vidět, jak jednostranné, popř. oboustranné se-

škrcení v horní části ohniště příznivě ovlivní proudnice i vyplnění objemu. Z porovnání alternativy a), e) a f) plyne přímý vliv protiběžného uspořádání hořáků. Aerodynamika věžového kotle g), popř. kotle T s oboustranným odvodem spalin h) i kotle se stropními hořáky i) je relativně příznivá. Víry, jejichž rozměr je řádově stejný jako šířka či hloubka ohniště, jsou při proudění nežádoucí, neboť zvětšují rozdíl mezi proudnicemi, tj. drahami hoření zrn. Naopak víry s rozměrem o řád menším (0,1a, resp. 0,1b) jsou vítané, neboť podporují mísení, prodlužují spalovací dráhu zrn stejně u všech proudnic i vyplnění ohniště plamenem. Hloubku pronikání proudu paliva z hořáku, resp. délku plamene lze ovlivnit volbou roztečí os hořáků ve vodorovné i svislé rovině a nakloněním hořáků i hubic 2° vzduchu od vodorovné roviny směrem dolů či nahoru. Podle záměru může sklon proudu určité části 2° vzduchu mít popřípadě jiný úhel než primární směs, aby např. došlo k střetnutí proudů pod určitým úhlem. Navrhování tvaru ohniště, umístění hořáků, volba jejich velikosti a rozdělení i nasměrování 2° spalovacího vzduchu se může u velkých ohnišť provádět zodpovědně jen na základě modelových zkoušek aerodynamiky řady variant.¹

4.1.5.2 Velikost a tvar ohniště z hlediska požadovaného přenosu tepla

Vychlazení práškového ohniště se volí takové, aby se nastavil žádaný režim přeměny popelovin a jejich odvod buď v tuhé fázi jako škvára, nebo v kapalné fázi jako struska, a to bez nadměrného zastruskování ohniště i dodatkových výhřevných ploch při dosažení rovnoměrného teplotového pole i průběhu tepelných toků do stěn a přehříváků bez nadměrných maxim hrozících poškozením výhřevných ploch. Je určeno především dříve uvedenou rovnicí (4.30), tj. požadavkem, aby teplota na konci ohniště byla nižší než teplota měknutí popela t_{mk} ,

$$t_{ok} = t_{mk} - (50 \text{ až } 70) \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.79)$$

a dále rovnicemi (4.3), (4.10), (4.14), (4.15), (4.17), (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.36), (4.37) a (4.38) vyjadřujícími poměrné předané teplo μ_o , velikost účinné výhřevné plochy, tvarový faktor f_o , ekvivalentní průměr d_e a zatěžovací faktor z_o a vztahy mezi nimi.

Podle (4.19) lze střední měrné objemové zatížení s zřetelem na přenos tepla q_v vyjádřit jako

$$\bar{q}_v^* = \bar{q}_{st} \frac{f_o}{\mu_o} \frac{1}{1 + \frac{Q_v}{Q_{pv}} + \frac{Q_r}{Q_{pv}} - \frac{Q_f}{Q_{pv}}} \quad (\text{kW m}^{-3}), \quad (4.80)$$

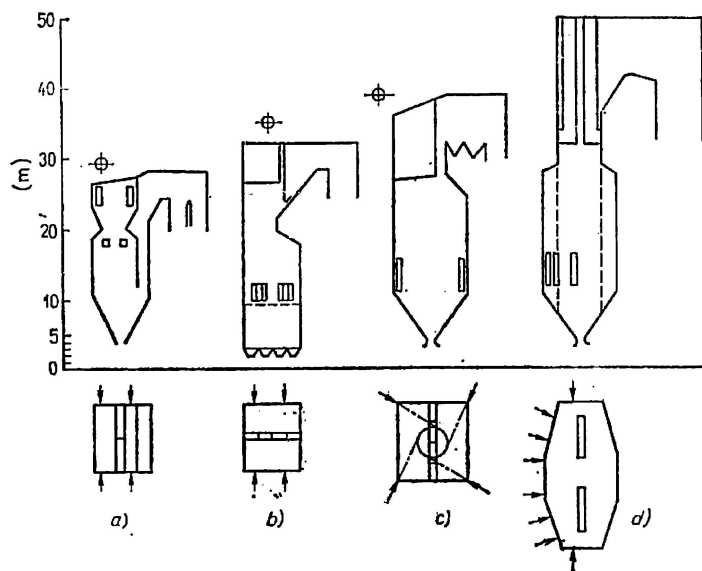
4.1.5.3 Granulační ohniště

Podmínkou bezporuchového provozu granulačních ohnišť je udržet teplotu plamene v takových mezích, které stačí k stabilnímu zapalování a dostatečně rychlému hoření, avšak nevyvolají ve větší míře překročení teploty tečení popelovin, které by způsobilo třeba jen místní vytváření tekuté strusky a zastruskování ohniště. Obvykle v jádře plamene granulačních ohnišť nebývají teploty vyšší než 1 100 až 1 500 °C podle druhu paliva, zatímco vychlazení ohniště bývá takové, že z popelovin vzniká tuhá škvára (a nikoli tekutá struska), která padá ke dnu ohniště tvarovanému jako výsypka. Odtud se škvára trvale odvádí mechanicky nebo hydraulicky, když dříve prošla vodním uzávěrem, který zajistí její chlazení a spolu s drtičem její granulaci a současně utěsní ohniště proti vnikání falešného vzduchu. Jak je uvedeno v kap. 4.1.2 odstavec j), zachytí se ve škváře v granulačním ohništi asi 15 až 25 % popelovin přivedených v uhlí. Do výsypky padají často velké shluky škváry, které se nalepují na stěny a vlivem tíhy, chvění stěn, popř. tepelných pnutí nebo i umělým zásahem (parní, vodní ofukovače) se odlupují a ulamují. Jemná zrna popílku (v množství kolem 80 % veškeré popeloviny přivedené v uhlí) jsou stržena spalinami a odcházejí z ohniště do dodatkových ploch a přes odlučovače do komína.

Požadované teploty v granulačním ohništi se dosahuje jednak volbou paliva (bývá vhodné i palivo s nízkou výhřevností a velkým obsahem vody), volbou nižší teploty spalovacího vzduchu (300 až 350 °C), vychlazením stěn ohniště nejčastěji výhřevnou plochou výparníku a u vysokých pracovních tlaků páry též nástěnným přehřívákem, popř. u nadkritického tlaku též zčásti výhřevnou plochou ohříváku vody. Uvedené prostředky bývají trvale předem dány a nelze je dodatečně nebo i během provozu měnit. Naproti tomu regulací přívodu recirkulovaných spalin (odebíraných obvykle před ohřívákem vzduchu) do ohniště je možno teplotu v ohništi naladit v požadovaných mezích podle změny vlastností paliva nebo výkonu kotle.

Granulační ohniště má obvykle tvar svislého hranolu čtvercového, obdélníkového či osmiúhelníkového průřezu s výsypkou k odvodu škváry ve spodní části. Výsypka je tvořena vyhnutím dvou protilehlých stěn ohniště a je tedy chlazená výhřevnou plochou (nejčastěji výparníku, popř. u nadkritických tlaků, poslední částí ohříváku vody). Pod šterbinovými otvory výsypky je umístěno odškvarovací zařízení s vodním uzávěrem. Odvod spalin může být proveden jako svislé pokračování ohniště (u tzv. věžového kotle) nebo jednostranně do boku, obvykle po celém šířkovém rozměru (dvoutahové provedení m). Dvoustranný boční obvod umožní získat zhruba poloviční rychlosti

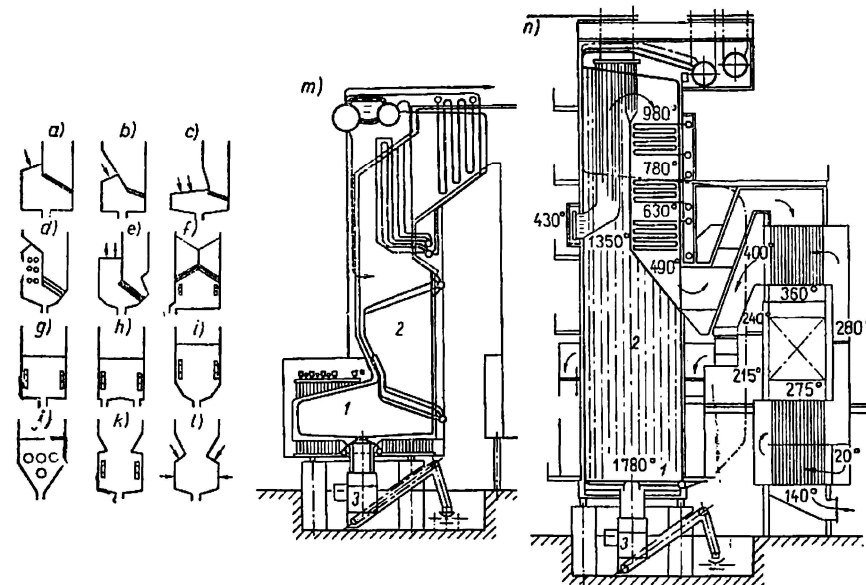
v dodatkových plochách, a tím jejich menší ošlehání a otěr (tzv. provedení T), avšak řešení kotle je komplikovanější. Uvedené způsoby odvodu spalin se hodí pro umístění spalin v dolní části stěn ohniště. Při použití stropních hořáků v dolní části stěn ohniště. Při použití stropních hořáků je možno umístit výstup spalin jen jednostranně, a to po šířce ohniště (kotel L nebo trojtaahový či více-tahový). Hořáky mohou být u granulárního ohniště umístěny kterýmkoliv způsobem podle obr. 4.47, ale nesmějí být ve dně ohniště, protože by do nich vnikala škvára a padající úlomky by je poškodily.



Obr. 4.54. Některá granulární ohniště elektrárenských kotlů postavených v ČSSR po r. 1953
a — 125 t h⁻¹ (ZVÚ Hradec Králové 1953 v ETI I), *b* — 230 t h⁻¹ (VŽKG Ostrava 1957 v EOP, EMĚ I), *c* — 350 t h⁻¹ (I. BZKG 1964 v ENO III, EMĚ II), *d* — 630 t h⁻¹ (VŽKG 1966 v ELE)

Granulární ohniště jsou vhodná pro spalování jak kvalitních paliv, tak i paliv méněhodnotných, s vysokým obsahem vody, popř. popela. Jejich předností je snazší udržování minimálních výkoností i bez stabilizačních hořáků, než u ohnišť výtavných. Vystačí se s jednodušší přípravou uhelného prášku (obvykle mlecí okruhy s přímým loukáním), protože tato ohniště jsou méně citlivá na jemnost mletí a vysušení paliva. Zanášení dodatkových výhřevných ploch je u granulárních ohnišť nižší než u výtavných a cyklónových

pro hrubší mletí a pro nižší spalovací teploty, protože zde nedochází v takové míře k sublimaci některých složek popelovin. Rovněž regulace spalovacího procesu granulárního ohniště je méně náročná než u výtavných, cyklónových a fluidních ohnišť. Nedostatkem je velký úlet popílku a tudíž větší nároky na odlučovací zařízení a rozptylovací funkci komína. Tvorba SO₂ a SO₃ je v granulárních ohništích intenzivnější, to znamená, že rosný bod spalin je v průměru asi o 20 °C vyšší než u ohnišť výtavných (nepříznivý vliv na komínovou ztrátu).



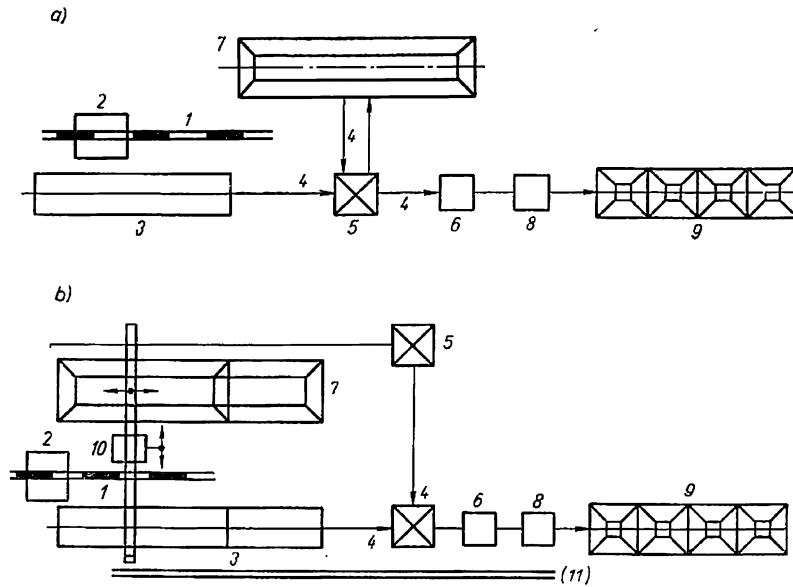
Obr. 4.55. Tvar výtavných ohnišť dvouprostorových (*a* až *f*) a jednoprostorových (*g* až *l*) a řezy provedených ohnišť; *m* — dvouprostorové na výkonost $M_{PJ} = 140 \text{ t h}^{-1}$, *n* — jednoprostorové na výkonost $M_{PJ} = 200 \text{ t h}^{-1}$

Pro své nejnižší měrné objemové zatížení \dot{q}_v ze všech typů ohnišť mají granulární kotle největší poměrný vstřívaný prostor. Na obr. 4.54 jsou v poměrovém měřítku některá vtipká granulární ohniště elektrárenských parních kotlů postavených v ČSSR od r. 1953 na hnědé uhlí (viz též obr. 1.14 až 1.23).

1.5.4 Výtavná ohniště

Podmínkou výtavného procesu je udržet v ohništi při všech výkonech kotle v rozsahu M_{PJ} až $M_{P \text{ min}}$ vyšší teplotu, než je teplota tečení pope-

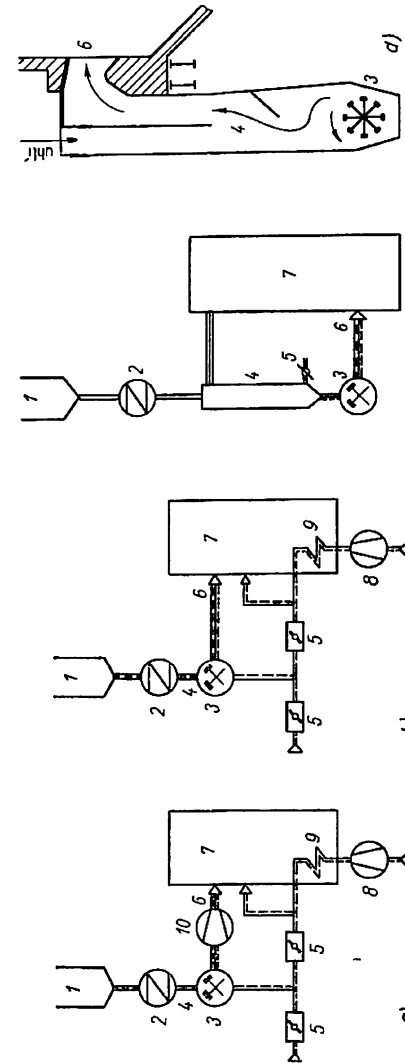
palivovém hospodářství (schéma na obr. 4.109), kde se uhlí na skládce a zásobnících homogenizuje, provádí se mísení, popř. drcení. Příprava se dokončuje v mlecích okruzích. Předpisy o skládkách viz ČSN 44 1315.



Obr. 4.109. Schéma vnějšího palivového hospodářství kotelny na uhlí
a — přijímání uhlí z vagonů se sklopnými bočnicemi do podzemních zásobníků, *b* — vyskladňování uhlí jeřábem; 1 — železniční vlečka, 2 — váha, 3 — podzemní zásobníky, 4 — pásová doprava, 5 — přecládací uzel, 6 — drtič, 7 — skládka, 8 — další úprava paliva, 9 — zásobníky v kotelně, 10 — jeřáb, 11 — lodní přístav

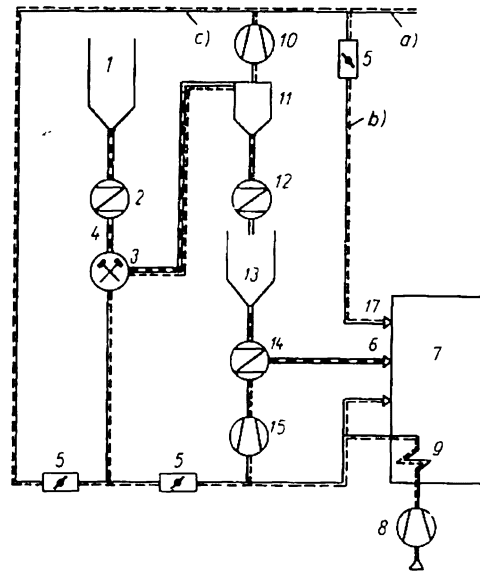
4.3.1 MLECÍ OKRUHY. PŘÍPRAVA UHELNÉHO PRÁŠKU

Nejjednoduššími typy mlecích okruhů jsou *okruhy (mlýnice) s přímým foukáním prášku do ohniště*, jejichž schémata pro možné varianty provedení jsou s uvedením jednotlivých částí na obr. 4.110a až d. Je-li sušicím médiem ohřátý vzduch a obsah vody v palivu je nízký, bývá mlecí okruh *přetlakový*, obr. 4.110b. Dopravu vzduchu tu obstarává buď jen ventilátor sekundárního vzduchu, nebo zvláštní ventilátor předřazený před sušku. U přetlakového systému bývá obtížné jeho utěsnění. Nejjednodušším provedením přetlakového mlecího okruhu s při-



Obr. 4.110. Schéma mlecího okruhu s přímým foukáním
a — podtlakový, *b* — přetlakový, *c* — se samonasávacím mlýnem, *d* — mlýnicové (Krämmerovo) ohniště, 1 — zásobník surového uhlí, 2 — podavač surového uhlí, 3 — mlýn, 4 — suška, 5 — regulační klapka, 6 — hořák, 7 — ohniště, 8 — ohniště, 9 — ohniště, 10 — brydový (mlýnský) ventilátor, 11 — brydový (mlýnský) ventilátor

mým foukáním je mlýnice Krámerova ohniště, obr. 4.110d. Sušící a třídící šachta je zde spojena v jeden celek oddělený v horní části přepážkou. Stěna sušky bývá totožná se stěnou ohniště a hořák je vytvořen jako obdélníkový otvor ve stěně ohniště (amburasura). U mlecího okruhu *podtlakového*, obr. 4.110a, obstarává dopravu sušícího vzduchu a prášku mlýnský ventilátor umístěný v práškovodu za třídícím. Tento ventilátor však podléhá erozi. Uhlí s obsahem vody nad 35 % se suší obvykle spaliny odebíranými z prostoru na konci ohniště. V tomto případě se používá mlecích okruhů *se samonasávacími ventilátorovými mlýny*, obr. 4.110c. Výhodou mlecích okruhů s přímým foukáním



Obr. 4.111. Schéma mlecího okruhu s práškovým zásobníkem (s mezibunkrováním)
a — otevřený, *b* — s brýdovými hořáky, *c* — uzavřený. Význam označení 1 až 10 jako u obr. 4.110, 11 — odlučovák prášku, 12 — turniketový uzávěr, 13 — práškový zásobník, 14 — práškový podavač a směšovací kus, 15 — ventilátor primárního vzduchu, 16 — druhý stupeň odlučovaku, 17 — brýdové hořáky

je jednoduchost, menší obestavěný prostor a nižší investiční náklady. Nevýhodou jsou větší měrná práce při částečných zatíženích a horší dynamické vlastnosti z hlediska regulace výkonu kotle. Krom toho jemnost prášku a stupeň vysušení kolísají s výkonem. Nevýhodou je i chudší primární směs při poklesu

výkonu kotle. Přesto pro svoji jednoduchost okruhy s přímým foukáním převládají.

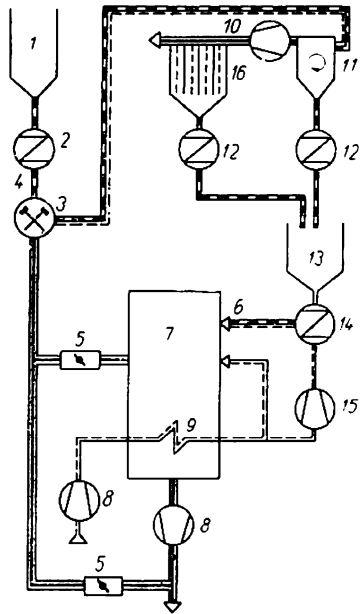
U mlecích okruhů s práškovým zásobníkem (s mezibunkrováním), obr. 4.111, postupuje uhlí stejně jako u mlecích okruhů s přímým foukáním ze zásobníku surového uhlí přes sušičku do mlýna a třídíče, avšak prášek o požadované jemnosti se nevede do ohniště, ale odlučuje se od nosného média v odlučovačích prášku a uskládňuje na potřebnou dobu v práškových zásobnících. Do hořáků se uhelný prášek dopravuje primárním spalovacím vzduchem, se kterým se směšuje v mísicím kusu (ejektoru) v množství odměřovaném práškovým podavačem. K sušení se zde používá vzduchu i spalin, popř. jejich směsi.

Podle toho, co se provede s brýdami, tj. sušícím médiem na výstupu z odlučovačů, může být tento typ mlecího okruhu buď *otevřený a*), nebo *uzavřený b*), *c*). U otevřeného uspořádání, které se hodí pro mokrá paliva a sušení spaliny, obsahují brýdy velké množství vodní páry, a proto se odvádějí mlýnským ventilátorem do komína. Přitom je třeba zajistit co největší odloučení uhelného prášku (nad 98 %), aby nevznikla velká ztráta mechanickým nedopalem v důsledku ztráty určitého množství uhelného prášku (dvoustupňové odlučování). Uzavřený okruh může být řešen buď tak, že se brýdy zavádějí do zvláštních (brýdových) hořáků *b*), nebo se brýdy používá jako *primárního nosného média k dopravě uhelného prášku do ohniště c*). Někdy se brýdy zčásti používají k temperování sušícího média pro okruh a zbytek se zavádí do brýdových hořáků *b*) + *c*).

Výhody mlecích okruhů s práškovými zásobníky plynou z toho, že mlecí okruh a kotel jsou z hlediska regulace dva na sobě nezávislé okruhy, takže je zde možnost přetržitého provozu mlecího okruhu a tedy větší provozní jistota. Zatímco u mlecího okruhu s přímým foukáním znamená výpadek nebo porucha i výpadek nebo snížení výkonu celého kotle, má mlecí okruh s práškovým zásobníkem zásobu prášku v rezervě. Přitom o regulovatelnosti výkonu kotle rozhodují jen dynamické vlastnosti práškových podavačů a práškovodů, jejichž časové konstanty a dopravní zpoždění jsou malé proti hodnotám u mlecích okruhů s přímým foukáním, u nichž jsou dynamické vlastnosti dány kapacitami podavače surového uhlí, sušky, mlýna, třídíče a práškovodu jako celku. Další předností je menší měrná mlecí práce, jelikož lze mlýny provozovat bez ohledu na výkon kotle při jejich optimálním výkonu. Nedostatky mlecích okruhů s práškovým zásobníkem spočívají v poněkud větší komplikovanosti zařízení, větším obestavěném prostoru a vyšších investičních nákladech.

Okruh zvaný *ústřední (centrální) mlýnice*, obr. 4.112, se v poslední době u nás nepoužívá, avšak znovu se objevil v projektech některých zahraničních

centrál. Hlavním rysem je centrální příprava prášku pro všechny kotle v jednom společném okruhu, který je umístěn mimo kotelnu. Do práškových zásobníků jednotlivých kotlů se dopravuje prášek pneumaticky vzduchem o tlaku několika (1 až 2) MPa ve vysoké koncentraci (až 20 kg m^{-3}). Při této koncentraci se prášek snadno odděluje od nosného média. Výhody této mlecí soustavy jsou zhruba stejné jako u soustavy s práškovým zásobníkem. Navíc se odstraní prašnost a hluk z kotelný. Nevýhodou je další komplikovanost zařízení, zvětšení obestavěného prostoru a zvýšení investičních nákladů.

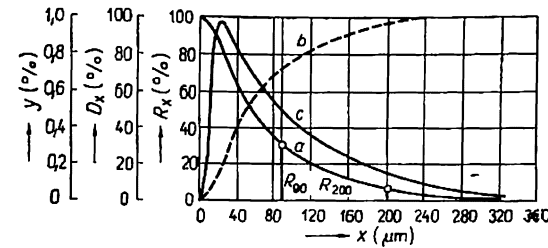


Obr. 4.112. Centrální mlecí okruh (ústřední mlýnice).
Legenda stejná jako u obr. 4.111

4.3.2 VLASTNOSTI UHELNÉHO PRÁŠKU

A. Jemnost mletí uhlénoho prášku se definuje rozseovou funkcí $R_x = \frac{\Delta m_x \text{ až } x_{\max}}{\Sigma m_0 \text{ až } x_{\max}} = f(x)$, obr. 4.113a, popř. křivkou četnosti (distribuční funkce) y_x (obr. 4.113c) nebo velikostí měrného povrchu S ($\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$). Někdy se zavádí, tzv. charakteristický rozměr zrn, který pro daný účel může při stejném počtu zrn skutečný soubor zrn nahradit [4.58], [4.59]. Rozseová křivka se zjišťuje

experimentálně přímo metodou (např. síťovými zkouškami, Andreasonovým přístrojem, plavicími či fluidizačními zkouškami, mikroskopem apod. [4.60], [4.59], [4.61]), nebo nepřímo integrací z křivky četnosti. Normalizovaná kontrolní síta ČSN 15 3120 a jejich porovnání se zahraničními jsou uvedena



Obr. 4.113. Rozseová křivka a) a křivka četnosti zrn c)

v tab. 4.12. V zahraničí se jemnost mletí charakterizuje křivkou (funkcí) propadu $D_x = \frac{\Delta m_0 \text{ až } x}{\Sigma m_0 \text{ až } x_{\max}} = f(x)$ (kg kg^{-1}), obr. 4.113b. Mezi rozseovou a propadovou funkcí platí vztah

$$R_x + D_x = 1 \quad (\text{kg kg}^{-1}), \quad \text{resp.} \quad R_x + D_x = 100 \quad (\%). \quad (4.170)$$

Pro distribuční funkci platí

$$y_x = -\frac{dR_x}{dx} = -R'_x \quad (-), \quad \text{resp.} \quad y_x = -100R'_x \quad (\%). \quad (4.171)$$

Technická praxe se často spokojuje s tím, že nezjišťuje celý průběh R_x , ale jen hodnoty pro $x = 90$ a $200 \mu\text{m}$, tj. R_{90} a R_{200} . Tyto dvě hodnoty obvykle postačují, neboť při statistickém rozdělení zrn v celém souboru lze již určit přibližně celý průběh $R_x = f(x)$. Nejpoužívanější empirický vzorec (Rosinův – Rammlerův) aproximující rozseový zákon má tvar

$$R_x = e^{-bx^n} = e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n} \quad (\text{kg kg}^{-1}), \quad (4.172)$$

v němž $x_0 = b^{-\frac{1}{n}}$ je charakteristické zrno, pro něž platí $R_{x_0} = \frac{1}{e} \approx 0,368 \text{ kg kg}^{-1} \approx 36,8 \%$ a n je tzv. exponent stejnorodosti

$$n = \frac{\lg \ln R_x}{\lg(-bx)} = \frac{\lg \ln R_x}{\lg \frac{x}{x_0} + \lg(-1)} = -\frac{\lg b}{\lg x_0}. \quad (4.173)$$

Podle Reimbertových experimentů byl odvozen poloempirický vztah

$$\sigma_p \doteq \rho_s g h \frac{1}{1 + h f m_p \frac{O}{S}} \quad (\text{Pa}). \quad (4.193)$$

Koeficient pohyblivosti je dán poměrem hlavních napětí

$$m_p = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1 + 2ff_s - 2f_s \sqrt{1 + f_s^2}. \quad (4.194)$$

Boční tlak σ_b na stěnu se sklonem β od vodorovné roviny se určí z koeficientu bočního tlaku m_b , pro který platí

$$m_b = \frac{\sigma_b}{\sigma_p} = \frac{m_p + \text{tg } \beta}{1 + m_p \text{tg}^2 \beta}. \quad (4.195)$$

Informativní hodnoty τ_0 a f a f_s pro uhlí jsou v tab. 4.18.

Tab. 4.18. Hodnoty soudržnosti uhlí τ_0 a součinitelů tření f a f_s

Palivo	Zrno (mm)	τ_0 (Pa)	f	f_s materiál stěny		
				ocel	čedič hrubý	čedič broušený
Hnědé uhlí	3—30	2 500	0,76	0,46	0,58	0,36
Černé uhlí	1—10	2 300	0,82	0,52	0,61	0,30
Polokoks	1—10	2 200	0,96	0,55	0,63	0,26

4.3.3 MLECÍ TEORIE

Zákonitostmi mletí se jako první zabýval *Rittinger*, který zjistil, že energie na zvětšení celkového povrchu ΔS (m^2) mletého materiálu je úměrná materiálové konstantě k_R a zmenšení $Z = x_1/x_2$ charakteristického rozměru zrn x_1 na x_2

$$L_t = k_R \Delta S = k_R (S_2 - S_1) \quad (\text{J}). \quad (4.196)$$

Vyjádří-li se povrch mletého materiálu charakteristickým rozměrem zrn a tvarovým faktorem k , tj. $S = kx^2$, je celková teoretická mlecí práce (beze ztrát) dána výrazem

$$L_t = k_R (k_2 x_2^2 - k_1 x_1^2) = k_R k x_2^2 (1 - Z^2) = k_R k x_1^2 (Z^{-2} - 1). \quad (4.197)$$

Teoretická měrná mlecí práce, jakožto energie vztažená na jednotku hmotnosti

$m = \rho V = ax^3$, se dá podle Rittingera vyjádřit

$$\varepsilon_t = \frac{L_t}{m} = k_R \frac{k}{a} \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) = K_R x_1^{-1} (Z - 1) = K_R x_2^{-1} (1 - Z^{-1}) \quad (\text{J kg}^{-1}). \quad (4.198)$$

V praxi je zmenšení zrn řádově $Z \geq 10^2$, takže přibližně platí

$$\varepsilon_t \doteq K_R x_2^{-1} \quad \text{nebo} \quad \varepsilon_t \doteq K_R x_1^{-1} Z \quad (\text{J kg}^{-1}). \quad (4.199a, b)$$

Z uvedeného plyne, že měrná mlecí práce roste přímo úměrně se zmenšením Z a nepřímo úměrně s velikostí původního x_1 i konečného zrna x_2 . *Rittingerův zákon* je zvláštní případ obecného Charlesova mlecího zákona

$$\frac{d\varepsilon_t}{dx} = -Kx^j, \quad (4.200)$$

pro $K = K_R$ a $j = -2$.

Teoretická měrná mlecí práce ε_t , daná fyzikálními vlastnostmi mletého materiálu a nezávislá na způsobu dezintegrace, činí jen mizivě malý podíl skutečné měrné mlecí práce ε spotřebované k mletí téhož materiálu v současných typech mlýnů. Tento podíl vyjadřuje tzv. *mlecí účinnost mlýna* pro dané palivo

$$\eta_m = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon}. \quad (4.201)$$

Její hodnota bývá $\eta_m = 0,1$ až 15 %. Rozdíl energií $\varepsilon - \varepsilon_t$ je zmařená energie, která se mění třením a nárazem v teplo, ventilační ztráty, hluk a ztráty hnacího zařízení mlýna.

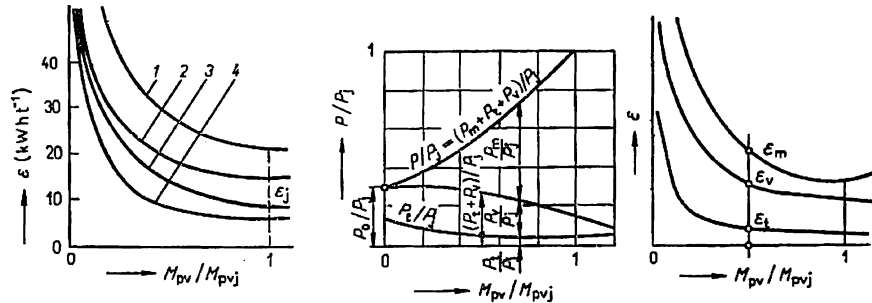
Měrná mlecí práce ε všech druhů mlýnů roste se zmenšující se poměrnou výkonností mlýna M_{pv}/M_{pvj} a pro $M_{pv} = 0$ nabývá hodnoty $\varepsilon = \infty$, obr. 4.118, protože

$$\varepsilon = \frac{L}{m_{pv}} = \frac{P}{M_{pv}} = \frac{P_0}{0} = \infty \quad (\text{kWh t}^{-1}). \quad (4.202)$$

Minimální hodnoty nabývá $\varepsilon = \varepsilon_j$ pro jmenovitou výkonnost mlýna M_{pvj} . Celkový příkon každého mlýna P se spotřebuje kromě na mletí P_m ještě na ventilační ztráty rotujících částí mlýna P_v (jsou velké zejména u rychloběžných mlýnů, kdežto u pomaloběžných jsou zanedbatelné) a na ztráty v ložiskách a převodech P_z , takže celkovou měrnou mlecí práci lze rozdělit na složky mlecí práce na mletí ε_m , ventilaci ε_v a tření ε_z ,

$$\varepsilon = \frac{P_m}{M_{pv}} + \frac{P_v}{M_{pv}} + \frac{P_z}{M_{pv}} = \varepsilon_m + \varepsilon_v + \varepsilon_z \quad (\text{kWh t}^{-1}). \quad (4.203)$$

Při chodu naprázdno je příkon mlýna $P_0 = P_{v0} + P_{z0}$. Jak je patrné u obr. 4.118, mají nejvyšší hodnotu ϵ_j a nejnevhodnější průběh $\epsilon = f(M_{pv})$ mlýny trubnaté, protože mají velký příkon chodu naprázdno. Nejnepříznivější průběh závislosti měrné mlecí práce na poměrné výkonnosti mlýna a minimální hodnotu ϵ_j mají mlýny kroužkové a kladkové.



Obr. 4.118. Závislost měrné práce a příkonu na poměrné výkonnosti mlýna
1 — trubnatý, 2 — tlukadlový, 3 — ventilátorový, 4 — kroužkový, kladkový; složky měrné mlecí práce: ϵ_m — na mletí, ϵ_v — na ventilaci, ϵ_t — na ztráty třením

Rittingerova desintegrační konstanta K_R závisí pouze na materiálových vlastnostech mletého materiálu, protože vyjadřuje jen teoretickou (fyzikální) dezintegrační energii na jednotku měrného povrchu. Při navrhování mlýnů se proto dezintegrační schopnost vyjadřuje tzv. *melitelností* (viz kapitola 2.5.2.4). Melitelnost paliva závisí nejen na materiálových vlastnostech, ale i na způsobu dezintegrace, tj. na typu mlýna a jeho provedení.

4.3.4 TYPY, PARAMETRY, POŽADAVKY A VOLBA POČTU MLÝNŮ

Rozdíl mezi *drtičem* a *mlýnem* na uhlí spočívá především ve stupni zmenšení zrn $Z = x_1/x_0$, které činí u drtičů $Z \approx 5$ až 20, kdežto u mlýnů $Z \geq 10^2$. Podle pracovního principu se dělí mlýny do 3 skupin:

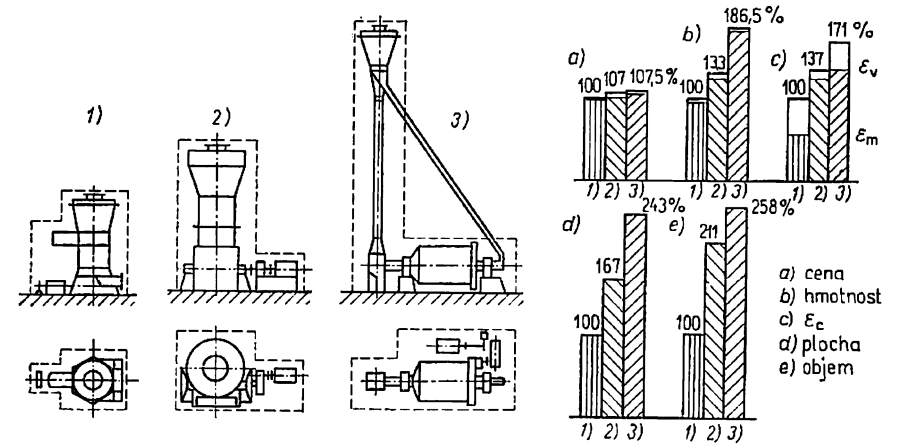
1. Mlýny využívající *statického tlaku* (kroužkové, kladkové) vyozeného silou tíže mlecích elementů a pružinami.
2. Mlýny pracující na principu *úderu*
 - a) vyozeného volným pádem (šikmým vrhem) mlecího elementu na vrstvu uhlí (*trubnatý mlýn*),

b) při srážce rotujících mlecích elementů se zrny uhlí nesenými vzdušinou v mlecí skříni (*tlukadlový a ventilátorový mlýn*),

c) při nárazu uhelných zrn nesených proudem vzdušiny na kovovou desku (*mlýny pneumatické*).

3. Mlýny pracující na principu *rozpojování vnitřními silami* rozpínajících se par v ohřátém palivu proudícím z komory o vysokém tlaku do komory o nízkém tlaku.

Mlýny jsou charakterizovány konstrukčními a provozními parametry. *Konstrukční parametry* jsou charakteristické rozměry a otáčky (pro trubnatý mlýn vnitřní průměr D a délka L bubny, tedy $D/L/n$; pro tlukadlový mlýn průměr rotoru D a délka $L - D/L/n$; pro ventilátorový mlýn průměr D a šířka kola $L - D/L/n$; pro mlýn kladkový a kroužkový průměr d a počet kladek i či koulí a střední průměr talíře $D - id/D/n$) a příkon motoru P .



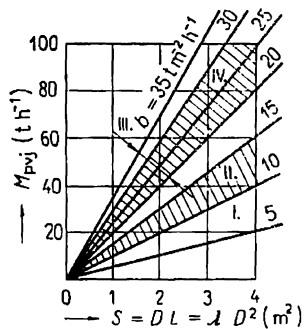
Obr. 4.119. Porovnání ukazatelů základních typů mlýnů
(výkonnost mlýna 42 t h^{-1} , černé uhlí $W_0 = 12\%$, $A = 20\%$ až 30% , zrna 0 až 30 mm, $R_{90} = 17\%$, $\mu_H = 80$)

Provozní parametry jsou: výkonnost mlýna M_{pv} (t h^{-1}), tj. hmotový průtok uhlí, které je schopen mlýn umlít na předepsanou jemnost při daných vstupních a výstupních parametrech uhlí W_0, W_1, R_5, R_{90} a způsobu sušení. Výkonnost udaná na výstupu, jako tok vysušeného prášku je

$$M_{pv1} = M_{pv} \frac{1 - W_0}{1 - W_1} \quad (\text{t h}^{-1}). \quad (4.204)$$

Výkonnost může být: jmenovitá M_{pvj} – odpovídá jmenovitým parametrům, částečná M_{pv} , maximální – na hranici zamletí, popř. minimální. Odvozené parametry: měrná mléčící práce ε (kJ h^{-1}), poměrná mléčící výkonnost $b = \frac{M_{pvj}}{DL}$ ($\text{t m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

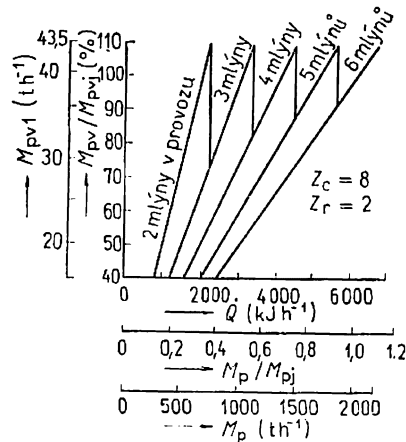
Porovnání vlastností jednotlivých typů mlýnů a velikost charakteristických rozměrů ukazují obr. 4.119 a obr. 4.120.



Obr. 4.120. Velikost charakteristických rozměrů D a L různých typů mlýnů v závislosti na jmenovité výkonnosti
I – tlukadlový, II – tlukadlový samoventilační, III – ventilátorový, IV – trubnatý

Aby počet mlýnů pro jeden kotel byl přiměřený, musí s růstem jednotkové výkonnosti vzrůstat přibližně úměrně i jednotková výkonnost mlýna. Velký počet mlýnů znamená větší měrné investiční náklady, větší obestavěný prostor, větší měrnou mléčící práci, obtížnější údržbu a nepřehlednost provozu, větší přísávání falešného vzduchu a větší tepelné ztráty. I regulace je komplikovanější. Obsluha menšího počtu mlýnů i údržba si vyžádají méně času. Ani spolehlivost provozu velký počet mlýnů nezlepšuje. Volba většího počtu menších mlýnů je výhodnější jen se zřetelem na rozběhové poměry, protože menší mlýn má menší rozběhové proudové zatížení elektromotoru.

Při navrhování počtu mlýnů pro určitý kotel o výkonnosti menší než 350 t h^{-1} se obvykle uvažuje pro zvýšení bezpečnosti provozu rezerva 1 mlýna



Obr. 4.121. Příklad zapojení mlýnů při částečných výkonostech kotle (8 mléčících okruhů s přímým foukáním, $M_{pvj} = 2000 \text{ t h}^{-1}$)

a u kotlů o výkonnosti nad 350 t h^{-1} rezerva 2 mlýnů. Žádná rezerva se nevolí u kotlů pro špičkové a pološpičkové použití. Doporučený počet mlýnů pro jmenovitou výkonnost kotle podle druhu mlýna je v tab. 4.19. Jmenovitá výkonnost a typ mlýnů se volí stejný pro všechny mlýny z důvodu zaměnitelnosti jednotlivých dílů. Je-li celková spotřeba paliva kotle při jmenovité výkonnosti M_{pvc} (t h^{-1}), celkový počet mlýnů z a počet rezervních mlýnů z_r , určí se u mléčících okruhů s přímým foukáním a u okruhů s práškovým zásobníkem jmenovitá výkonnost mlýna ze vztahu

$$M_{pvj} = \frac{M_{pvc}}{z - z_r} \quad (\text{t h}^{-1}). \quad (4.205)$$

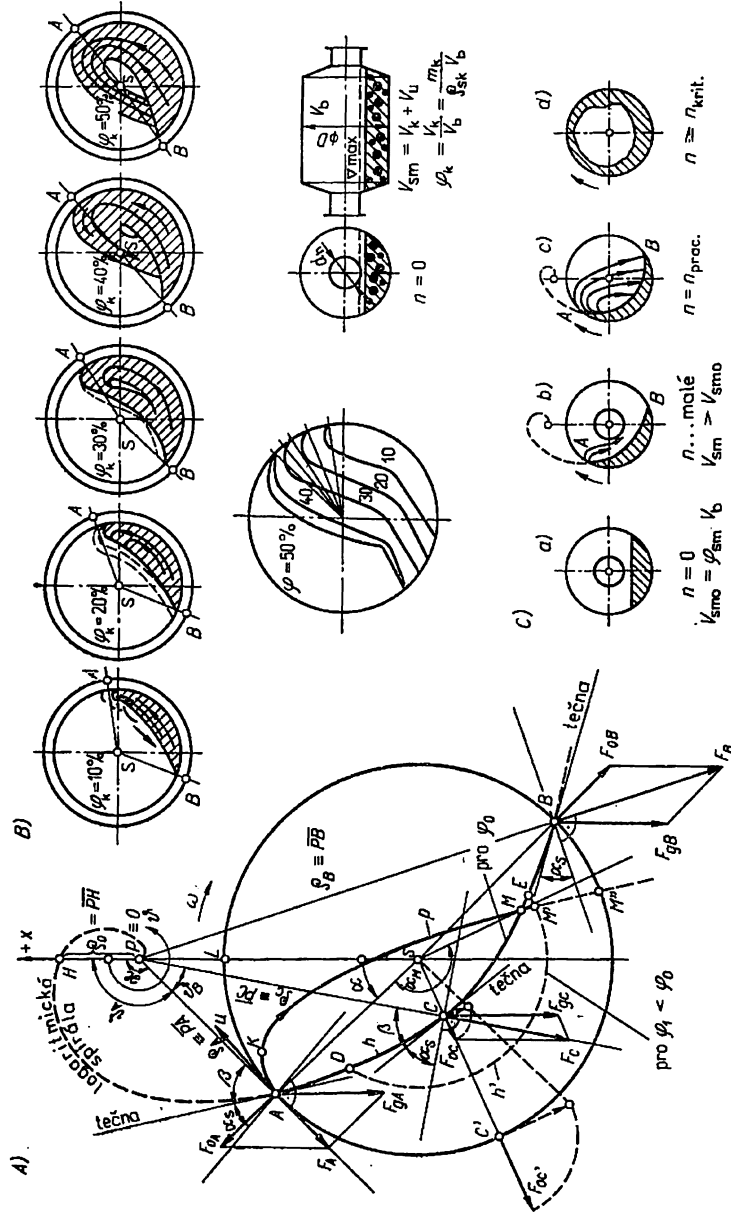
Tab. 4.19. Doporučený počet mlýnů pro jmenovitou výkonnost kotle M_{pj}

Mlýn	M_{pj} (t h^{-1})				
	< 75	75 až 240	240 až 330	330 až 640	> 640
trubnatý	2	2	2 až 3	3 až 4	4 až 6
tlukadlový	2	2 až 4	4 až 6	6 až 8	8 až 12
ventilátorový	2	2 až 4	4 až 6	6 až 8	8 až 12
kladkový	2	2 až 4	4 až 6	4 až 8	6 až 10
kroužkový	2	2 až 4	4 až 6	6 až 8	8 až 12

Částečná výkonnost kotle s přímo foukajícími mlýny se nastavuje jednak snížením výkonnosti zapnutých mlýnů, jednak jejich vypínáním. Příklad pilového diagramu zapojení mlýnů pro libovolnou výkonnost kotle se 6 mlýny je na obr. 4.121 ($z_r = 2$).

4.3.5 TRUBNATÝ MLÝN

K mletí uhlí v trubnatém mlýně dochází jednak dynamickým účinkem rázu kovových mléčících elementů (nejčastěji ocelových koulí) opakovaně vynášených otáčejícím se bubnem a padajících po parabolické dráze na vrstvu paliva, jednak tlakem a otěrem při vrtivém valení mléčících elementů na povrchu i uvnitř vrstvy. Tvar hladiny směsi uhlí a mléčících elementů i dráha jejich pádu závisí hlavně na otáčkách n (min^{-1}), poměrném zaplnění bubnu koulemi a uhlím φ_s , na sypném úhlu α_s a na součiniteli tření f při pohybu mléčících elementů



Obr. 4.122. Vliv otáček (C) na tvar hladiny uhlí a mlecích elementů v trubnatém mlýně
 A — tvar hladiny (h) v bubnu při otáčkách $n < n_{krit}$, sypaném úhlu α_s , zaplnění φ_0 a $\varphi_1 (< \varphi_0)$; P — trajektorie padajících koulí,
 α — úhel odpadnutí, F_0, F_c — síla odstředivá a tíže, ϱ — průvodič

po vnitřním povrchu bubnu, tj. na tvaru pancířování (pancíř hladký, stupňový, vlnitý). Vliv otáček je zřejmý z obr. 4.122C. Pro

$$n \geq n_{krit} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}} \doteq \frac{30}{\sqrt{R}} \doteq \frac{42,3}{\sqrt{D}} \quad (\text{min}^{-1}) \quad (4.206)$$

má příčný řez hladiny tvar soustředné kružnice s bubnem a mlýn prakticky přestává mlít. Pro otáčky v rozmezí $0 < n < n_{krit}$ má příčný řez hladinou náplně tvar části logaritmické spirály (obr. 4.122A, B) s rovnici v polárních souřadnicích

$$\varrho = \varrho_0 e^{k\vartheta} \quad (\text{m}) \quad (4.207)$$

a s polem pohybu bodů hladiny P, totožným s počátkem souřadnicové soustavy 0. Hladina protíná každý průvodič (daný úhlem ϑ a vycházející z P) pod úhlem $\beta = 90 - \alpha_s$; (β je úhel mezi tečnou a průvodičem). Vyplývá to z toho, že směr průvodiče v určitém bodě hladiny je totožný se směrem výslednice síly tíže F_g a odstředivé F_0 , přičemž kapalina by vytvořila hladinu kolmou k výslednici sil, kdežto hladina sytké hmoty, jakou je směs uhlí a koulí, bude mít od kolmice sklon větší o sypaný úhel α_s . (Součinitel $k = \cotg \beta$ a $\vartheta = \frac{\pi}{180} \vartheta$.)
 Při částečném zaplnění $\varphi_1 < \varphi_0$, bude hladina podle obr. 4.122A tvořena logaritmickou spirálou jen na úsecích \widehat{AD} a \widehat{EB} a na úseku \widehat{DE} bude mít přibližně tvar soustředné kružnice s bubnem.

Úhel odpadávání mlecích elementů α s povrchu bubnu (bod A), a tím i otáčky bubnu vyplynou z podmínky, aby mlecí výkon padajících koulí

$$P_m = \Sigma(m_k g h v) = f(\alpha) = f_1(n) \quad (\text{W}) \quad (4.208)$$

byl největší. Výšku pádu koulí h (m) je možno určit z průsečíku parabolické dráhy pádu s logaritmickou spirálou hladiny a počet pádů ν (s^{-1}) z doby vynášení τ_v a padání τ_p (s). Protože sypaný úhel α_s i poměrné zaplnění směsi φ_s a koulí φ_k

$$\varphi_s = \frac{V_{sm}}{V_b} = \frac{4m_{sm}}{\pi \varrho_{s, sm} D^2 L}, \quad \varphi_k = \frac{V_k}{V_b} = \frac{4 \Sigma m_k}{\pi \varrho_{sk} D^2 L} \quad (4.209)$$

se během provozu mlýna mění, měly by se měnit i pracovní otáčky. Ty je možno určit z podmínky rovnováhy sil působících na mlecí element v bodě odpadnutí A,

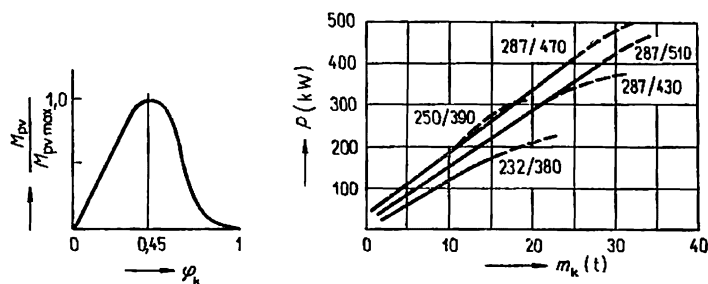
$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R} \cos \alpha} = n_{krit} \sqrt{\cos \alpha} \quad (\text{min}^{-1}). \quad (4.210)$$

V praxi se volí pro běžné případy $\alpha_{opt} = 54^\circ 45'$, takže

$$n \doteq 0,76n_{krit} \doteq \frac{32,15}{\sqrt{D}} \quad (\text{min}^{-1}). \quad (4.211)$$

Aby byly koule vynášeny až do bodu A , musí platit pro součinitel tření f vztah plynoucí z rovnováhy sil tíže, odstředivé a třecí,

$$f = \frac{g \sin \alpha}{R\omega^2 - g \cos \alpha}. \quad (4.212)$$



Obr. 4.123. Vliv zaplnění bubny kulovou náplní na poměrnou výkonnost a příkon mlýna

Při hladkém pancířování, kdy součinitel $f \doteq 0,5$ až $0,6$ (podle druhu uhlí), je možno (při požadavku dodržet α_{opt}) provozovat mlýn do maximální hodnoty zaplnění $\varphi_k \doteq 20\%$. Protože však s rostoucí náplní koulí mlecí výkon roste podle obr. 4.123, je účelné pracovat s co nejvyšším φ_k a pak je nutno použít buď pancířování stupňového, u něhož se f zvětší při sklonu stupně pancíře β podle obr. 4.124a na

$$f_{st} = \frac{f \cos \beta + \sin \beta}{\cos \beta + f \sin \beta} = \text{tg}(\varphi + \beta), \quad (4.213)$$

nebo vlnitého pancíře podle obr. 4.124b, kde se f mění. Úhel se volí $\beta = 6$ až 15° podle druhu uhlí, $f = 0,44$ až $0,52 = \text{argtg} \varphi$.

Z rovnice (4.208) je vidět, že mlecí výkon závisí na hmotnosti kulové náplně m_k , resp. stupni zaplnění φ_k . Pro rozmezí $\varphi_k = 10$ až 45% platí

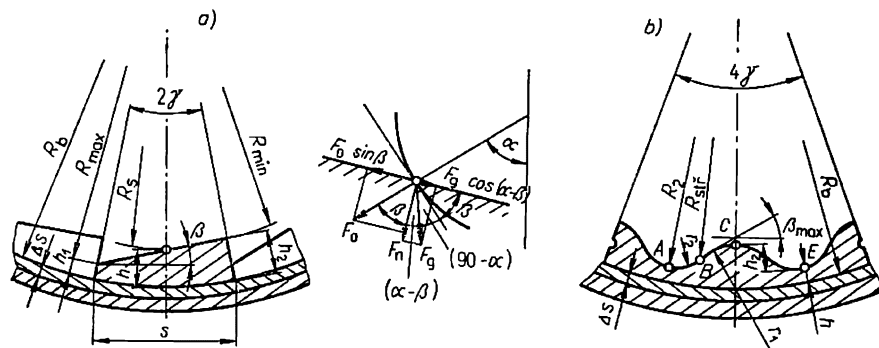
$$M_{pv} = K_1 \varphi_k^a = K_2 m_k^a \quad (\text{kg s}^{-1}), \quad (4.214)$$

kde $a = 0,6$ až $0,85$ (vyšší a pro vyšší φ_k). Při $\varphi_k > 0,5$ začíná mlecí výkon klesat (obr. 4.123a), protože s růstem počtu koulí roste počet jejich vzájemných srážek, čímž se maří značná energie. U trubnatých mlýnů na uhlí je horní mez

zaplnění $\varphi_k \doteq \varphi_{sm}$ dána průměrem vstupního a výstupního hrdla d_h , do nichž nemají mlecí koule vnikat,

$$\varphi_{kmax} = 0,5 - 0,625 \frac{d_h}{D}. \quad (4.215)$$

Poměr náplně uhlí a koulí bývá pro antracit $m_u/m_k = 0,15$, pro černé uhlí $m_u/m_k = 0,2$ a pro hnědé uhlí $m_u/m_k = 0,25$, takže při poměru sypných hmotností $\rho_{su}/\rho_{sk} \doteq 0,8/4,9 \doteq 0,166$ je rozmezí $V_u/V_k \doteq 0,9$ až $1,5$.



Obr. 4.124. Stupňový (a) a vlnitý (b) pancíř

Axiální pohyb uhlí od vstupního hrdla k výstupnímu je vyvoláván nosným médiem, na jehož rychlosti závisí průměrná doba pobytu zrn uhlí ve mlýně, a tím i výkonost M_{pv} , resp. jemnost mletí. Pro obvyklou jemnost mletí se volí rychlost ventilačního média vztažená na volný průřez mlýna $w_v = 0,7$ až $1,5 \text{ m s}^{-1}$ a platí vztah

$$\frac{M_{pv1}}{M_{pv2}} \doteq \left(\frac{w_{v1}}{w_{v2}} \right)^\gamma = \left(\frac{V_{v1}}{V_{v2}} \right)^\gamma. \quad (4.216)$$

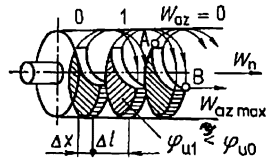
Exponent bývá v mezích $\gamma = 0,5$ až $0,6$. Osový pohyb zrn paliva mlýnem není plynulý. Větší zrna paliva totiž vykonávají podobně jako koule cyklus vynášení a padání, což se děje zhruba v jednom určitém průřezu bubny. Přitom po dobu τ_v , kdy jsou zrna ve vrstvě zatížena koulí, nemůže na něj nápor vzdušiny působit a nedochází k pohybu. Prášek je sice odnášen stále ze všech míst bubny, avšak s rostoucí vzdáleností od vstupního hrdla intenzita únosu narůstá a zaplnění průřezu uhlím ve vrstvě postupně klesá, obr. 4.125. Nejvýhodnější objemový průtok vzdušiny mlýnem se určí podle [4.58]

$$V_n = 2000 V_b \mu_{VTI}^{0,5} \left(\ln \frac{1}{R_{90}} \right)^{-0,5} \quad (\text{m}^3 \text{h}^{-1}), \quad (4.217)$$

nebo podle [4.64]

$$V_n = [1000 \sqrt[3]{\mu_{VTI}} + 3600 R_{90} \sqrt{\mu_{VTI}} \sqrt[3]{\varphi_k}] V_b \quad (\text{m}^3 \text{h}^{-1}) \quad (4.218)$$

z objemu trubnatého mlýna $V_b = \frac{\pi}{4} D^2 L$ (m^3) melitelnosti μ_{VTI} , jemnosti mletí vyjádřené zbytkem na síť R_{90} (kg kg^{-1}) a zaplnění mlýnu koulemi φ_k . Rychlost ve vstupním a výstupním hrdle mlýna se volí v rozmezí $w_h = 15$ až 20 m s^{-1} . Z toho vychází vnitřní průměr hrdla, který bývá ve vztahu k průměru bubnu $d_h/D = 0,25$ až $0,4$.



Obr. 4.125. Axiální pohyb zrn uhlí v trubnatém mlýně

Přibližně lze určit hlavní rozměry trubnatého mlýna D a L (m) pro danou jmenovitou výkonnost M_{pvj} (t h^{-1}) z měrného průřezového zatížení $b = 25$ až $30 \text{ t h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ podle vztahu

$$S = DL = \lambda D^2 = \frac{M_{pvj}}{b} \quad (\text{m}^2), \quad (4.219)$$

přičemž nejvýhodnější poměr $\lambda = L/D = 1,5$.

Podle úsekové normy ÚN 07 4111 a ÚN 07 4111 je doporučeno používat jen určité typy trubnatých mlýnů, viz tab. 4.20.

Podle [4.64] je možno určit výkon, resp. hlavní rozměry trubnatého mlýna z poloempirického vztahu

$$M_{pvj} = 0,1 \mu_{VTI} k_w k_\rho k_o k_{R5}^{-1} k_{R90}^{-1} \varphi_k^{0,6} D^{2,4} L n^{0,8} \quad (\text{t h}^{-1}). \quad (4.220)$$

Součinitel melitelnosti μ_{VTI} , hustota ρ byly určeny ze suchého vzorku uhlí o analytickém obsahu vody W_n (kg kg^{-1}), a proto se skutečný stav musí respektovat součiniteli

$$k_w = \sqrt{\frac{K^2 - W_{stf}^2}{K^2 - W_n^2}} \quad \text{a} \quad k_\rho = \frac{1 - W_{stf}}{1 - W_0} \quad (4.221)$$

$$W_{stf} = \frac{W_m + 3W_1}{4}, \quad K = 4 + 1,06W_0 \quad (\text{kg kg}^{-1}) \quad (4.222)$$

$$K = 4 + 1,06W_0 \quad (\text{kg kg}^{-1}) \quad (4.224)$$

Tab. 4.20. Doporučené trubnaté mlýny (ÚN 07 4111 a ÚN 07 4121)

Typ D/L (cm/cm)	210/300	240/350	270/400	300/450	400/800*
$\lambda = L/D$ (—)	1,43	1,44	1,408	1,5	2,0
d_h/D (—)	0,28	0,32	0,38	0,4	0,4
d_h (mm)	600	800	1 000	1 200	1 600
n (min^{-1})	21	20	18,5	17,5	16
P (kW)	110	220	400	580	1 800
m_k (t)	8,5	17	30	42,5	103
φ_k (%)	20	25	29	29,5	21,3
M_{pvj} (t h^{-1})	5	10	20	30	60
V_n ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	12 500	25 000	45 000	60 000	130 000
ε_1 (kWh t^{-1})	20	20	18	17,5	18
m_m (t)	36	52	82	120	

a

$$W_m = \frac{W_0(1 - W_1) - 0,6(W_0 - W_1)}{1 - W_1 - 0,6(W_0 - W_1)} \quad (\text{kg kg}^{-1}). \quad (4.225)$$

Součinitel k_p respektuje druh pancéřování a bývá pro vlnitý pancíř $k_p = 1$, pro stupňový $k_p = 0,9$ a pro hladký $k_p = 0,8$. Součinitele respektující počáteční zrnění surového uhlí zbytkem na síť 5 mm (R_5 (kg kg^{-1})) a jemnost mletí při zbytku na síť $90 \mu\text{m}$ (R_{90} (kg kg^{-1})) se určí ze vzorců

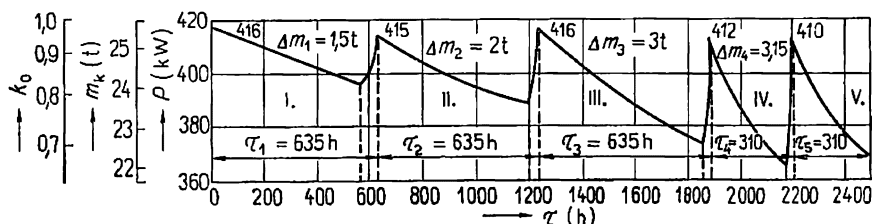
$$k_{R5} = 0,7R_5^{0,12} \quad \text{a} \quad k_{R90} = \sqrt{\ln \frac{1}{R_{90}}}. \quad (4.226)$$

Vliv opotřebení kulové náplně a pancéřování se vyjadřuje součinitelem, který se volí $k_o = 1$ pro počáteční stav. Po 600 h provozu klesá na $k_o = 0,9$ a je potřeba náplň doplnit novými koulemi tak, aby φ_k mělo původní hodnotu, což se pozná na proudovém zatížení motoru mlýna, (pokles příkonu po 600 h činí asi 6 %). Další časový průběh opotřebení, doplňování a změny hodnoty k_o je zřejmý z obr. 4.126. Zhruba po 2 500 provozních h je třeba mlýn odstavit a zbytky kulové náplně vyčistit. Mlecí efekt souvisí i s rozměrem mlecích elementů. Nejlépe melou koule $d_k = 50$ až 90 mm , koule s $d_k \leq 20 \text{ mm}$ prakticky již nemelou a zbytečně jen roste opotřebení, které bývá $0,2$ až $0,45 \text{ kg t}^{-1}$. Výměna pancířů se provádí obvykle za $(6 \text{ až } 24) \cdot 10^3$ provozních h. Poznává se to, když při stejné nové náplni koulí poklesne výkon M_{pv} i příkon P mlýna asi o 18 až 20 %.

Příkon motoru trubnatého mlýna lze podle [4.64] určit

$$P_M = \chi \frac{1}{\eta_M \eta_{pd}} (0,105 D^3 L n \rho_{sv} \varphi_k^{0,9} k_1 k_2 k_p k_o + 0,1 D L n) \quad (\text{kW}). \quad (4.228)$$

Součinitel zajištění motoru bývá $\chi = 1,1$, účinnost motoru $\eta_M = 0,92$ až $0,95$ a převodu $\eta_{pd} = 0,95$ až $0,98$; koeficienty respektující druh paliva k_1 a druh pancéřování k_2 lze odečíst z tab. 4.21 a obr. 4.127. Měrná mlecí práce při jmenovitém výkonu bývá $\varepsilon_{mj} = 16$ až 22 kWh t^{-1} a s klesajícím poměrným výkonem prudce stoupá (viz obr. 4.118), protože energie na přemísťování kouli tvoří převážnou část spotřeby. Proto se trubnatý mlýn nehodí pro okruhy s přímým foukáním; pro tuto skutečnost mluví i velká časová konstanta (bývá $T_m = 15$ až 20 min). Porovnání ostatních ukazatelů u jiných typů mlýnů je zřejmé z obr. 4.119.



Obr. 4.126. Časový průběh úbytku kulové náplně mlýna, příkonu a hodnoty k_0 (čtyřikrát doplňováno)

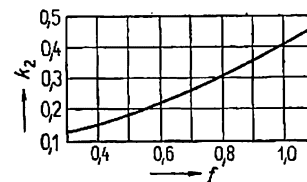
Tab. 4.21. Součinitel k_1 pro některé druhy paliv

Palivo	f	k_1
antracit	0,50	0,95 až 0,97
černé uhlí plynaté	0,63	1,15 až 1,25
černé uhlí chudé	0,51 až 0,53	1,01 až 1,03
hnědé uhlí	0,57	1,05 až 1,10
živičná břidlice	0,60	1,14 až 1,24

Trubnatý mlýn (obr. 4.128) se běžně staví pro výkonnosti $M_{pvj} = 5$ až 80 t h^{-1} , avšak byl již postaven i na 120 t h^{-1} . Průměr bubny bývá $D = 2$ až 4 m , délka $L = 3$ až 8 m . Tlaková ztráta ventilačního média bývá $\Delta p_m = 600$ až 2500 Pa , hlučnost 80 až 125 fónů . Hodí se pro paliva s menším obsahem vody,

protože teplota ve vstupním hrdle nesmí přestoupit 375 °C (kvůli spolehlivosti ložiska), a s nízkým prchavým podílem (kvůli bezpečnosti provozu).

Mlecí buben je svařen z ocelového plechu běžné jakosti, tloušťky 15 až 25 mm . Poměr délky L k vnitřnímu průměru D se volí obvykle $\lambda = 1,5$ (výjimečně 2). Větší poměr L/D se používá jen při mletí cementu, kde se požaduje



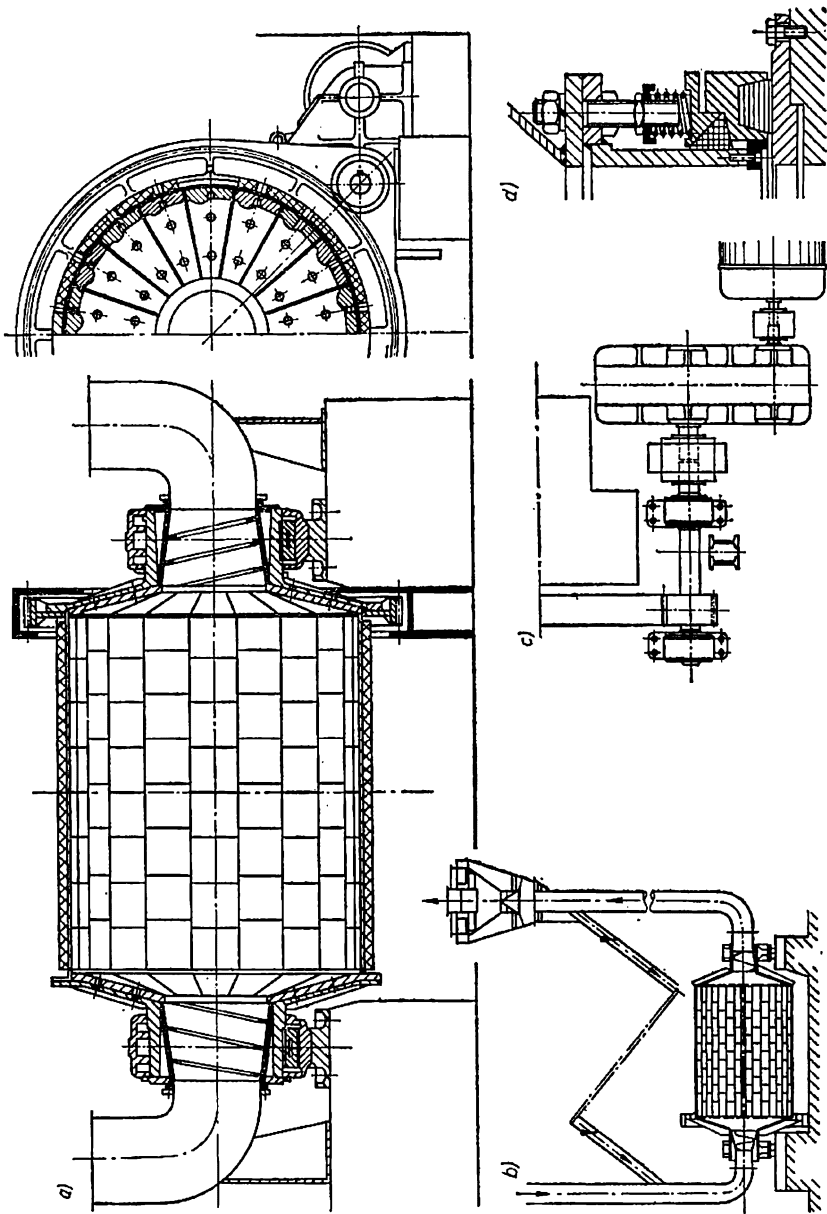
Obr. 4.127. Závislost součinitele k_2 na součiniteli tření

velká jemnost mletí. Pak se mlýn obvykle dělí příčnými přepážkami s centrálním otvorem $D_o = (0,5 \text{ až } 0,6) D$ na 2 až 3 mlecí komory. Pancéřování je z ocelolitiny o složení: $C = 1$ až $1,5 \%$, $S < 0,05 \%$, $Si = 0,3$ až $0,35 \%$, $P < 0,15 \%$ a $Mn = 10$ až 15% ; někdy se na úkor Mn zvýší C na 3% a leguje se $1,5 \%$ Cr , $1,5 \%$ Ni a stopami Mo . Koule se obvykle kovají z manganové oceli o složení $C = 0,3$ až $0,9 \%$, $S < 0,05 \%$, $Si = 0,35 \%$, $P = 0,05 \%$ a $Mn = 12$ až 14% .

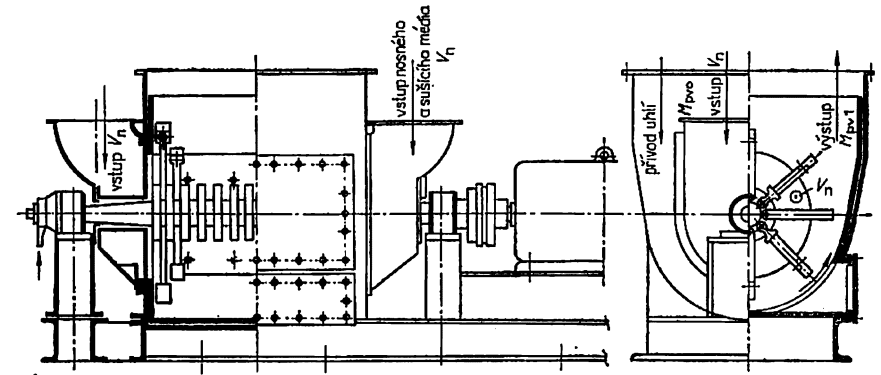
4.3.6 TLUKADLOVÝ MLÝN

Tlukadlový mlýn využívá k mletí hlavně dynamického účinku sil vzniklých při srážce uhlíčných zrn s tlukadly rotoru mlýna, popř. při nárazu zrn na pancíř mlecí skříně. Skládá se ze svařované vypancéřované mlecí komory s tečným nebo sečným vstupem paliva a osovým nebo tečným vstupem nosného a sušícího média, dále z rotoru tvořeného vodorovným hřídelem, ke kterému jsou na nábojích s oky připojena čepy v několika řadách výkyvná ramena s tlukadly, a z rámu s ložisky a frémou pro hnací motor, obr. 4.129. Tlukadla jsou silné obdélníkové desky nebo hranoly z uhlíkové nebo manganové ocelolitiny, spojené s rameny pevně nebo výkyvně. Po opotřebení se vyměňují nebo navažují.

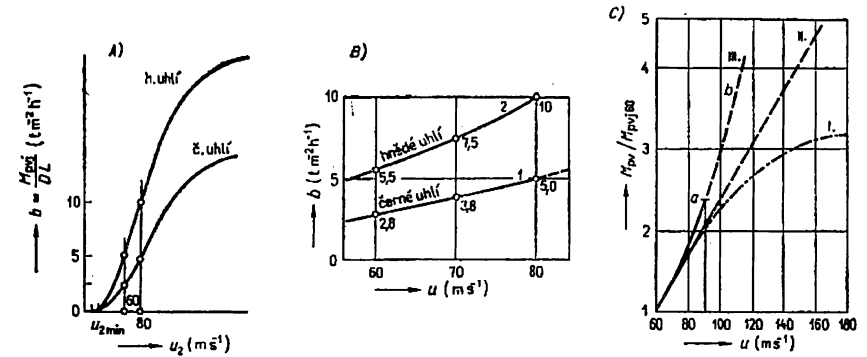
Výkonnost tlukadlového mlýna závisí přímo úměrně na rychlosti úderu a tedy i na obvodové rychlosti tlukadel, jak je patrné z grafu na obr. 4.130. Při obvodových rychlostech $u < u_{min}$ tlukadlový mlýn téměř nemele. Hodnota u_{min} vyplývá z porovnání vnějších dezintegračních sil vyvolaných nárazem zrna na pancíř či tlukadlo se silami vnitřními, potřebnými k rozrušení zrna.



Obr. 4.128. Trubnatý mlýn
a — podélný a příčný řez, *b* — sestava s třídičem, *c* — náhon, *d* — ucpávka otočného čepu



Obr. 4.129. Tlukadlový mlýn s osovým vstupem vzduchu a tečným vstupem paliva



Obr. 4.130. Vliv obvodové rychlosti tlukadel na výkonost mlýna

Dynamická síla vyvolaná nárazem při stlačení x je podle Herzova vztahu

$$F = -m \frac{d^2x}{dt^2} = kx^{3/2} \quad (\text{N}), \quad (4.229)$$

přičemž konstanta k pro kouli o hmotnosti $m = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$ z materiálu o modulu pružnosti E a Poissonově čísle uhlí μ je

$$k = \frac{4}{3} \frac{E}{1 - \mu^2} \sqrt{R}. \quad (4.230)$$

Dosadí-li se do (4.229) za $\frac{d^2x}{d\tau^2} = \frac{dw}{d\tau} = \frac{w}{dx} dw$, vychází po integraci

$$\frac{1}{2}(w^2 - w_0^2) = -\frac{2}{5}k \frac{x^{5/2}}{m}. \quad (4.231)$$

Maximální stlačení zrna při nárazu počáteční rychlostí w_0 na mlecí desku bude při $w = 0$

$$x_{\max} = \left(\frac{5}{4} \frac{m}{k}\right)^{2/5} w_0^{4/5} \quad (\text{m}). \quad (4.232)$$

Maximální síla působící na zrno při srážce s tlukadlem vyplyne po dosažení za $x = x_{\max}$ a za $m = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$

$$F_{\max} = \frac{4}{3} \frac{E}{1 - \mu^2} \sqrt{R x_{\max}^{0,6}} = \left(1,25 \pi \rho \frac{1 - \mu^2}{E}\right)^{0,4} R w_0 \quad (\text{N}). \quad (4.233)$$

Pokud má dojít k dezintegraci, musí tato síla vyvolat napětí, při kterém dojde k rozpadu zrna v nebezpečném průřezu πR^2 ,

$$\sigma_p \leq \frac{F_{\max}}{\pi R^2} \quad (\text{N m}^{-2}). \quad (4.234)$$

Odtud již plyne vztah pro minimální dezintegrační relativní rychlost srážky zrna s tlukadlem

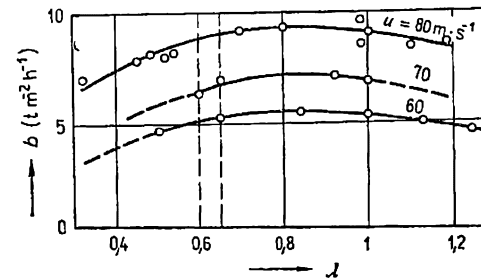
$$u_{\min} = w_0 \doteq 0,01 \rho^{0,5} E^{-0,33} \sigma_p^{1,2} \quad (\text{m s}^{-1}). \quad (4.235)$$

Pro uhlí s hodnotami $\sigma_p = 20$ až 30 MPa, $E = (1 \text{ až } 3) \cdot 10^3$ MPa, $\mu = 0,25$ a $\rho = 1,4$ až $1,6$ kg dm⁻³ vychází $u_{\min} = 18$ až 25 m s⁻¹.

Při nadměrně vysokých obvodových rychlostech tlukadel klesá doba pobytu zrn v mlecí zóně, čímž se zmenšuje pravděpodobný počet srážek a přes vysokou hodnotu síly nárazu F se zmenšuje dezintegrační účinek. Závislost výkonu mlýna na obvodové rychlosti má tvar reologické křivky (obr. 4.130a). Na počátku je vzrůst výkonu pomalý, postupně stoupá a od určité hodnoty obvodové rychlosti se přírůstek výkonu opět zmenšuje. Se vzrůstající obvodovou rychlostí roste pronikavě ventilační ztráta mlýna Δp_v , a tím i měrná mlecí práce ε . Proto se obvodová rychlost tlukadel dnes volí obvykle v mezích od 60 do 80 m s⁻¹, takže pro otáčky mlýna platí

$$n \doteq \frac{1\,200}{D} \text{ až } \frac{1\,600}{D} \quad (\text{min}^{-1}). \quad (4.236)$$

Z dalších konstrukčních faktorů ovlivňujících výkon mlýna jsou nejdůležitější poměr $\lambda = L/D$, počet tlukadel, jejich uspořádání, mezera mezi tlukadly a skříní, způsob vstupu uhlí a ventilačního média do mlýna a množství ventilačního média. Vliv λ je patrný z obr. 4.131. Nejvhodnější poměr délky rotoru ku průměru je $\lambda = 0,6$ až $1,2$. Při šířce s a počtu tlukadel po šířce z_a se L při mezeře mezi tlukadly s_a rovná $L = z_a s + (z_a - 1) s_a$ (m).



Obr. 4.131. Vliv λ na poměrnou výkonnost tlukadlového mlýna

Jmenovitou výkonnost mlýna lze vyjádřit pomocí hlavních rozměrů

$$M_{pvj} = bDL = KD^2,65 Ln^{3,3} = K\lambda D^3,65 n^{3,3} \quad (\text{t h}^{-1}). \quad (4.237)$$

Podle [4.64] závisí součinitel

$$K = 0,3 \cdot 10^{-9} \mu_{vTi} k_w k_\rho k_o k_{R_s}^{-1} k_{R_{90}}^{-1} \sqrt{1,43 \frac{P_j}{P_o} - 1} \quad (4.238)$$

podobně jako u trubnatého mlýna na obsahu vody W_a [kg kg⁻¹] v analytickém vzorku pro určení μ_{vTi} a ρ , na obsahu vody v surovém uhlí W_o a v uhelném prášku W_1 ,

$$k_w = \frac{(4 + 1,06 W_{o \max})^2 - W_{stf}^2}{(4 + 1,06 W_o \max)^2 - W_{stf}^2}, \quad k_\rho = \frac{1 - W_{stf}}{1 - W_a}, \quad (4.239)$$

$$W_{stf} = \frac{W_o + 6W_1}{7} \quad (4.241)$$

na součiniteli respektujícím opotřebení $k_o = 1$ až $0,85$ (hodnota $k_o = 0,85$ odpovídá asi 1 500 až 2 500 provozních h), na součiniteli jemnosti mletí

$$k_{R_{90}} = \left(\ln \frac{1}{R_{90}}\right)^y. \quad (4.242)$$

(Exponent y se volí pro šachtový třídič $y = 1$ a pro odstředivý $y = 0,5$.) Poměr jmenovitého příkonu P_j je v rozmezí

$$P_j = (1 \text{ až } 1,4) P_0 \quad (\text{kW}), \quad (4.243)$$

přičemž

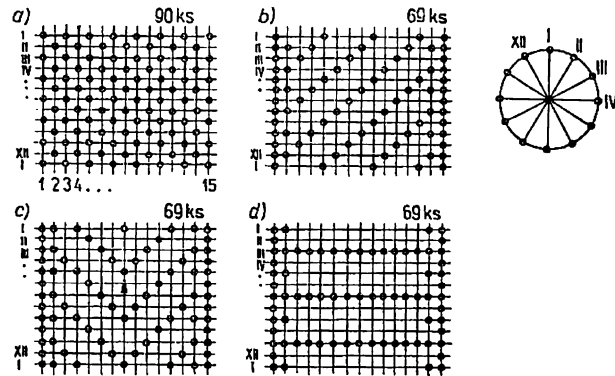
$$P_0 = 1,25 \cdot 10^{-6} D^{3,4} L n^{2,4} \left(0,52 \frac{z}{z_{\max}} + 0,48 \right) = P_{0v} + P_{0t} \quad (\text{kW}) \quad (4.244)$$

se skládá z ventilační složky P_{0v} , a třecího příkonu P_{0t} , a závisí na poměru skutečného z a maximálně možného počtu tlukadel z_{\max} .

Na průtoku ventilačního média závisí výkon tlukadlového mlýna podle vztahu

$$\frac{M_{pv}}{M_{pv1}} = \left(\frac{\dot{V}}{\dot{V}_1} \right)^\kappa \quad (4.245)$$

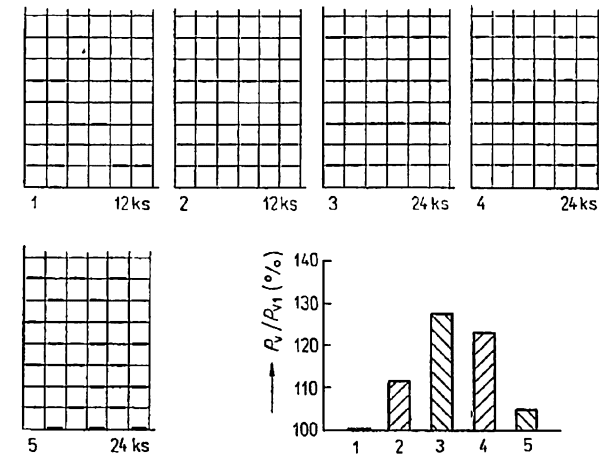
Hodnota exponentu κ závisí na typu použitého třidiče. Pro šachtový třidič $\kappa = 0,84$ a odstředivý $\kappa = 1,2$.



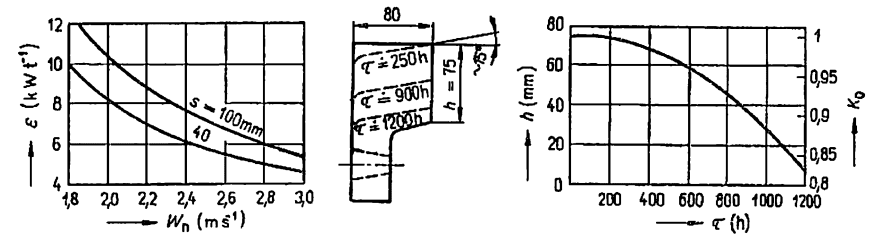
Obr. 4.132. Uspořádání tlukadel
a — vystřídání, b — šroubové (šikmé), c — šípové, d — podélné

Uspořádání tlukadel na rotoru, jejich počet a tvar mají vliv na výkon, příkon a ventilaci mlýna. Kromě toho ovšem silně ovlivňuje opotřebení tlukadel, a tím jejich životnost. Nejtypičtější způsoby uspořádání tlukadel na rozvinutém rotoru tlukadlového mlýna pro $z_{0\max} = 12$ a $z_L = 15$ jsou na obr. 4.132. Větší počet tlukadel dává větší ventilační účinek, což se ovšem projeví zvětšením příkonu chodu naprázdno, viz rovnice (4.244). Snížení ventilace mlýna způsobí prodloužení doby pobytu částice ve mlýně a třidiči, dojde k zjemnění prášku a snížení výkonu. Vliv uspořádání tlukadel na ventilační účinek a ventilační příkon je patrný z obr. 4.133.

Velikost radiální mezery mezi tlukadly a mlecí skříní má vliv jak na bezpečnost provozu, tak na mlecí charakteristiky. Se zmenšující se radiální mezerou vzrůstá jmenovitý výkon mlýna i měrná mlecí energie, ačkoliv se snižuje příkon motoru. Současně roste měrné opotřebení tlukadel, zejména při mletí na velkou jemnost, neboť velká mezera dovoluje intenzivní vynášení



Obr. 4.133. Vliv uspořádání tlukadel na ventilaci mlýna

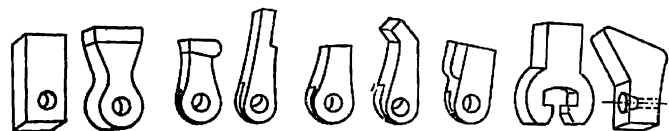


Obr. 4.134. Vliv radiální mezery s na výkonost a příkon mlýna, na měrnou mlecí práci a při opotřebení tlukadel na součinitel snížení výkonu k_0

poměrně větších částic do třidiče, čímž vzroste cirkulační číslo. Závislost měrné mlecí práce ε a poměrného výkonu k_0 mlýna pro různé mezery mezi tlukadly a mlecí komorou s je na obr. 4.134, kde je také vidět vliv vzrůstu mezery opotřebením tlukadel na součinitel snížení výkonu $k_0 = M_{pv}/M_{pv0}$. (M_{pv0} je výkon mlýna s novými tlukadly, tj. $s = s_{\min}$.)

Nosné médium se může přivádět do mlýna buď tangenciálně, nebo axiálně. Na výkonnost mlýna to sice nemá vliv, ale tangenciální vstup umožňuje lepší napojení sušky, snižuje měrnou mlecí práci (menší ventilační ztráta) a dává i poněkud jemnější prášek. Tangenciálním přívodem se snižuje celkové opotřebení tlukadel a zrovnoměrní jeho rozložení po délce motoru. Tím se prodlouží životnost tlukadel a doba provozu. Např. u mlýna s axiálním přívodem byla životnost tlukadel 1 500 až 2 000 provozních h a při tangenciálním přívodu 2 800 až 3 200 h. Měrná opotřebení přitom byla 161 g t^{-1} (axiální) a 70 g t^{-1} (tangenciální). Jediným nedostatkem mlýna s tečným vstupem vzdušiny je nestabilita pochodu mletí při prudkých a značnějších změnách množství vzdušiny či surového uhlí. Tlukadlové mlýny s tečným vstupem vzdušiny mají menší zásobu uhlí ve mlýně, a tím nižší časovou konstantu. Dojde však u nich snáze k zahlcení.

Tvar tlukadel bývá podle záměrů konstruktéra velice rozmanitý, jak ukazuje obr. 4.135. Vždy však mají být respektovány tyto zásady: zajistit co nejmenší opotřebení, rychlou a snadnou výměnu, nízkou cenu, dlouhou životnost a u samoventilačních mlýnů ještě potřebnou ventilační výkonnost \dot{V} ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) a tlak Δp_0 (Pa). Radiální mezera mezi tlukadly a pancířem a axiální na boku bývá 30 až 90 mm. Materiál tlukadel je buď litina litá do kokil, ocelolitina, nebo kovaná či válcovaná ocel. Životnost tlukadel bývá 1 000 až 6 000 provozních h, podle druhu materiálu a uhlí, popř. stupně zatížení.



Obr. 4.135. Typy tlukadel

Zvláštním druhem tlukadlových mlýnů je mlým samoventilační. Obstarává kromě mletí ještě funkci mlýnského ventilátoru a nasává sušící médium a dopravuje je s práškem do hořáků. Jeho tlukadla jsou za tím účelem upravena jako široké desky nesené 2 rameny.

Tlukadlový mlýn se hodí k mletí všech druhů paliv až do vlhkosti 35 %. Lze jej použít jak v okruzích s přímým foukáním, tak i v okruzích s práškovým zásobníkem, protože má časovou konstantu $T_m = 1,5$ až 2 min. Rovněž růst měrné mlecí práce při snižující se výkonnosti mlýna není tak strmý jako u trub-

natého mlýna. Měrná mlecí práce při jmenovitém výkonu $\epsilon_j = 6$ až 16 kW h t^{-1} , podle druhu paliva a jemnosti mletí. Tlukadlový mlýn se dá stavět běžně pro výkonnosti 0 až 80 t h^{-1} . Na cizí tělesa je tento mlýn relativně citlivý, přestože se dělají ramena tlukadel výkyvná. Obestavěný prostor tlukadlového mlýna je sice menší než u trubnatého (asi 75 %), avšak větší než u mlýna kroužkového a kladkového. Doporučené typy tlukadlových mlýnů do $M_{pvj} \leq 15 \text{ t h}^{-1}$ podle ÚN 07 4211 jsou uvedeny v tab. 4.22, pro $M_{pvj} > 15 \text{ t h}^{-1}$ podle [4.69] v tab. 4.23 a samoventilační v tab. 4.24.

Tab. 4.22. Doporučené typy tlukadlových mlýnů (výběr z ÚN 07 4211)

D/L (cm)	65/63	85/85	85/110	130/110	130/130	165/130	165/155	165/200
n (min^{-1})	1 460	1 460	1 460	970	970	730	730	730
P (KW)	25	45	55	90	105	135	160	210
M_{pvj} (t h^{-1})	0,6—1	2—2,5	2,5—3	4—5	5—6,2	6—8	7,5—10	10—15
ϵ_j (kWh t^{-1})	16,8	16,2	16,0	15,6	15,3	15,2	15,2	15,8
\dot{V}_a ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)*)	2 800	5 000	6 200	10 400	12 400	16 000	19 000	24 000
m_m (t)	4,2	7,0	8,0	12,0	13,5	19,0	21,0	25,0

*) při $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0,1 \text{ MPa}$

Tab. 4.23. Rozměry tlukadlových mlýnů výkonu $M_{pvj} > 15 \text{ t h}^{-1}$ ($u = 70 \text{ m s}^{-1}$)

D (mm)	L (mm)	n (min^{-1})	DL (m^2)	mD^2 (10^3 N m^2)	M_{pvj} (t h^{-1})	
					černé uhlí	hnědé uhlí
2 140	1 460	700 až 720	3,15	8,5	12	32
	1 860		4,0	10,6	15	42
	2 270		4,9	12,7	18	50
2 600	1 860	580 až 600	4,8	21,0	18	50
	2 270		5,9	25,1	22	62
	2 670		6,9	29,4	25	70
3 000	2 270	500 až 510	6,8	37,5	25	70
	2 675		8,0	43,9	30	80
	3 080		9,2	50,4	35	94

Tab. 4.24. Tlukadlové samoventilační mlýny ČKD Dukla
(axiální vstup sušícího a nosného média)

Označení	TA 9	TA 11	TB 14	TB 18	TB 22
D/L (cm)	105/87	105/109	165/87	165/109	165/131
n (min^{-1})	1 485	1 485	980	980	980
P (kW)	120	155	165	220	250
M_{pvj} (t h^{-1})	8 až 11	11 až 13	12 až 15	15 až 20	20 až 25
V_n ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ **)	6 000	6 000	10 000	10 000	12 000
ϵ_j (kWh t^{-1})	8 až 13	8 až 13	10 až 16	10 až 16	10 až 16

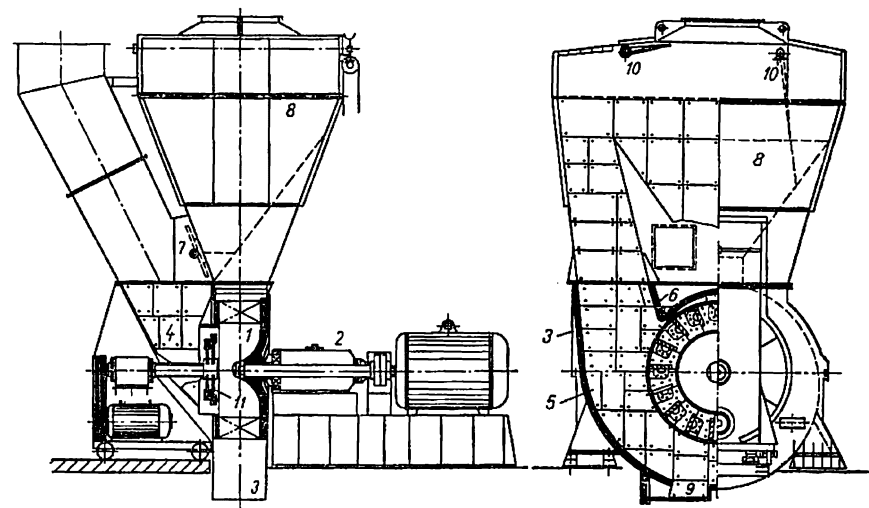
***) při 0 °C a 0,1 MPa

4.3.7 VENTILÁTOROVÝ MLÝN

Ventilátorový mlýn vznikl jako výsledek snahy konstruktéra maximálně projekčně i provozně zjednodušit mlecí okruh pro méně hodnotná uhlí s velkým obsahem vody $W_0 > 35\%$, kdy se již nevystačí při sušení s ohřátým vzduchem a musí se sušit spaliny o teplotě vyšší než 600 °C. Ventilátorový mlýn plní v okruhu současně dvě funkce: jednak funkci mlýna, tj. zajišťuje dezintegraci potřebného toku uhlí na potřebnou jemnost, jednak funkci mlýnského ventilátoru, tj. zajišťuje nasávání potřebného průtoku sušících spalin (dnes nejčastěji z prostoru konce ohniště) a jejich dopravu tak, aby sušení, mletí a třídění proběhlo v požadovaných mezích a aby spaliny sloužící jako nosné médium uhelného prášku vytékaly spolu s uhelným práškem přes hořáky do ohniště s požadovanou rychlostí ($> 30 \text{ m s}^{-1}$). Z požadavku spojit obě funkce – mlecí a ventilační – do jediného stroje vzniká u ventilátorového mlýna celá řada problémů daných tím, že zásady optimálního řešení ventilátorového mlýna jako mlecího zařízení se neztotožňují se zásadami správného konstruování a provozování mlýna tak, aby pracoval jako dobrý ventilátor. Vazba mezi oběma funkcemi, vyjádřitelná jako vzájemná závislost průtoku hmoty uhlí i spalin za současného dosažení potřebného vysušení a potřebné jemnosti prášku, popř. i dodržení výstupní teploty spalin z bezpečnostních důvodů, je velmi těsná, takže např. při zvýšení mlecího výkonu mlýna dochází k snížení ventilačního výkonu a vzrůstu celkového tlaku nosného média, což současně vyvolá zvýšení vlhkosti a zjemnění uhelného prášku a pokles teploty brýd za tříděčem.

ventilátorových mlýnů fy 1. B ZKG, Brno

M_{pvj} (t h^{-1})	b ($\text{t m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	ϵ_j (kWh t^{-1})	V_n/M_{pv} ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)	t_0 (°C)	t_1 (°C)	Δp_c (Pa)	m_n (t)
13,3	20,05	10,3	—	980	134	810	—
15,7	22,4	16,2	1,80	700	75	1 280	—
21,5	27,8	8,5	—	713	97	1 220	36
49,4	26,4	12,3	1,28	671	75	1 600	73
65,0	23,3	10,5	2,3	700	130	2 500	—



Obr. 4.152. Ventilátorový mlýn

1 — oběžné kolo, 2 — ložisková skříň, 3 — mlecí komora, 4 — sací hrdlo, 5 — pancíř, 6 — nos, 7 — recirkulační hradítko, 8 — tříděč, 9 — shromažďování cizích těles, 10 — regulační klapka, 11 — předřazený tlukadlový rotor se samostatným pohonem

v důsledku velkého momentu setrvačnosti rotoru k úplnému zastavení až za několik desítek minut (obr. 4.151). Po celou tuto dobu nasává mlýn z ohniště spaliny o vysoké teplotě a dopravuje je mlecím okruhem zpět do ohniště, přičemž v okruhu není prakticky žádné uhlí. To by za normálního režimu vedlo k nadměrné teplotě ve mlýně i za tříděčem. Proto je nutno zajistit přisávání studeného vzduchu, popř. chlazení vodou a zkrátit dobu doběhu brzděním rotoru mlýna.

Za účelem zvýšení výkonu ventilátorového mlýna při zachování rozměrů se předřazuje do sání ventilátorového mlýna 2řadý až 6řadý tlukadlový předdrtič umístěný buď na společném hřídeli s kolem, nebo je uložen letmo na konzoli a má samostatný pohon. Předností tohoto uspořádání je, že je možno volit rozdílné otáčky kola a tlukadlového rotoru (důležité, protože průměr rotoru je asi poloviční než u kola), usnadní se montáž a výměna kola, protože zde není ložisko jako u prvního uspořádání a dlouhý těžký hřídel procházející uhelnou svodkou mlýna, kde trpí abrazí padajícího uhlí. Nevýhodou je letmé vysunutí tlukadlového rotoru (hřídel musí být tuhý a chráněný trubkou) a motor navíc. Otáčky rotoru musí být při polovičním průměru zhruba dvojnásobné než u kola. Výhodné je navrhnout svodku tak, aby vstup uhlí byl sečný vůči tlukadlovému rotoru (jak je uvedeno u tlukadlového mlýna), i když to poněkud zvyšuje tlakovou ztrátu. Typové rozměry a celková sestava ventilátorového mlýna fy 1.BZKG jsou na tab. 4.28 a na obr. 4.152.

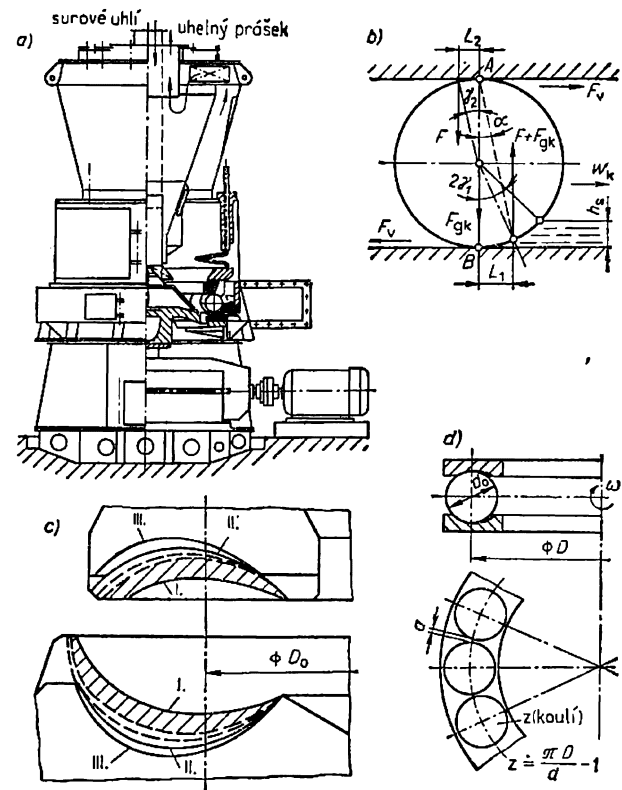
4.3.8 KROUŽKOVÝ MLÝN

Hlavní částí kroužkového mlýna podle obr. 4.153 je vodorovný talíř otáčející se kolem svislé osy, v jehož kruhové drážce se odvaluje několik (6 až 20) ocelových koulí o průměru 180 až 300 mm. Koule jsou přitlačovány k talíři silou asi 2 000 až 5 000 N na každou kouli pružinami a silou tíže přitlačného prstence. Palivo se dezintegruje drcením a otěrem mezi koulemi a talířem a je odstředivou silou unášeno na okraj talíře, kde přepadává do proudu nosného média, jež vytrídí jemnou frakci prášku a odnáší ji do třídíče, zatímco hrubší nebo s větší měrnou hmotností (pyrit) padá dolů. Rychlost nosného média v mezeře mezi skříňí s talířem se reguluje osovým posouváním kuželovitého regulačního prstence. Rychlost v mezeře bývá 25 až 30 m s⁻¹ při teplotě 150 až 200 °C. Nosné médium se přivádí do spirální skříňe na spodní část mlýna. Protože se koule opotřebovávají, je nutno konstrukčně zajistit, aby bylo možno sílu pružin regulovat. Pokud nejsou všechny koule stejného průměru, přejímá koule většího průměru celou přitlačnou sílu a dochází k její deformaci, eventuálně k porušení (koule se rozpílí).

Koule se vyrábějí kováním nebo lisováním z oceli, která se dá kalit (11 % Mn a 1 až 1,3 % C). V poslední době se též odlivají z ocelolitiny. (Pískové jádro se v nich ponechává.) Talíř a přitlačný prstenc je z ocelolitiny. Hřídel je spojen na přírubu s příčným klínem, který přenáší krouticí moment a odlehčuje stahovací šrouby. Pohon talíře je kuželovým převodem, jehož poměr musí být volen tak, aby při daných otáčkách motoru rozdíl odstředivých sil a sil tření

mletých částic zajišťoval neoptimálnější mletí. Převodová skříň musí být utěsněna tak, aby do ní nevnikal prach.

Regulace přitlačné síly, tj. stlačení pružin, se provádí postupným přitahováním regulačních šroubů nebo hydraulicky podle toho, jak dochází k opotřebování koulí. Skříň mlýna je svařena z ocelových plechů a na jejím horním



Obr. 4.153. Kroužkový mlýn
a — sestava, b — válení koule, c — opotřebování drážky, d — určení počtu koulí

konci je na přírubu připojen třídíč, obvykle odstředivý. Surové uhlí a návrat krupice z třídíče se přivádějí nad střed talíře. Regulační prstec ke změně rychlosti nosného média má vnitřní stranu kuželovitě opracovanou, takže při jeho osovém posuvu se dá plynule měnit mezikruhový průtočný průřez mezi talířem a prstencem.

cem. Tím lze měnit rychlost nosného a sušícího média, a tím naladit oddělování pyritu od uhelných zrn.

Kroužkový mlýn není vhodný pro mletí příliš mokrého paliva, protože se mu nedá předřadit kontaktní suška a veškeré sušení musí tedy proběhnout až ve mlýně. Přitom však nesmí dojít ke zborcení talíře, praskání koulí a poškození převodovky pro nadměrnou teplotu nosného a sušícího média (280 až 300 °C). Proto je možno zde vysušit palivo jen asi o 7 až 15 % vlhkosti. Mokrý palivo se tlakem a otěrem špatně mele, takže se kroužkový mlýn pro ně nehodí.

Vztah mezi průměrem koulí d , jejich počtem z a středním průměrem drážky D není libovolný. Mezera mezi koulemi a nesmí být příliš velká, aby tudy neprocházely částice, aniž byly mlety, a aby nedošlo k nahromadění koulí do jednoho úseku drážky. Velké mezery snižují výkon mlýna. Malá mezera naproti tomu může vést k vzájemnému narážení a brzdění koulí, jejich opotřebení a praskání. Protože opotřebením koulí se jejich průměr zmenšuje, je třeba počet koulí postupně doplňovat, a to vždy koulemi patřičného průměru. Po

i -tém doplňování koulí ($i = 1, 2, 3, \dots$) má původní průměr koulí $d_0 \doteq \frac{\pi D}{z_0 + 1}$ rozměr $d_i \doteq \frac{\pi D}{z_0 + i + 1}$. Počáteční rozměr koulí je třeba volit také se zřetelem k rozměru největších částic uhlí d_c . Obvykle se volí $d_0 \geq 10 d_{c, \max}$.

Obvodová rychlost talíře, a tím i otáčky se určí z úvahy, že částice paliva nesmí být vlivem odstředivé síly vynesena na obvod talíře dřive, než by mohla být rozemleta koulemi. Tomu odpovídají pro součinitel tření v drážce f_d otáčky mlýna

$$n \doteq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gf_d}{R_0}} \doteq 42 \sqrt{\frac{f_d}{R_0}} \quad (\text{min}^{-1}). \quad (4.312)$$

Pro větší spolehlivost se doporučuje skutečné otáčky volit o 10 % větší než odvozené, takže $n \doteq 115/\sqrt{D}$. Tomu odpovídá úhlová rychlost $\omega \doteq 12/\sqrt{D}$ a obvodová rychlost středního průměru drážky $u = 6\sqrt{D}$.

Přítlačná síla koulí je vyvozována jednak silou tíže koulí $F_{gk} = m_k g$ a přítlačného prstence $F_g = m_p g$, jednak silou pružin $F = z_0 F_1$. Celková síla působící na 1 kouli v závislosti na melitelnosti má být

$$F_{c1} = 6\,000 = 1\,500 \mu_{VT1} \quad (\text{N}). \quad (4.313)$$

Z ní lze dimenzovat a navrhnout přítlačné pružiny. Výkonnost mlýna

$$M_{pv} = \frac{22,3}{O} h D_0^{1,5} \doteq \frac{98}{O} D^{1,5} d_0 \quad (\text{t h}^{-1}) \quad (4.314)$$

závisí především na průměru drážky D_0 , protože průměr koulí se volí v mezích $d_0 = 0,2$ až $0,3$ m, a na cirkulačním čísle O ; viz (4.329). Na základě experimentálních prací [4.72] byl stanoven vzorec

$$M_{pvj} = 5,6 \mu_{VT1} k_w k_e k_{R5}^{-1} k_{R90} D^{1,5} \quad (\text{t h}^{-1}). \quad (4.314a)$$

Součinitel $k_{w1}, k_{w2}, k_{R5}, k_{R90}$ se určí podle kap. 4.3.1.3.

Celkový příkon kroužkového mlýna se skládá z příkonu na mletí a z příkonu ventilátoru. Obě části energie je možno dále rozdělit na podíl chodu naprázdno $P_{0m} + P_{0v}$ a na podíl mletí P_m a ventilace P_v , takže

$$P = P_{cm} + P_{cv} = P_{0m} + P_{0v} + P_v \quad (\text{kW}). \quad (4.315)$$

Energii na mletí P_{cm} je možné vyjádřit pomocí síly F_v potřebné k valení každé koule, a to rychlostí $w_k = \frac{u}{2}$,

$$P_{cm} = P_{0m} + P_m = \frac{z F_v}{1\,000 l_{cm}} \frac{u}{2} \quad (\text{kW}). \quad (4.316)$$

Podle [4.64] se určí celkový příkon podle vzorce

$$P = a_m D^3 \quad (\text{kW}), \quad (4.317)$$

kde koeficient $a_m = 115 - 15D$ (kW m^{-3}).

Tab. 4.29. Opotřebení kroužkového mlýna

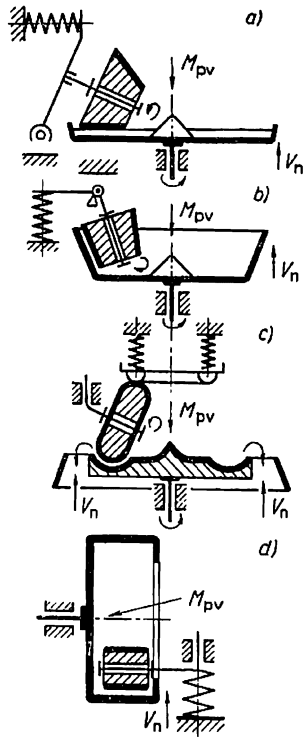
Část mlýna	(g t^{-1})	(g kWh^{-1})
koule	20 až 30	2,5 až 3,8
talíř	25 až 35	2,2 až 4
prsteneček	15 až 25	2 až 3
celkově	60 až 90	6,7 až 11

Poměrné opotřebení koulí vztahené na hmotnost původních koulí bývá značné, asi 30 až 40 %. Poměrné opotřebení vztahené na množství umletého uhlí $m_{F_e, P}$ a na spotřebovanou energii $m_{F_e, M}$ se pohybuje přibližně v mezích podle tab. 4.29. Opotřebení talíře a přítlačného prstence způsobuje poněkud větší potíže. Jak je vidět z obr. 4.153c, kde jsou vyznačena opotřebení během 3 cyklů výměny koulí, deformuje se tvar drážky v radiálním směru na eliptický tvar a střední průměr drážky se postupně zvětšuje. Proto je třeba talíř i přítlačný prsteneček po 2 až 3 cyklech výměny koulí přesoustředit.

4.3.9 KLADKOVÝ MLÝN

Podle polohy a provedení talíře a kladek se používají typy podle obr. 4.154.

Konstrukční provedení a použití kladkového mlýna na uhlí je obdobné jako u mlýna kroužkového. Talíř se dělá vodorovný, je vyroben z ocelolityny a na činné ploše obložen pancířem z Mn-ocelolityny. Kladky, které mají vyměnitelný pancíř, se otáčejí buď na válečkových, nebo kluzných ložiskách. Jejich



Obr. 4.154. Možné principy kladkových mlýnů
 a — rovinný talíř, kladky kuželové, b — talíř i kladky kuželové, c — rovinný talíř s drážkou, kladky soudkové, d — válcový talíř i kladky

mazání se děje tlakovým olejem vrtaným čepem kladky. K talíři jsou kladky přitlačovány pružinou přes dvouramennou páku. Přitlačnou sílu je možno regulovat stlačením pružiny pomocí regulačního šroubu nebo hydraulicky. S rostoucím opotřebením se stlačení musí postupně seřizovat. Pro prstenec třídicí rychlost nosného média v mezeře kolem talíře a teplotu sušícího média

platí stejné zásady jako u kroužkového mlýna. Minimální otáčky talíře plynou z požadavku pohybu paliva na obvod. Pro rovný talíř platí při součiniteli tření f

$$n_t \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R(1-f)}} \doteq \frac{42,3}{\sqrt{D}} (1-f)^{-0,5} \quad (\text{min}^{-1}) \quad (4.318a)$$

a pro kuželový s vrcholovým úhlem 2α

$$n_t \geq \frac{42,3}{\sqrt{D_1}} \sqrt{\frac{f + \text{tg } \alpha}{1 - f \text{tg } \alpha}} \quad (\text{min}^{-1}). \quad (4.318b)$$

Otáčky kladek o průměru d_k jsou $n_k = n_t \frac{D}{d_k}$; činná délka talíře a kladky vyplývá z požadavku, aby doba radiálního pohybu zrna po talíři byla kratší, než doba otočení talíře o obvodový úhel rozteče sousedních kladek.

Jmenovitou výkonnost mlýna lze podle [4.64] počítat ze vztahu

$$M_{pvj} = a \mu_{vTI} k_w k_e k_{R_5}^{-1} k_{R_{90}}^{-1}, \quad (4.319)$$

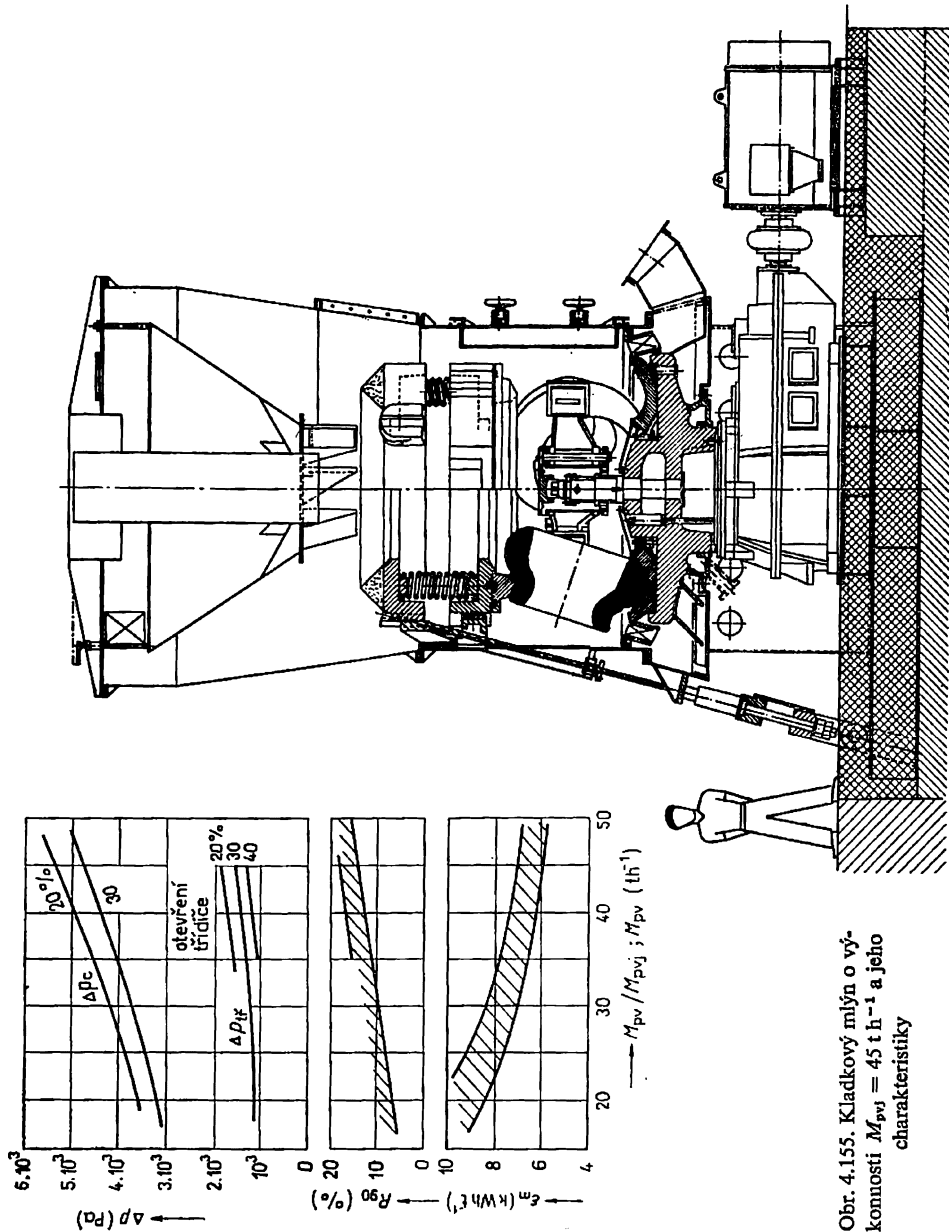
kde je možné součinitel a zahrnující konstrukční faktory používat podle tab. 4.30 a provozní faktory μ_{vTI} až $k_{R_{90}}$ jsou stejné jako u trubnatého a kroužkového mlýna.

Tab. 4.30. Volba konstanty a u kladkového mlýna

Průměr talíře D_{t2} (mm)	Průměr kladek D_{k2} (mm)	Počet kladek i_k	M_{pvj}^* ($t \text{ h}^{-1}$)	a
1 220	444	2	5,45	5,7
1 370	484	3	8,19	8,6
1 370	534	3	10,0	11,0
1 600	634	3	17,0	17,4

*) Při $\mu_{vTI} = 1,37$ a $R_{90} = 25 \%$

Příkon mlýna je nutno určit individuálně podle konstrukce mlýna z vlivných momentů. Schéma kladkového mlýna se soudkovými kladkami je na obr. 4.155, kde je také závislost jeho měrné mlecí práce, jemnosti mletí a tlakové ztráty na výkonu. Nedostatkem kladkových a kroužkových mlýnů (přes jejich jinak dobré vlastnosti, jak je patrné z obr. 4.119) je, že v nich nelze mlít mokrá uhlí (nad 15 %), protože se k nim nemůže předřadit sestupná sušička a teplotu



Obr. 4.155. Kladkový mlýn o výkonnosti $M_{pvj} = 45 \text{ t h}^{-1}$ a jeho charakteristiky

nosného vzduchu nelze volit vyšší než 350 až 400 °C, aby nedošlo k zborcení mlecího talíře a koksování, popř. vznícení oleje v převodové skříní a v ložiskách kladek.

4.3.10 ČASOVÁ KONSTANTA MLÝNA

Při skokové změně toku paliva nebo nosného média, popř. při změně vlastností paliva či sušícího média, se tyto změny neprojeví na změně výkonu mlýna okamžitě, ale s určitým časovým průběhem, než se nastaví nový ustálený stav. O průběhu rozhoduje tzv. *časová konstanta mlýna* T_m . Mlýn se chová jako akumulátor hmotnosti uhlí m_u (kg), takže se při disproporcii mezi přiváděným M_{u1} (kg s⁻¹) a odcházejícím tokem hmoty M_{u2} uhlí buď nabíjí, nebo vybíjí podle rovnice

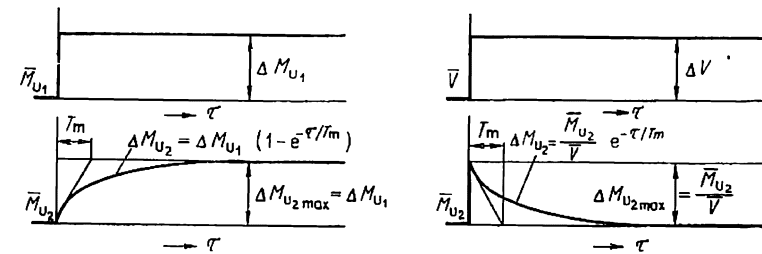
$$M_{u1} - M_{u2} = \frac{dm_u}{d\tau} \quad (\text{kg s}^{-1}) \quad (4.320)$$

Pokud se jedná o změny menší (do 10 % výkonnosti), může se předpokládat, že $m_u = KM_{u2}$ (kg) a lze provést linearizaci (4.320)

$$\Delta M_{u1} - \Delta M_{u2} = \frac{d\Delta m_u}{d\tau} = K \frac{d\Delta M_{u2}}{d\tau} \quad (\text{kg s}^{-1}), \quad (4.321)$$

kteřá v operátorové formě má, při označení operátoru p tvar

$$\Delta M_{u1} - \Delta M_{u2} = Kp \Delta M_{u2} \quad (\text{kg s}^{-1}). \quad (4.321a)$$



Obr. 4.156. Přechodové charakteristiky mlýna při změně toku
a — surového uhlí, b — ventilačního média (uvažováno bez sušení)

Konstanta K má rozměr času a označuje se T_m jako časová konstanta mlýna

$$K = T_m = \frac{m_u}{M_{u2}} \quad (\text{s}). \quad (4.322)$$

Diferenciální rovnice (4.321a) má řešení

$$\frac{\Delta M_{u2}}{\Delta M_{u1}} = \frac{1}{1 + T_m P},$$

takže při skokové změně ΔM_{u1} dojde ke změně množství prášku v čase

$$\Delta M_{u2} = (1 - e^{-\nu/T_m}) \Delta M_{u1} \quad (\text{kg s}^{-1}). \quad (4.323)$$

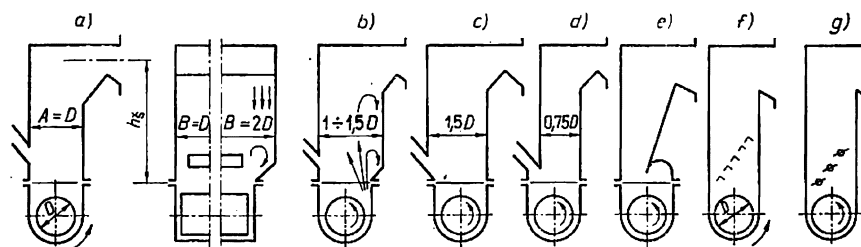
Při skokové změně objemového toku nosného média z hodnoty V ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) na hodnotu $V + \Delta V$ dojde ke změně toku prášku

$$\Delta M_{u2} = \frac{\bar{M}_{u2}}{V} e^{-\nu/T_m} \Delta V \quad (\text{kg s}^{-1}). \quad (4.324)$$

Podle obr. 4.156 je vidět, že čím bude časová konstanta mlýna kratší, tím více se bude mlýn z regulačního hlediska blížit proporcionálnímu členu, a bude tedy regulačně pružnější.

4.3.11 TŘÍDIČ

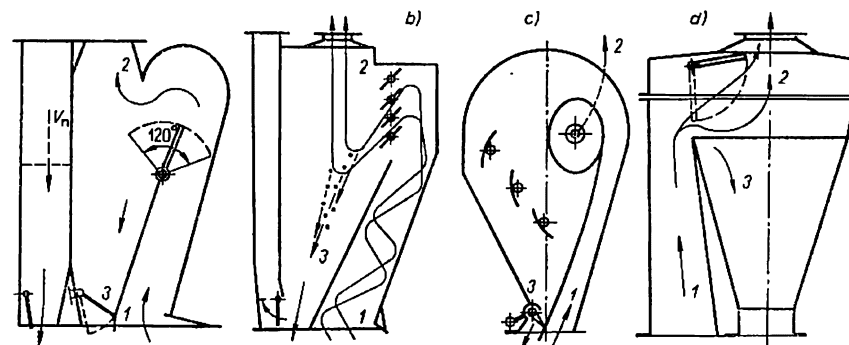
Třídíč odděluje nežádoucí hrubou frakci z uhlénohého prášku vystupujícího spolu s nosným médiem ze mlýna a vrací ji zpět. U všech typů mlýnů kromě trubnatého je třídíč umístěn přímo na výstupní přírubě mlýna, aby dráha



Obr. 4.157. Typy šachtových třídíčů

vracené hrubé frakce nebyla zbytečně dlouhá. U trubnatého mlýna, kdy vstupní a výstupní hrdlo jsou od sebe relativně dost vzdáleny, musí být třídíč naopak umístěn v práškovodu nad výstupním hrdlem dostatečně vysoko, aby sklon návratové svodky zaústěné v místě nad vstupním hrdlem mlýna byl minimálně 45° a nemohlo docházet k váznutí vrácené frakce. Podle druhu sil využitých k třídění jsou třídíče: šachtové (obr. 4.157), využívají při třídění sil gravitační,

obratové (obr. 4.158), využívají sil setrvačných při změně směru pohybu a odstředivé využívající odstředivých sil. Jsou-li odstředivé síly vyvolány tečným vstupem nosného média do pevné lopatkové mříže s přestavitelným úhlem lopatek, jde o stacionární odstředivé třídíče (obr. 4.159). Použije-li se rotující lopatkové mříže s přestavitelnými otáčkami, označují se třídíče jako dynamické,



Obr. 4.158. Typy obratových třídíčů

nebo též rotaklóny (obr. 160). Jejich použití při přípravě uhlénohého prášku je méně časté.

Vztah mezi velikostí mezního odloučeného zrna x_m a rychlostí nosného média v šachtě w u šachtového třídíče vyplývá z rovnováhy síly tíže zrna $F_g = mg$ a síly vznosu F_w vyvozené dynamickým tlakem $\Delta p_d = \frac{w^2}{2} \rho_n$ nosného média na zrno. Uvažuje-li se pro jednoduchost tvar zrna kulový, pak pro malá $Re \leq 1$ (při jakých se třídění uskutečňuje) a viskozitu vzdušiny η vychází mezní rozměr, resp. třídící rychlost

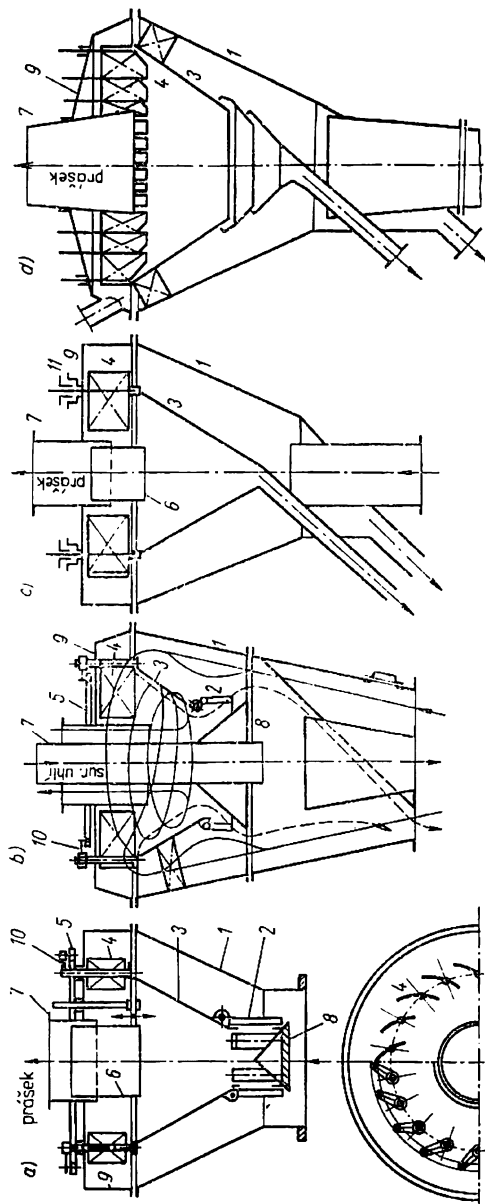
$$x_m = 18\eta(\rho g)^{-1}w, \quad \text{resp.} \quad w = \frac{1}{18} \frac{\rho g}{\eta} x_m^2. \quad (4.325)$$

Vyjádří-li se z Rosinova–Ramlerova vztahu rozměr zrna pomocí zbytku na síti $90 \mu\text{m}$, má rovnice charakteristiky šachtového třídíče tvar

$$w = \frac{1}{18} \frac{\rho g}{\eta} \left(b_{90} \ln \frac{1}{R_{90}} \right)^{-2/n} = K \left(\ln \frac{1}{R_{90}} \right)^{-a} \quad (\text{m s}^{-1}), \quad (4.326)$$

resp.

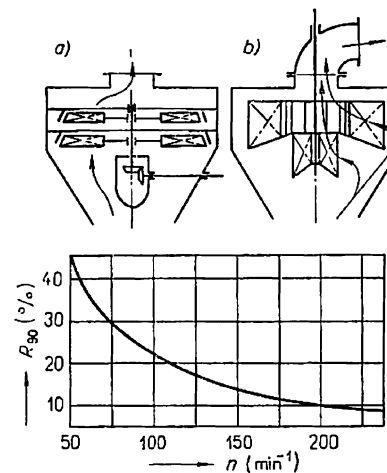
$$R_{90} = \exp \left(-\frac{K}{w} \right)^{1/a} \quad (\text{kg kg}^{-1}). \quad (4.327)$$



Obr. 4.159. Typy odstředivých stacionárních třídících

Pro obvyklé poměry bývá $K = 1,38$ až $1,5$ a $a = 0,72$ až 1 . Charakteristika odstředivého třídíče je na obr. 4.161a.

Jak je vidět z (4.325), neprobíhá vytřídování zrn v třídíči jen podle velikosti zrn, ale také podle měrné hmotnosti, a ta může být u zrn rozdílná, podle zastoupení obsahu popelovin a uhelné hmoty, popř. i počtu a velikosti pórů a trhlin v jednotlivých zrnech. Z toho plyne jeden z hlavních nedostatků tohoto třídíče, totiž že u něho dochází ve spojení s mlýnem k přemílání popelovin.



Obr. 4.160. Rotaklon (odstředivý třídíč s oběžným kolem) a charakteristika jemnosti prášku pro různé otáčky

Hustota popelovin ρ_A bývá v průměru dvakrát větší než hustota uhelné hmoty ρ_u , a tedy mezní rozměry vytříděných zrn uhlí a popeloviny budou v poměru

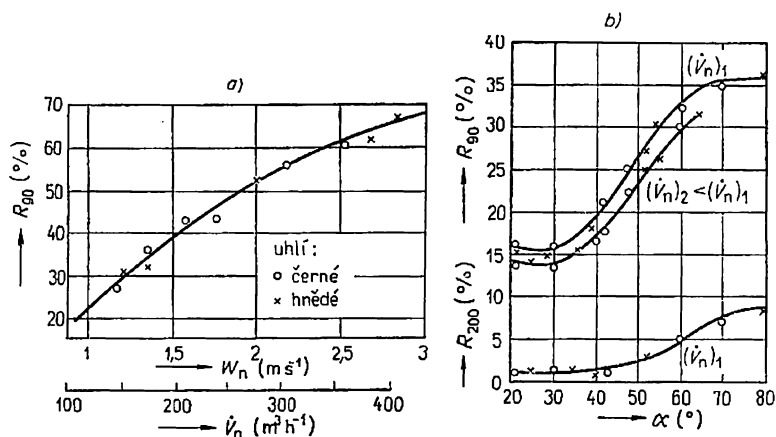
$$\frac{x_{mA}}{x_{mu}} = \sqrt{\frac{\rho_u}{\rho_A}} \cong \sqrt{\frac{1}{2}} \cong 0,7. \quad (4.328)$$

Zatímco zrna uhelné hmoty o velikosti $< x_{mu}$ odcházejí do práškovodu, jsou vracena stejně velká zrna popeloviny (i menší až do rozměru x_{mA}) třídíčem do mlýna, kde se znovu melou. Přemílání popelovin vede k většímu opotřebení mlýna a větší spotřebě energie na mletí. Současně se zvyšuje cirkulační (oběhové) číslo mlýna O , hmota uhlí ve mlýně m_u a časová konstanta mlýna T_m .

Dalším nedostatkem šachtového třídíče jsou pulsace tlaku a průstřely hrubších zrn. Je to způsobeno tím, že mezní zrna, která jsou ve vznosu (tj. neodcházejí ani do mlýna, ani do práškovodu), se v průřezu šachty zahušťují, až

v určitém okamžiku dojde na přechodnou dobu ke stoupnutí rychlosti, a mezní zrna jsou vyhozena z třídiče do práškovodu. Tím dochází k dočasnému zhrubnutí prášku.

U třídiče obrátového a odstředivého se jemnost uhlého prášku reguluje kromě změny rychlosti nosného média hlavně nastavením úhlu regulační klapky nebo lopatek. Příklad regulační charakteristiky stacionárního odstředivého třídiče je na obr. 4.161b.



Obr. 4.161. Charakteristika třídiče
a — šachtového, b — odstředivého stacionárního

Nestacionárních odstředivých třídičů (rotaklonů) s rotujícím lopatkovým kolem, které třídí pomocí odstředivého a Coriolisova zrychlení, se dnes u mlecích okruhů nepoužívá, protože lopatky trpí silně erozí a třídič vyžaduje mechanický pohon kola.

V soustavě mlýn – třídič obíhá po určitou dobu jisté množství paliva M_r ($kg s^{-1}$), protože není ještě dostatečně jemně umleto. Intenzita oběhu se vyjadřuje oběhovým (cirkulačním) číslem

$$O_x = \frac{M_{pv} + M_r}{M_{pv}}, \quad \text{resp.} \quad O = \frac{M_r}{M_{pv}}, \quad (4.329)$$

kteří je závislé hlavně na výkonnosti mlýna M_{pv} ($kg s^{-1}$), jemnosti mletí, obsahu popelovin v palivu a množství ventilačního média. Nadměrně velké cirkulační číslo mlýna vyvolává větší opotřebení mlýna, větší měrnou mlecí práci a zvětšuje časovou konstantu mlýna v poměru

$$\frac{T_{m1}}{T_{m2}} = \frac{O_{x1}^{\sqrt{O}}}{O_{x2}}, \quad (4.330)$$

protože

$$m_u = k(M_{pv} + M_r) = T_m M_{pv} O_x \quad (\text{kg}). \quad (4.331)$$

Hodnota cirkulačního čísla se dá určit nepřímou z jemnosti prášku vstupujícího (R_{90})₀ a vystupujícího (R_{90})₁ z třídiče a ze zrnitosti vracené frakce (R_{90})_r z bilance

$$M O_x (R_{90})_0 \doteq M (R_{90})_1 + M (O_x - 1) (R_{90})_r, \quad (4.332)$$

takže

$$O_x \doteq \frac{(R_{90})_r - (R_{90})_1}{(R_{90})_r - (R_{90})_0}.$$

4.3.12 SUŠENÍ PALIVA

Sušení uhlí je dnes jediný možný prostředek, který umožňuje zkvalitnit méněhodnotná mokrá uhlí. Při vysušení vody o $\Delta W = \frac{W_0 - W_1}{1 - W_1}$ ($kg kg^{-1}$)

z paliva se zvýší jeho výhřevnost o

$$\Delta Q_n = Q_{vh}(1 - A_s) \Delta W + 2450[1 + 9H_h(1 - A_s)] \Delta W \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.334)$$

Vysušení má vliv i na melitelnost paliva, jeho uskladňování, transport a podávání. K sušení uhlí se dnes u mlecích okruhů používá pro svoji jednoduchost skoro výhradně kontaktní sestupná suška ve formě svislé trouby potřebného průměru a sušicím médiem je ohřátý vzduch či spaliny, popř. jejich směs. Parních rotačních sušek se používá jen zřídka, a to pro velmi vlhká uhlí a centrální mlýnici.

Množství sušícího média y ($m^3 kg^{-1}$), resp. jeho teplota t_{s0} (°C), potřebné pro vysušení 1 kg uhlí s obsahem vody W_0 na W_1 ($kg kg^{-1}$) vylpne z tepelné bilance sušky

$$\Sigma q_i = q_{s0} + q_{u0} + q_p + q_m - q_w - q_{s1} - q_{u1} - q_z = 0 \quad (\text{kJ kg}^{-1}), \quad (4.335)$$

kde citelné teplo sušícího média a uhlí na vstupu do sušky jsou

$$q_{s0} = y c_{s0} t_{s0} \quad \text{a} \quad q_{u0} = 1 c_u t_{u0} \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.336), (4.337)$$

Citelné teplo přisátého vzduchu připadající na 1 kg paliva

$$q_p = y_p c_v t_v \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.338)$$

Teplo potřebné na odpaření vody a přehřáté páry za suškou t_1 (°C) je

$$q_w = \frac{W_0 - W_1}{1 - W_1} [c_w(t' - t_{u0}) + r + c_p(t_1 - t'')] \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.339)$$

Teplu vzniklé třením, nevyužitím měrné mlecí práce ε_m mlýna (kWh t^{-1})

$$q_m = 3,6(1 - \eta_m) \varepsilon_m \approx (2,16 \text{ až } 2,9) \varepsilon_m \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.340)$$

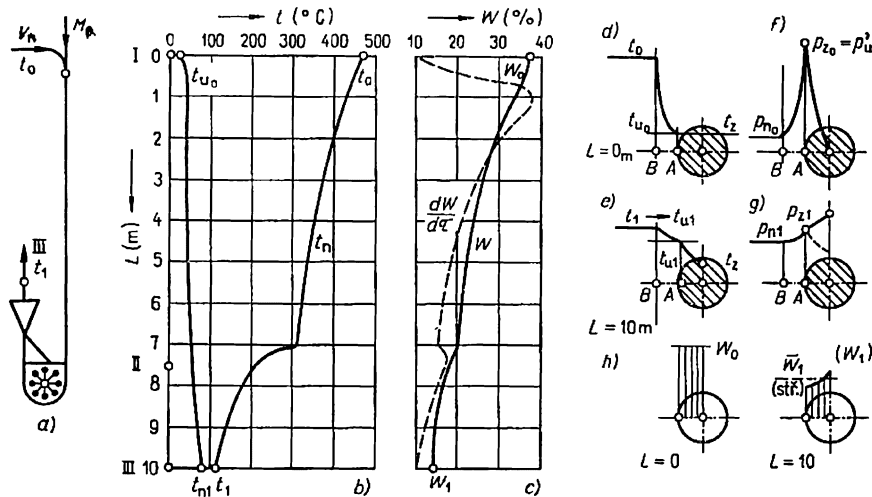
Citelné teplo sušícího média a uhlí na výstupu ze sušky

$$q_{s1} = (y + y_p) c_{s1} t_1; \quad q_{u1} = (1 - W_0) \left(c_{u1} + \frac{W_1 c_w}{1 - W_1} \right) t_1 \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.341)$$

Tepelná ztráta sušky připadající na 1 kg uhlí

$$q_z = \frac{Q_z}{M_u} = \zeta_s q_{s0} = (0,05 \text{ až } 0,15) q_{s0} \quad (\text{kJ kg}^{-1}). \quad (4.343)$$

Prášek z černého uhlí a antracitu se suší na obsah vody vyšší o 1 až 2 %, než odpovídá vodě hygroskopické, tj. na $W_1 = 2,5$ až 5 %. Prášek z hnědých uhlí a lignitů má mít obsah vody asi 9 až 17 %, tedy asi o 2 až 10 % vyšší než je voda hygroskopická při 20 °C, normálním tlaku a vlhkosti atmosféry. Za konečnou teplotu sušení se považuje teplota za třídičem; volí se podle tab. 4.15.



Obr. 4.162. Průběh teploty uhlí a sušícího média a rychlosti sušení v sestupné sušce

Typ sušky ovlivňuje výrazně celou koncepci mlecího okruhu. Starý způsob sušení v bubnových parních nebo spalinových suškách je komplikovaný a nehospodárný. Dnes se skoro výhradně používá sestupná, výjimečně vzestupná kontaktní suška vzduchová nebo spalinová. Druh sušícího média se volí podle

obsahu vody a podle výbušnosti uhlí. Pro obsah vody $W_0 \geq 35\%$ se používají spaliny nasávané přímo z ohniště, nebo jejich směs se vzduchem, neboť v ohříváku se ohřívá vzduch obvykle do 300 až 450 °C, což k vysušení nestačí. Stupeň vysušení vody v prášku se doporučuje podle tab. 4.13. Kromě toho spaliny směs inertizují (snižuje se obsah O_2), a tím klesá nebezpečí výbuchu (viz kapitola 4.3.2.)

Teplotní, sušící a rychlostní poměry v sestupné kontaktní sušce jsou zřejmé z obr. 4.162. Při konstantní rychlosti nosného média w_n platí pro postupnou rychlost zrn o rozměru d a hustotě ρ v čase τ (s) po vpádu do sušky vztah

$$w = w_n + \frac{1}{18} \frac{\rho g}{\eta_n} d^2 \left(1 - e^{-\frac{18\eta_n}{\rho d^2} \tau} \right) \quad (\text{m s}^{-1}). \quad (4.344)$$

Výpočet délky sušky je obtížný a v praxi se volí podle zkušeností $L_{\min} \geq 6$ až 8 m. Průměr sušky se vypočte z průtoku sušícího média a jeho rychlosti, která se po délce mění a bývá obvykle $w_n = 10$ až 30 m s^{-1} (podle počáteční a konečné teploty).

4.3.13 PODAVAČE SUROVÉHO UHLÍ A PRÁŠKU

Podavače mají za úkol odměřovat a dopravovat v potřebném množství surové uhlí do sušky a uhelný prášek do směšovacího kusu práškovodu. Při dopravě nemá docházet k vážnutí a nalepování paliva, odměřování má být přesné a rychle přestavitelné, statická charakteristika pokud možno lineární a časová konstanta i dopravní zpoždění co nejkratší. Nerovnoměrné podávání paliva způsobuje kolísání příkonu tepla do ohniště, a tím rozkývání regulačního systému, popř. i pulsace tlaku v ohništi. Ideální podavač by měl podávat podle výhřevnosti v čase může být značné a kontinuální určování výhřevnosti není vyřešeno, nelze za současného stavu takový podavač realizovat. Současné typy podavačů pracují na principu objemovém. Protože měrná sypaná hmotnost paliva v čase také kolísá, bude dávkování tuhých paliv těmito podavači značně nepřesné, zejména bude-li kolísat i objemová účinnost podavače a podávaný průtok \dot{V} ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) se bude měnit. Pak odchylka od tepelného výkonu v ustáleném stavu $\dot{Q} = \dot{V} \rho_s \bar{Q}_n$ (kW) bude záviset na změnách podávaného objemu ΔV , sypané hmotnosti $\Delta \rho_s$ a výhřevnosti $\Delta \bar{Q}_n$ paliva podle vztahu

$$\Delta \dot{Q} = \bar{Q}_n \Delta \dot{V} + \dot{V} \bar{Q}_n \Delta \rho_s + \dot{V} \rho_s \Delta \bar{Q}_n \quad (\text{kW}). \quad (4.345)$$

Nejčastěji používané typy podavačů surového uhlí jsou pro hnědá mokrá uhlí podavač pásový, deskový, řetězový (redler) a pro surové uhlí i prášek