

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Jiří Rigo

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vlastní spotřeba uhelných elektráren

Self - consumption of Coal Fired Power Plants

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Rigo**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Vlastní spotřeba uhelných elektráren**
Self-consumption of Coal Fired Power Plants
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Analýza technologií kotle uhelných elektráren: Příprava paliva, kotel, vodní hospodářství, čištění spalin
Analýza naměřených hodnot vlastní spotřeby jednotlivých částí uhlé elektrárny

Seznam doporučené odborné literatury:


PROCHÁZKOVÁ, Olga. Zhodnocení parametrů parního kotle po komplexní obnově. Disertační práce. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2742-1.
KADRNOŽKA, Jaroslav. Tepelné elektrárny a teplárny. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.4. 2017



Bc. Rigo Jiří

Poděkování :

Na tomto místě bych velice rád poděkoval svému vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tadeuszovi Sikorovi, Ph.D., za velmi cenné rady, připomínky a vytrvalost při řešení mé diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou vlastní spotřeby elektrické energie kotelny uhelné elektrárny. Teoretická část diplomové práce obsahuje popis částí kotelny, kterými se tato práce zabývá v praktické části. Jako například: mlecí okruhy, principy odlučování, odlučovače atd. Hodnoty vychází ze skutečného měření během garančních testů na uhelných elektrárnách. Výsledné hodnoty jsou mezi sebou porovnány, a dále jsou porovnány dílčí výpočty jako například: poměrná spotřeba elektrické energie na výrobu v procentech, množství energie potřebné k namletí jedné tuny paliva, spotřeba ventilátoru na dopravu jedné tuny spalin atd. Toto vše je porovnáno mezi měřením typu A. Toto měření je uskutečněno při předávce bloku objednateli a měřením typu B, které je měřeno po dvou letech provozu od testu A.

Klíčová slova

Uhelná elektrárna, odlučovač, mlýn, vlastní spotřeba, blok, rozvodna, vzduchový a kouřový ventilátor

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of own electricity consumption of boiler room of coal power plant. The theoretical part of the diploma thesis contains a description of parts of the boiler room, which deals with this work in the practical part, such as: milling circuits, separating principles, separators, etc. The values are based on real guarantee test measurements in coal fired power plants. The resulting values are compared with each other and partial calculations such as: the percentage of electricity consumption to produce, the amount of energy required to mill one ton of fuel, the fan consumption for transporting one tonne of flue gas, All of this is compared to a Type A measurement. This measurement is carried out by a block transfer to the customer and a type B measurement that is measured after two years of working from test A.

Keywords

Coal power plant, separator, mill, own consumption, block, substation, air and smoke fan

Seznam některých použitých symbolů a zkratek

Seznam některých použitých zkratek

a.s.	Akciová společnost
Demi.	Demineralizovaná voda
atd.	A tak dále
resp.	Respektive
ČR	Česká republika
max.	Maximum
min.	Minimum
např.	Například
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
tj.	To je
tzv.	Takzvaně
vvn	Velmi vysoké napětí
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Seznam některých použitých symbolů

CO_2	Oxid uhličitý
P_{jm}	Jmenovitý výkon kotle
P_Q	Tepelný výkon jednotlivého bloku
P_{el}	Elektrický výkon jednotlivého bloku
k_v	Výhřevnost jednotlivého bloku
M_U	Přepočtená spotřeba paliva jednotlivého bloku
M_{spalin}	Přepočtená spotřeba paliva jednotlivého bloku
$M_{vzduchu}$	Množství vzduchu jednotlivého bloku
$\Delta P_{kot.}$	Vlastní elektrická spotřeba kotelny jednotlivého bloku
$\Delta P_{el.odluč}$	Vlastní elektrická spotřeba elektroodlučovače jednotlivého bloku
$\Delta P_{mlýn.}$	Vlastní elektrická spotřeba mlýnů jednotlivého bloku
ΔP_{kv}	Vlastní elektrická spotřeba kouřového ventilátoru jednotlivého bloku
$\Delta P_{vv.}$	Vlastní elektrická spotřeba vzduchového ventilátoru jednotlivého bloku
ΔP	Vlastní elektrická spotřeba jednotlivého bloku celková jednotlivého bloku
η_{Qblok}	Tepelná účinnost bloku v procentech
$\eta_{EL.blok}$	Elektrická účinnost bloku v procentech
E	Poměrná spotřeba elektrické energie na výrobu v procentech
$\eta_{P.mletí uhlí}$	Množství energie potřebné k namletí jedné tuny paliva
$\eta_{P.elektroodlučovače}$	Množství kWh potřebné pro vyčištění jedné tuny spalin

$\eta_{P.dopravy}$	Jeden kW el. spotřeby vzduchového a spalínového ventilátoru na kW tepelný výroby kotle
$\eta_{P.Pomoc.odběrů}$	Jeden kW el. spotřeby pomocných odběrů kotelny na jeden kW tepelný výroby kotle
$\eta_{P.vv}$	Měrná spotřeba vzduchového ventilátoru
$\eta_{P.sp}$	Spotřeba ventilátoru v kWh na dopravu jedné tuny spalin
$\eta_{P.celková.spalin}$	Spotřeba celková v kWh na jednu tunu vzduchu a spalin
$\eta_{NP.vv}$	Spotřeba vzduchového ventilátoru v kWh na dopravu jednoho tisíce normometrů krychlových vzduchu
$\eta_{NP.sp}$	Spotřeba spalínového ventilátoru v kWh na dopravu jednoho tisíce normometrů krychlových spalin
$\eta_{NP.celková.spalin}$	Spotřeba spalínového ventilátoru v kWh na dopravu jednoho tisíce normometrů krychlových vzduchů a spalin
ρ	Normální hustota vzduchu za normální teploty a tlaku

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1- PODÍL ZDROJŮ ELEKTŘINY POUŽITÝCH PRO VÝROBU ELEKTŘINY V ROCE 2016 [12].....	1
OBRÁZEK 2- ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA JEDNOHO BLOKU TEPELNÉ ELEKTRÁRNY [6]	2
OBRÁZEK 3- JEDNODUCHÉ SCHÉMA MLECÍ STANICE [4].....	3
OBRÁZEK 4 - MLECÍ OKRUH S PŘÍMÝM FOUKÁNÍM	5
OBRÁZEK 5 - MLECÍ OKRUH SE ZÁSOBNÍKEM PRÁŠKU UZAVŘENÝ	6
OBRÁZEK 6 - MLECÍ OKRUH SE ZÁSOBNÍKEM PRÁŠKU OTEVŘENÝ	7
OBRÁZEK 7 - TRUBNATÝ MLÝN [7].....	8
OBRÁZEK 8 - TLUKADLOVÝ MLÝN [4]	9
OBRÁZEK 9 - VENTILÁTOROVÝ MLÝN [4]	9
OBRÁZEK 10 - KROUŽKOVÝ A KLADKOVÝ MLÝN [4]	10
OBRÁZEK 11 - SILOČÁRY MEZI KONCENTRICKÝMI ELEKTRODAMI[2].....	11
OBRÁZEK 12 - TRAJEKTORIE ČÁSTIC PRACHU PŘI OBTÉKÁNÍ VÁLCE	12
OBRÁZEK 13 - SUCHÝ MECHANICKÝ ODLUČOVAČ [8].....	14
OBRÁZEK 14 - CYKLÓN.....	14
OBRÁZEK 15 - HLADINOVÝ ODLUČOVAČ S KOLMÝM A TEČNÝM PŘÍVODEM PLYNU[10]	16
OBRÁZEK 16 - PĚNOVÝ ODLUČOVAČ[10]	17
OBRÁZEK 17 - PROUDOVÝ VÍCEČLÁNKOVÝ ODLUČOVAČ[10].....	18
OBRÁZEK 18 - SOUSTAVY USPOŘÁDÁNÍ ELEKTROD [11]	19
OBRÁZEK 19 - SCHÉMA SUCHÉHO HORIZONTÁLNÍHO KOMOROVÉHO ELEKTRICKÉHO ODLUČOVAČE[11] ...	20
OBRÁZEK 20 - OKLEPÁVACÍ TRÁMCE A OKLEPÁVÁNÍ PŘEPADÁVAJÍCÍMI KLADIVY[11]	20

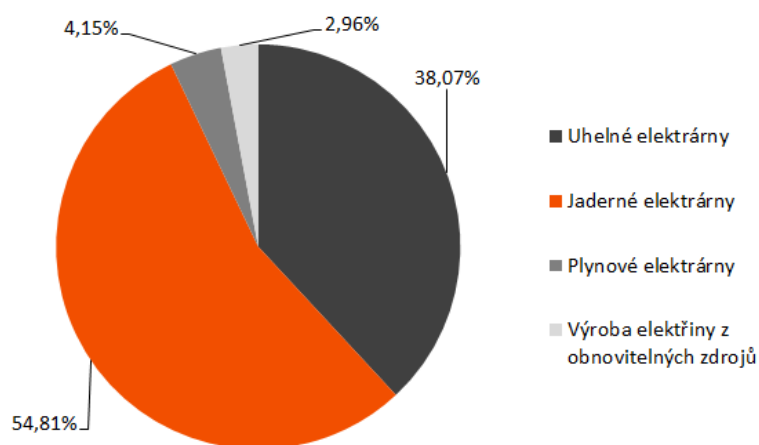
Obsah

1	Úvod	1
2	Příprava paliva	3
2.1	Sušení paliva	4
2.2	Mlecí okruhy a mlýnice	4
2.2.1	S přímým foukáním uhelného prášku do ohniště.....	4
2.2.2	Mlecí okruh se zásobníkem prášku uzavřený	6
2.2.3	Mlecí okruh se zásobníkem prášku otevřený.....	7
3	Základní prvky mlecích okruhů	8
3.1	Mlýny.....	8
3.1.1	Tlukadlový mlýn.....	8
3.1.2	Ventilátorový mlýn	9
3.1.3	Kroužkový a kladkový mlýn	9
4	Odlučování pevných částic	10
4.1	Principy odlučování	11
4.1.1	Elektrostatický princip	11
4.1.2	Setrvačný princip	12
4.1.3	Difúzní princip.....	13
4.2	Obecné vlastnosti odlučovačů	13
4.3	Rozdělení odlučovačů:.....	13
4.4	Suché odlučovače mechanické	13
4.4.1	Vírové odlučovače suché.....	14
4.5	Mokrý odlučovače mechanické	15
4.5.1	Setrvačné odlučovače mokré	15
4.5.2	Vírové odlučovače	16
4.5.3	Pěnové odlučovače.....	17
4.5.4	Proudové odlučovače	17
4.6	Elektrické odlučovače.....	18
4.6.1	Elektrický odlučovač komorový	19
5	Úprava vody	21
5.1	Požadavky na složení napájecí a kotelní vody	21
6	Konec veřejné části diplomové práce	22

1 Úvod

V dnešní době jsme na elektrickou energii závislí, ať už se jedná o zdravotnictví, průmysl, informační technologie, dopravu či domácnosti atd.

Elektrárna je vlastně technologické zařízení, které pracuje na principu získání energie, která je vázaná v různých zdrojích, jako je: voda, uhlí, biomasa, uran atd. A následně uvolněná energie, je měněná na energii mechanickou, která roztáčí generátor a ten vytváří elektrickou energii, která je dále transformována a přenášena až k odběratelům. Dle získávání energie z různých zdrojů, dělíme elektrárny na uhelné, jaderné, vodní, přečerpávací, solární, větrné a kogenerační jednotky. U nás v poměru nejvíce vyrobené elektrické energie zastupují elektrárny jaderné a jako druhé jsou elektrárny tepelné.



Obrázek 1- Podíl zdrojů elektřiny použitých pro výrobu elektřiny v roce 2016 [12]

Z uhlí se v současné době ve světě vyrábí více než 44 (%) veškeré elektrické energie a Evropě je to asi 33 (%). Pro další rozvoj uhelných elektráren v ČR, je hlavní podmínkou udržovat vědeckotechnický progres a to především v oblasti energetické účinnosti.

Uhelných elektráren a tepláren je u nás celkem 11, a to: Dětmárovice, Hodonín, Ledvice, Mělník, Počerady, Poříčí a Dvůr Králové, Počerady, Tušimice, Trmice, Vítkovice a Jindřichův Hradec. Tato diplomová práce bude věnována retrofitu elektráren Tušimice II a Pruněrov II. Uhelné elektrárny, jsou ve srovnání s elektrárnami jadernými nákladnější na budování, ale i na výrobu elektrické energie z důvodu malé účinnosti poměru vyrobené energie na množství spotřebovaného paliva. Teoretická část je založena na popisu hlavních částí kotelny uhelné elektrárny jako je: příprava paliva, mlecí okruhy a mlýnice, odlučování pevných částic, úprava vody atd. Vysvětlení jejich funkce a všeobecná představa o zařízení jako celku.

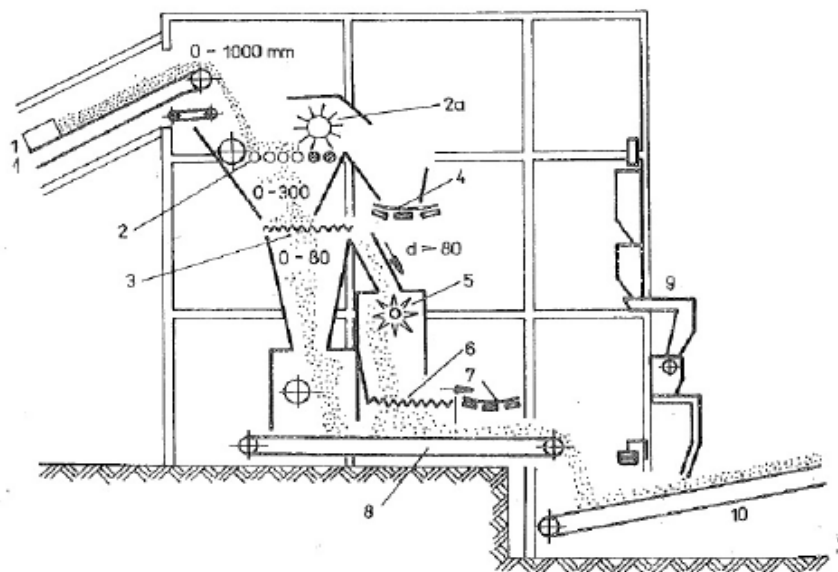
Praktická část této diplomové práce se bude zabývat měřením a následným vyhodnocením měření elektráren Tušimice II kde proběhl test A a test B a elektrárny Pruněrov II kde proběhl test A. Budou zodpovězeny otázky jak se změnila vlastní spotřeba po dvou letech provozu, jak se liší spotřeby obou elektráren a srovnání dílčích výpočtů pro obě elektrárny.

2 Příprava paliva

Příprava uhlého prášku se děje v technologickém zařízení, které nese jméno mlecí stanice, resp. mlýnice. Palivo musí být pedsušováno z důvodu spolehlivosti a racionálního chodu mlýnice. Toto se děje, pokud palivo disponuje větší vlhkostí.

Základní příprava paliva je mletí a sušení paliva a výsledek je uhlý prášek, který se dále spaluje. Příprava paliva tedy sestává z dopravy surového uhlí, přívod sušícího media do *mlýnice, sušící proces, mletí uhlí, třídění prášku, odlučování prášku z brýd, což je vedlejší produkt při přípravě, mletí a sušení uhlého prášku. V přeneseném smyslu vedlejší plynný nebo parní produkt tepelných procesů při průmyslové činnosti, do ohniště, resp. do komína, zařízení které zamezuje výbuchu a je jakousi bezpečnostní pojistkou, dále najíždění, měření, odstávky a regulace důležitých prvků mlýnice.

Jednotlivá zařízení na sebe navazují a tvoří tzv. sušící a mlecí okruh mlýnice. Tento okruh může být rozdílný svou složitostí, a to podle druhu spalovaného paliva, druhu mlýnu a sušícího media, podle typu ohniště a regulačních požadavků na kotelní agregát a jiné. Dále může být okruh odlišný, zda se vyrábí prášek buď pro jeden kotel nebo celou kotelnu. [1]



- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 1 – detektor kovových předmětů | 6 – válcový rošt |
| 2 – válcový drtič | 7 – pásový dopravník |

Obrázek 3- Jednoduché schéma mlecí stanice [4]

2.1 Sušení paliva

Důvody k sušení uhlí jsou následující:

- zlepšení hoření a zapalování uhelného prášku
- zlepšení účinnosti mletí
- zajištění spolehlivé a bezpečné dopravy paliva
- skladování uhelného prášku

Sušení uhlí se děje buď jen v mlýnu, a to když má uhelný prášek malou povrchovou vlhkost 8 až 10 % , a to se děje vysušením v samotném mlýnu nebo s pomocí kouřových plynů. Při velké povrchové vlhkosti, kdy je vlhkost již značná a pohybuje se v rozmezí 15 a 20 % ,se užívá zvláštního sušícího zařízení takzvané sušičky. Použité sušičky se dělí na vzestupné a sestupné. Palivo je unášeno sušícím médiem ve směru jeho proudění, a to v případě vzestupné zdola nahoru a v případě sestupné je tomu naopak. Jako sušícího media se používá spalin, horkého vzduchu nebo smíšením těchto dvou medií. Tohoto se užívá k vysoušení vlhkého a velmi vlhkého uhlí , počáteční teplota spalin je vysoká, to je 500 až 900 °C, tyto jsou odebírány buď v průtahu kotle, nebo na konci ohniště, popřípadě oboje a následným smíšením a tímto i regulací teploty medií.

Volba sušícího media musí být velmi dobře vyprojektována, a to z důvodu výbuchu v mlýnici. Výbušnost je podmíněna jeho rozptýlením v prostředí, koncentrací prášku a určitým minimálním obsahem kyslíku. K výbuchu nedochází, pokud se podíl kyslíku ve směsi plynů a vodní páry řídí se podle normy ČSN 07 4009. [1]

2.2 Mlecí okruhy a mlýnice

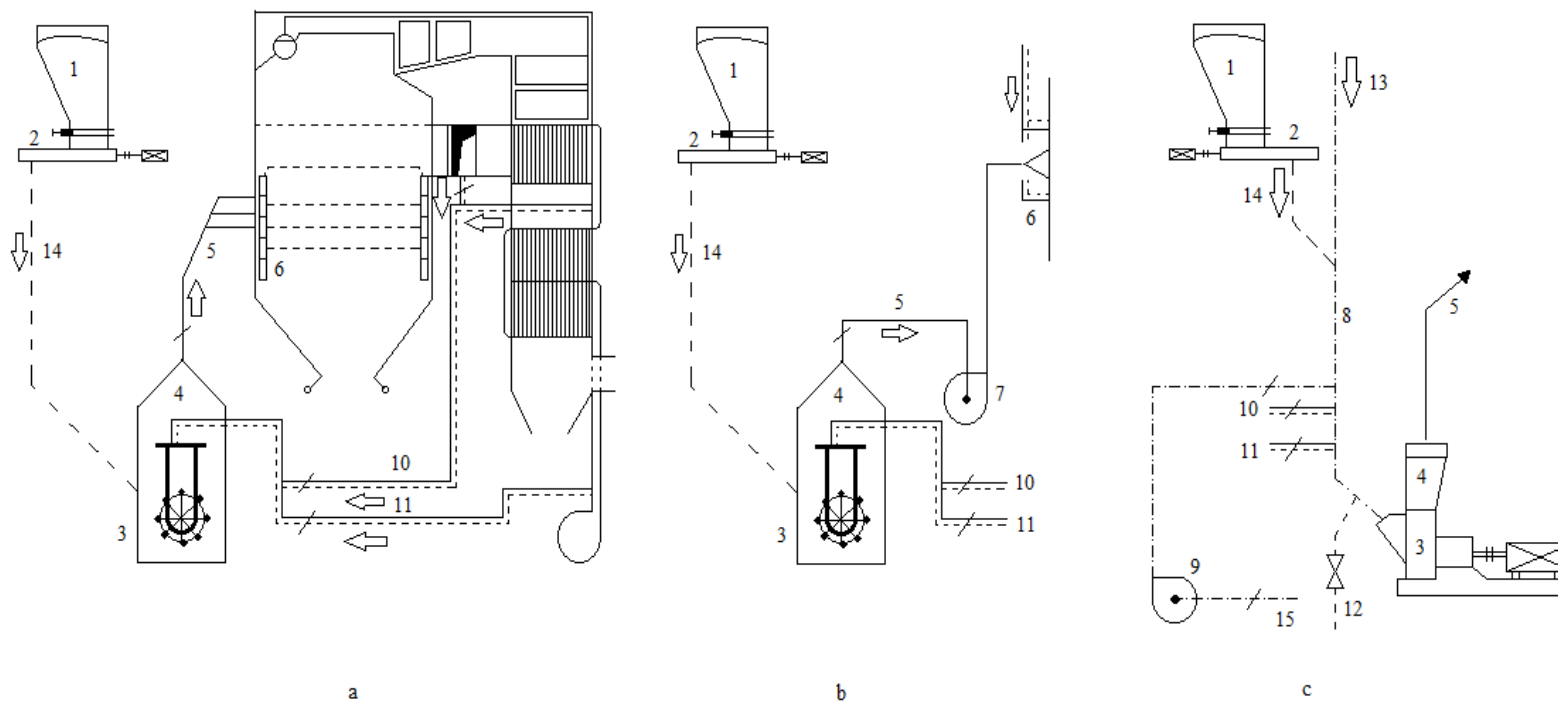
Mlecí okruhy je možno rozdělit do dvou základních skupin:

2.2.1 S přímým foukáním uhelného prášku do ohniště

Tento okruh může být buď přetlakový či podtlakový. V případě přetlakového je sušícím médiem vzduch, který zajišťuje i dopravu paliva až do hořáku. O dopravu vzduchu se stará vzduchový ventilátor nebo zvláštní ventilátor. Velká nevýhoda je netěsnost a tudíž unikání paliva do prostoru mlýnice. Obr. 2a

V případě potlakového okruhu obstarává dopravu sušícího media a paliva mlýnicový ventilátor Obr. 2b, jako sušícího media je použito spalin či vzduchu a výhodou je, že teplota je regulována smíšením vzduchu se studeným vzduchem podle teploty za třídičem, další výhodou je, že je zde již vyřešena problematika unikání uhelného práškového paliva, avšak nevýhodou je že se mlýnicový ventilátor uhelným práškem opotřebovává.

Na Obr. 2c je znázorněno schéma samonasávacího ventilátorového mlýnu, který se používá pro přípravu velmi vlhkého uhlí, tento nasává z konce ohniště sušící medium o teplotě 900 až 1000 °C a teplota za mlýnem se reguluje přísátím horkého vzduchu. Tato veličina je stanovena podle vlhkosti surového uhlí. [1]



a - přetlakový, b - podtlakový, c - se samonasávacím mlýnem
 1 - zásobník surového uhlí; 2 - podavač surového uhlí; 3 - mlýn; 4 - třídič; 5 - práškové potrubí; 6 - hořák; 7 - mlýnový ventilátor; 8 - sušička; 9 - recirkulační kouřový ventilátor;
 10 - horký vzduch; 11 - studený vzduch; 12 - hasicí prostředek (voda, vodní pára, CO₂); 13 - sušící plyny z ohniště; 14 - surové uhlí; 15 - chladné kouřové plyny

Obrázek 4 - Mlecí okruh s přímým foukáním

Výhody mlecích okruhů s přímým foukáním:

- jednoduchost
- nízké investiční náklady

Nevýhody mlecích okruhů s přímým foukáním:

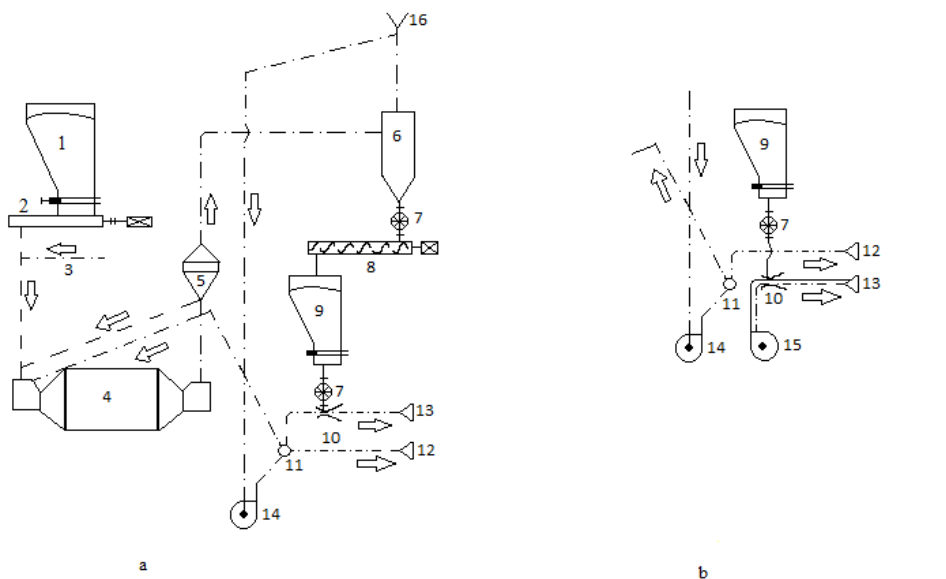
- větší měrná mlecí práce
- eroze mlýnových ventilátorů
- kolísání jemnosti uhlénoho prášku s výkonem kotle
- chudá primární směs při poklesu výkonu kotle

Okruhy jsou použity hlavně při spalování hnědého uhlí. [1]

2.2.2 Mlecí okruh se zásobníkem prášku uzavřený

A- Jednoventilátorový

B - Dvouventilátorový



a - jednoventilátorový, b - dvouventilátorový

1 - zásobník surového uhlí; 2 - podavač surového uhlí; 3 - sušící médium; 4 - mlýn; 5 - třídič; 6 - cyklónový odlučovač prášku;
7 - podavač; 8 - šnekový dopravník; 9 - zásobník prášku; 10 - mísící kus; 11 - rozdělovač brýd; 12 - brýdový hořák; 13 - práškový
hořák; 14 - mlýnový ventilátor; 15 - vzduchový ventilátor; 16 - pojistná membrána

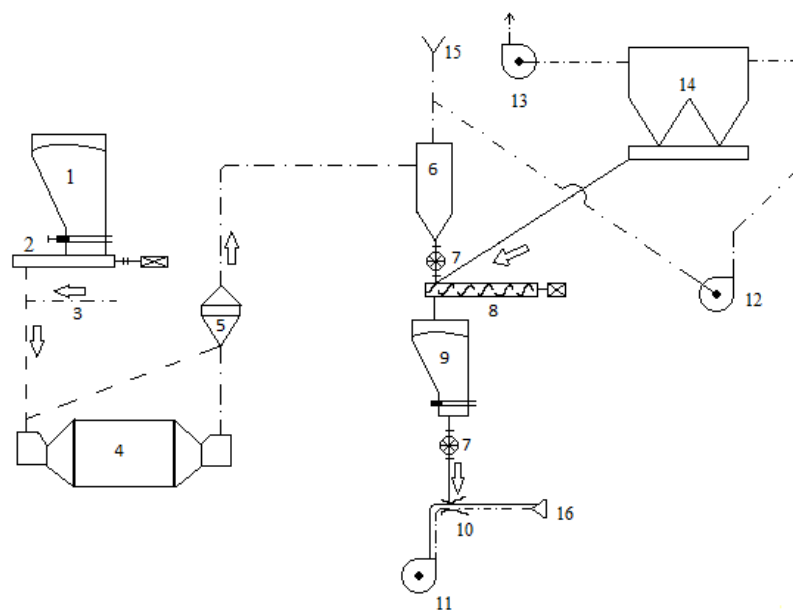
Obrázek 5 - Mlecí okruh se zásobníkem prášku uzavřený

V mlecích okruzích se zásobníkem prášku je surové uhlí dopravováno do mlýna přes sušičku a z něho sušícím médiem do zásobníku uhlénoho prášku přes třídič.

V obou případech, jak jednoventilátorového tak dvouventilátorového, je palivo podáváno do mísícího kusu přes podavač, ve kterém se směšuje s nosným respektive se spalovacím

mediem a k sušení se používá spalin či vzduchu. U uzavřeného mlecího okruhu jsou zaváděny brýdy buď jedním ventilátorovým mlýnem do práškových hořáků a současně do brýdových hořáků (obr. 4), nebo pomocí jednoho ventilátoru jsou zaváděny brýdy do brýdových hořáků a vzduch je dodáván druhým ventilátorem, kterým se palivo dopraví do práškových hořáků. (Obr. 5) [1]

2.2.3 Mlecí okruh se zásobníkem prášku otevřený



1- zásobník surového uhlí; 2 - podavač surového uhlí; 3 - sušící médium; 4 - mlýn; 5 - třídič; 6 - cyklónový odlučovač; 7 - podavač; 8 - šnekový dopravník; 9 - zásobník prášku; 10 - mísičí kus; 11 - vzduchový ventilátor; 12,13 brýdové ventilátory; 14 - odlučovač prášku; 15 - pojistná membrána; 16 - hořák

Obrázek 6 - Mlecí okruh se zásobníkem prášku otevřený

3 Základní prvky mlecích okruhů

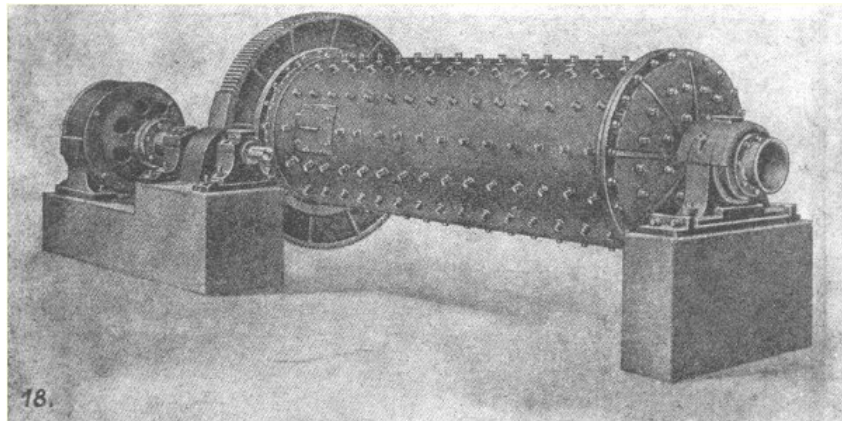
3.1 Mlýny

Rozhodující faktory při výběru typu mlýnu jsou:

- druh uhlí
- vlhkost uhlí
- popelnatost uhlí
- obsah prchavých látek v uhlí
- koncepční a investiční možnosti
- náklady na údržbu a opotřebení mlecích částí

Trubnatý mlýn

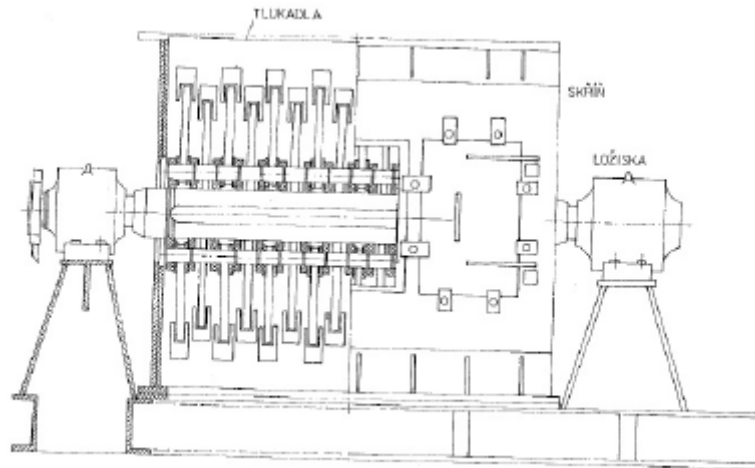
Trubnatý mlýn se užívá kvůli svým dobrým vlastnostem jakožto spolehlivostí či hospodárností, disponuje velkým mlecím výkonem a opotřebení mlecích částí je nízké. Před tímto mlýnem bývá zpravidla umístěna spádová sušička. [4]



Obrázek 7 - Trubnatý mlýn [7]

3.1.1 Tlukadlový mlýn

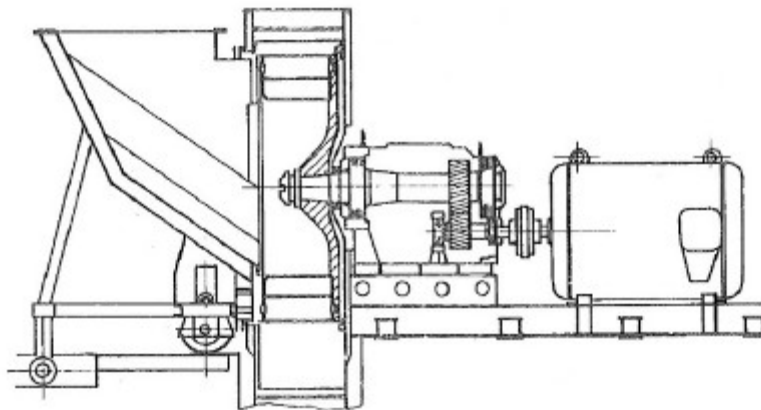
Velkou výhodou tlukadlového mlýna je, že ho lze použít pro všechny typy uhlí (lignit, hnědé i černé uhlí). Tento mlýn mele jednak úderem tlukadel, ale i tlakem v mezeře mezi rotorem a pancéřováním. Obvodová rychlost tlukadel je 60 až 80 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). Tlukadlový mlýn se používá až do vlhkosti 35% pro hnědé uhlí a popelnatosti až do 30%. [4]



Obrázek 8 - Tlukadlový mlýn [4]

3.1.2 Ventilátorový mlýn

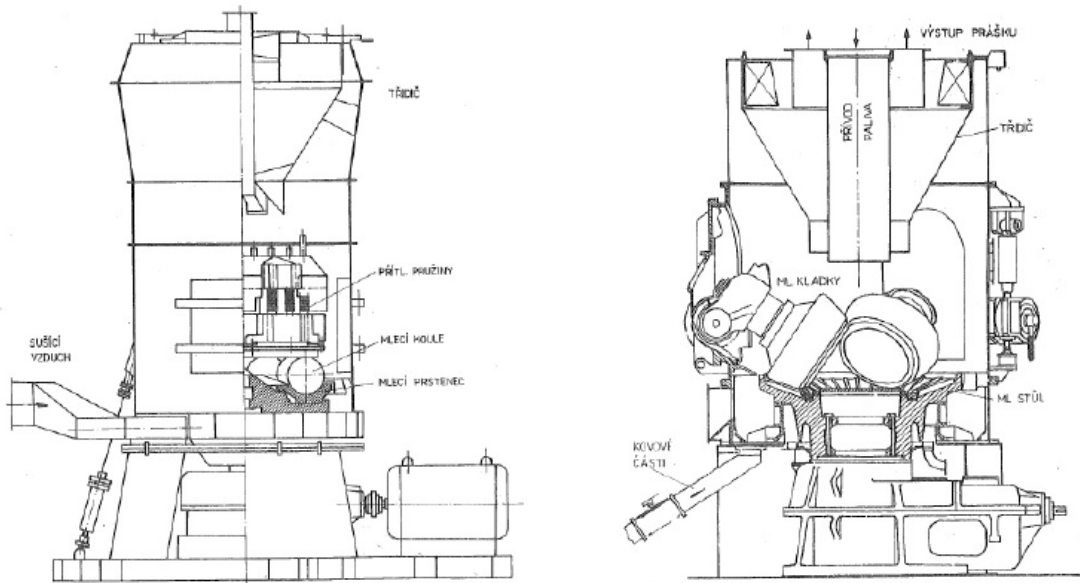
Tento mlýn se používá jako samonasávací pro přímé foukání. Jeho použití je hlavně pro mletí vlhkého uhlí s vlhkostí nad 40% a s dobrou melitelností. Nevýhody jsou, že se tento mlýn nehodí pro mletí černého uhlí, a to z důvodu mechanického obušování mlecích částí, také pro mletí hnědého uhlí s nižším obsahem vody z důvodu přebytku tepla v kouřových plynech odsávaných z konce ohniště a přítomnosti velkého množství inertních plynů, tedy nekvalitní primární směs. Výhodou je jednoduchost a nenáročná obsluha. [4]



Obrázek 9 - Ventilátorový mlýn [4]

3.1.3 Kroužkový a kladkový mlýn

U tohoto typu mlýnu nelze palivo významněji sušit, proto se hodí pro mletí uhlí s nižší vlhkostí do 20%. V kroužkovém mlýně se uhlí mele tak, že propadává mezi ocelové koule valící se v drážce mezi prstenci a u kladkového mlýna je tomu tak, že se kladky odvalují po otáčejícím se talíři. Výhoda je nízká měrná mlecí práce a malý zastavěný prostor. [4]



Obrázek 10 - Kroužkový a kladkový mlýn [4]

Dále jsou základními prvky mlecích okruhů tyto:

2. Zásobníky surového uhlí
3. Zásobníky uhelného prášku
4. Podavače surového uhlí
5. Podavače uhelného prášku

4 Odlučování pevných částic

Odlučování prachu se využívá jak z požadavků na funkci strojů, tak z požadavků hygienických. To jsou zejména tyto:

- snížit prašnost prostředí pod přípustnou míru
- snížit výbušnost prostředí a tím zvýšit bezpečnost práce
- zvýšit účinnost strojů a tím snížit jejich opotřebení
- odloučit cenný prach
- snížit náklady na údržbu a osvětlení
- zajistit správnou funkci technologických zařízení

Odlučováním se snižuje prašnost dvěma způsoby a to:

- primární odlučování (emise), tj. omezením výhozu prachu z průmyslových zdrojů
- sekundární odlučování, tj. čištění vzduchu přiváděného do míst pobytu lidí

4.1 Principy odlučování

Odlučování pevných částic prachu z plynu sestává ze tří fází. První fází se rozumí doprava částic napříč proudem nosného plynu k plochám odlučování. Druhá fáze zajišťuje sesouvání částic po odlučovacích plochách, anebo splavování částic přídavnou tekutinou. Vývod prachu, je třetí fází odlučování a tento je ve formě suchém nebo formě kalu z odlučovacího zařízení jímán do zásobníku či nádrže.

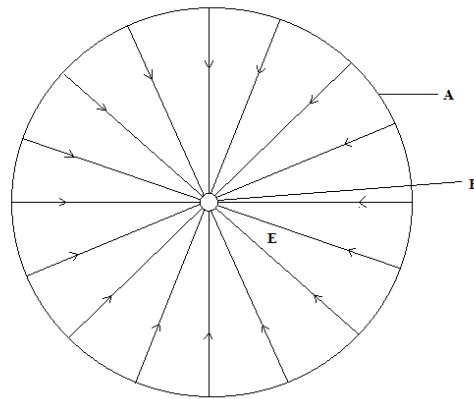
V některých případech je odlučovací pochod v první fázi ukončen, a to když jsou částice prachu vázány na odlučovacích plochách např. adhezí, olejovým filtrem apod. Další dvě fáze se nahrazují mechanickou výměnou odlučovacích ploch, to je případ vložkových filtrů.

Pro nás je však nejvýznamnější první fáze odlučování prachu, první fáze se odlučování využívá některé principy založené na základních fyzikálních vlastnostech prachu. Jsou to principy zejména elektrostatické, setrvačné, difuzní a gravitační. [2]

4.1.1 Elektrostatický princip

Protéká-li plyn kanálem, ve kterém se vyskytuje elektrické pole se siločárami napříč proudem, dochází na stěnách kanálu k odlučování nabitých částic prachu (tyto částice získají elektrický náboj přirozeně např. drcením, třením o stěny potrubí, nebo umělým způsobem např. radioaktivním zářením, nebo v elektrickém poli se zdrojem iontů).

V kanálu kruhového průřezu, kde je v ose kanálu drátová elektroda (obr. 10) ,vzniká elektrické pole po připojení elektrického napětí mezi drát a kanál. Polarita kanálu bývá většinou kladná. [2]



A - sběrací elektroda, B - drátová elektroda

Obrázek 11 - Siločáry mezi koncentrickými elektrodami[2]

Intenzitu elektrického pole E udává hustota siločar procházející osou. Intenzitu pole v závislosti na odlehlosti r od osy vyjadřuje vztah, který plyne ze základních rovnic elektrostatiky.

$$E = \frac{U}{r(\ln r_e - \ln r_i)} \quad (4.1)$$

kde: U - napětí mezi elektrodami
 r_e - poloměr sběrací elektrody (kanálu)
 r_i - poloměr vnitřní (drátové) elektrody

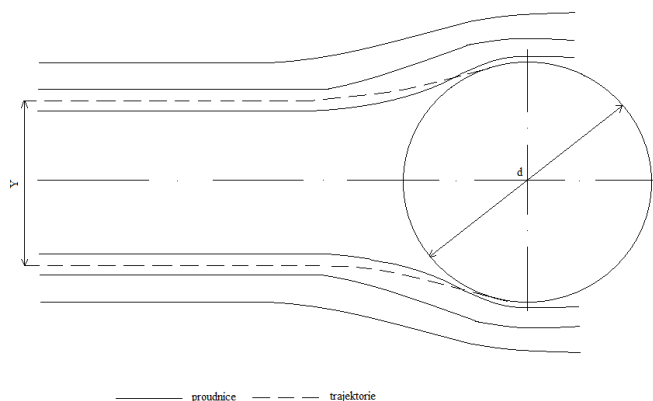
V blízkosti drátové elektrody (záporná polarita), je elektrické namáhání plynu nejvyšší, což je příčinou vzniku výboje označovaného jako koróna, tam je plyn ionizován a ionty záporné polarity se pod vlivem elektrického pole pohybují směrem ke sběrací elektrodě (proti smyslu pole elektrického, které směřuje k ose). Tak vznikne prostorový náboj mezi elektrodami a změní se rozložení E . Částice prachu, které jsou unášeny plynem protékajícím kanálem, získají v elektrickém poli náboj. Polarita tohoto náboje je záporná a prach je dopravován účinkem pole na sběrací elektrodu, kde se zachycuje. [2]

4.1.2 Setrvačný princip

Při obtékání těles dojde k zakřivení proudnic a částice prachu, které jsou unášeny plynem, mohou narážet na obtékané těleso vlivem své setrvačnosti a tudíž být odloučeny. Proudnice plynu se liší od trajektorie částic prachu tím, čím větší je hmotnost prachových částic (Obr. 11). Tato problematika se řeší pomocí pohybové rovnice. [2]

$$\tau_s \frac{du}{d\tau} = v - u + u_s \quad (4.2)$$

kde: τ_s - doba relaxace částice
 v - rychlost prostředí
 u - rychlost částice
 u_s - ustálená rychlost $u_s = \tau_s \cdot g$ (4.3)



Obrázek 12 - Trajektorie částic prachu při obtékání válce

4.1.3 Difúzní princip

Vlivem molekulární difúze jsou na obtékaných tělesech odlučovány submikronové částice prachu. Pomocí rovnice difúze, lze vyjádřit tok částic na povrchu těles, avšak podmínkou je nulová koncentrace obtékaného tělesa. [2]

4.2 Obecné vlastnosti odlučovačů

Mezi základní parametry odlučovačů se řadí: tlaková ztráta, průtočné množství plynu a odlučivost.

Základními parametry čištěného plynu jsou: koncentrace a zrnitost prachu, složení a stav plynu. Tyto parametry nám slouží k výběru správného typu odlučovače a pomáhá nám zjistit ekonomické ukazatele budoucího provozu.

Odlučivost nám udává míru účinnosti odlučovacího zařízení a jeho celková velikost η_c , je definována jako poměr:

$$\eta_c = \frac{M_z}{M_p} = 1 - \frac{M_v}{M_p} = \frac{M_z}{M_z + M_p} \quad (4.4)$$

kde: M_z - množství prachu zachyceného v zařízení

M_p - množství prachu přivedeného

M_v - množství prachu vystupujícího ze zařízení

Celková odlučivost je závislá na zrnitosti prachu a dále na parametrech odlučovacího zařízení. [2]

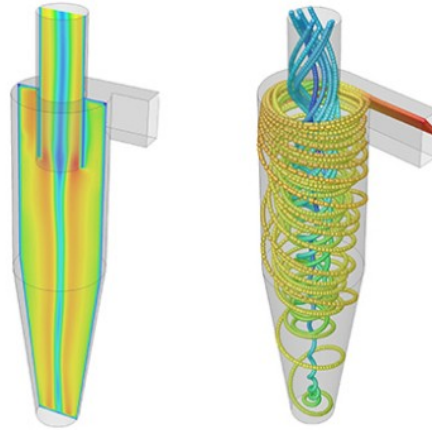
4.3 Rozdělení odlučovačů:

Odlučovače se podle první fáze odlučování dělí do tří základních skupin: odlučovače mechanické, elektrické odlučovače a filtry. Tyto jednotlivé skupiny se charakterizují většinou jedním nebo dvěma principy odlučování. Mechanické odlučovače využívají principu setrvačného a také gravitačního avšak v menší míře. Filtry charakterizuje princip setrvačný a difúzní princip a odlučovače elektrické charakterizují principy elektrostatický a gravitační. Další dělení je podle druhé fáze odlučování, a to je rozdělení na mokré a suché odlučovače. Účel zařízení je rozdělen na primární (čištění plynů vypouštěných do volné atmosféry) a sekundární (čištění vzduchu vypouštěných do volné atmosféry). [2]

4.4 Suché odlučovače mechanické

Tyto odlučovače využívají principu setrvačného, či gravitačního, dále se rozděluje na vírové, setrvačné, rotační a tíhové

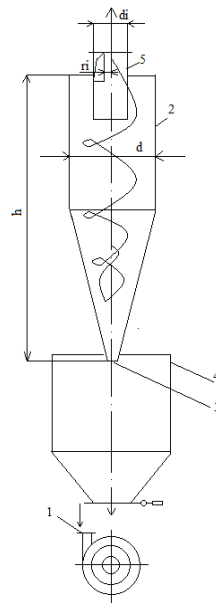
Typickými vlastnostmi těchto odlučovačů jsou malé pořizovací náklady, jednoduchá konstrukce, nízká odlučivost, nízká spotřeba energie, nízká tlaková ztráta. Tlaková ztráta se určí součinitelem ξ , který se definuje jako součinitel vřazeného odporu a závisí na dynamickém tlaku charakteristické rychlosti. [2]



Obrázek 13 - Suchý mechanický odlučovač [8]

4.4.1 Vírové odlučovače suché

Tyto odlučovače se označují cyklóny a fungují tak, že spaliny putují do odstředivé komory, která je složena z kuželové a válcové části. Tam jsou částice prachu odlučovány vírovým pohybem k vnějším stěnám a proudem plynu jsou částice vynášeny výmetným otvorem do výsypky. Vyčištěný plyn je dále odváděn výstupní trubkou. Výhodou tohoto odlučovače je malý obestavěný prostor a nevýhodou menší životnost při velké abrazi prachu. [9]



1 - odstředivá komora; 2 - válcová a kuželová část; 3 - výsypka; 4 - výstupní trubka; 5 - vyčištěný plyn

Obrázek 14 - Cyklón

Tabulka 1 - Parametry vírového odlučovače

Mez odlučivosti (μm)	Měrná spotřeba energie (kWh/m ³)	Tlaková ztráta (kPa)
2 - 10	0,15 - 0,3 / 1000	1,2 - 1,5

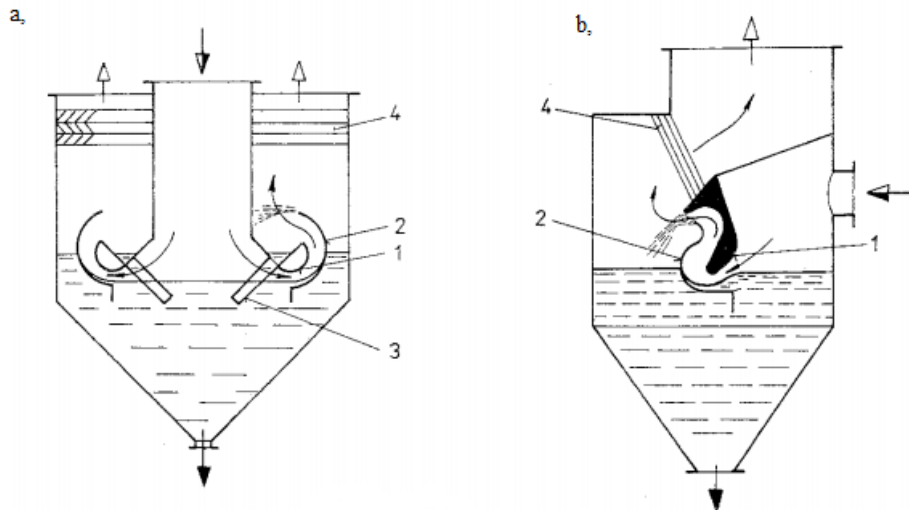
4.5 Mokrý odlučovač mechanický

Tyto odlučovače využívají setrvačného principu odlučování, přičemž plochy odlučování jsou tvořeny roztržitou kapalinou nebo stěnami, které jsou zkrápněny tekutinou či hladinou tekutiny. Když porovnáme suché a mokré odlučovače mechanické, vyznačují se mokré odlučovače vyšší odlučivostí při srovnatelné tlakové ztrátě. Toto je způsobeno především svodem částic z odlučovacích ploch kapalinou, které je dokonalejší. Kapalina zabráňuje stržení odloučených částic a jejich únos proudem plynu.

Typickými vlastnostmi pro mokré odlučovače mechanické jsou, že lepivost a abrazivost částic nemá vliv na správnou funkčnost odlučovače, kondenzace čištěného plynu podporuje odlučivost velmi jemných částic a nenarušuje odlučovací pochody, umožňují snadnou likvidaci zachyceného prachu, mají minimální riziko nebezpečí exploze, některé plyny u nich způsobují vyšší nebezpečí koroze, při odlučování cementujících prachů nebo prachů které napomáhají k vytváření krystalických nánosů mají nižší spolehlivost, kalové hospodářství je vyžadováno a spotřebovávají vodu při recirkulaci. [2]

4.5.1 Setrvačné odlučovače mokré

K setrvačnému odlučování se využívá zkrápněných tělísek, či tyčí nejrůznějších tvarů. Při uspořádání několika řad odlučovacích ploch za sebou, dosáhneme zvýšení frakční odlučivosti pro větší částice, avšak pro jemnější částice vyšší odlučivosti nedosáhneme. Dále při zvýšení počtu řad, tyčí nebo zvětšováním hloubky zkrápněné vrstvy tlaková ztráta narůstá. Proto pro zadané podmínky existuje optimální hloubka nebo počet řad. Setrvačné odlučovače se dělí na odlučovače se skrápnými překážky, se skrápnou pohyblivou vrstvou, se skrápnou pevnou vrstvou a hladinové odlučovače. [2]



a - Hladinový odlučovač s kolmým přívodem plynu, b - Hladinový odlučovač s tečným přívodem plynu
1 - lopatky; 2 - vírové trubice; 3 - vířník; 4 - trysky

Obrázek 15 - Hladinový odlučovač s kolmým a tečným přívodem plynu[10]

Tabulka 2 - Parametry setrvačného odlučovače

Mez odlučivosti (μm)	Měrná spotřeba energie (kWh/m ³)	Tlaková ztráta (kPa)	Měrná spotřeba vody (l/m ³)
1	0,41/1000*	1,5	0,03

* - Hodnota dopočtená dle vzorce
$$E_N = \frac{\Delta p \cdot 1000}{3,6} = 0,41 \text{ kWh} / \text{m}^3 \quad (4.4)$$

4.5.2 Vírové odlučovače

V těchto odlučovačích se využívá principu užitého v cyklónech. Rozdílnými faktory mezi suchými a mokrymi vírovými články jsou hlavně ve způsobu odvodu zachycených částic, dále již méně ve způsobu, jakým se vírové proudění vyvolává. Odstředivé komory se u mokrych typů odlučovačů užívají zpravidla válcové se souprůdným i protiprůdným přívodem vody. Využití malé odstředivé komory neovlivňují faktory jako abraze, lepivost prachu atd., je proto účelné zvýšit odlučivost užitím menšího průměru odstředivé komory. [2]

Tabulka 3 - Parametry vírového odlučovače

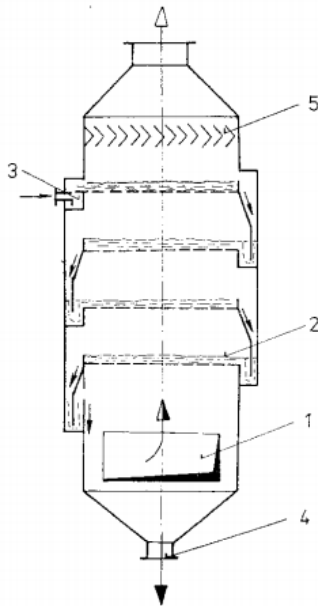
Mez odlučivosti (μm)	Měrná spotřeba energie (kWh/m ³)	Tlaková ztráta (kPa)	Měrná spotřeba vody (l/m ³)
1,5	0,27/1000*	>1	0,2 - 0,4

* - Hodnota dopočtená dle vzorce
$$E_N = \frac{\Delta p \cdot 1000}{3,6} = 0,27 \text{ kWh} / \text{m}^3 \quad (4.5)$$

4.5.3 Pěnové odlučovače

Do nádoby naplněné vodou je přiváděn plyn, který vytvoří systém dvou fází. Protékající vzduch je zde ve formě bublin, cirkulace plynu v bublinách vyvolává odlučování a to tak, že se unášející částice dostávají na povrch bublin. Pěna, která vzniká při určitém nastavení, daném přívodem vody, plynu a perforací dna má malou hmotnost a maximální odlučivost.

Plyn se přivádí otvorem 1 ve spodní části válcové a poté protéká několika patry odlučovače 2. Přívod kapaliny je řešen přes nátokovou komoru 3 na horní rošt a u tohoto uspořádání přetéká na spodní patro. Kal je odveden hrdlem 4. Odlučovač kapek 5, který je umístěn v horní části, brání úniku kapaliny. [10]



1 - otvor ve spodní části pro průtok plynu; 2 - nátoková komora; 3 - horní rošt; 4 - hrdlo pro odvod kalu; 5 - odlučovač kapek

Obrázek 16 - Pěnový odlučovač[10]

Tabulka 4 - Parametry pěnového odlučovače

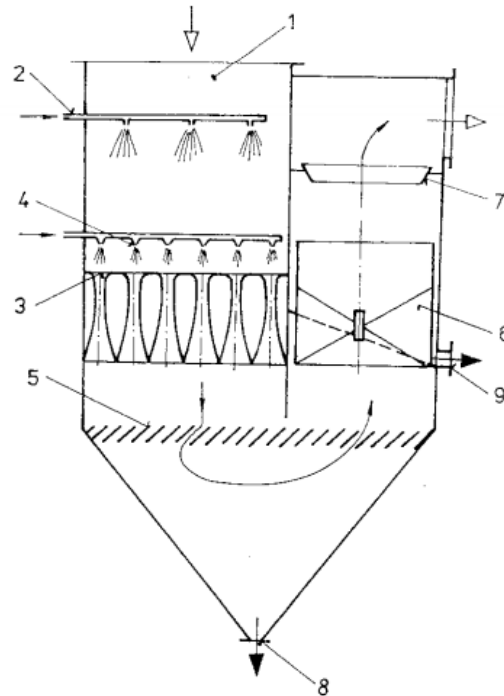
Mez odlučivosti (μm)	Měrná spotřeba energie (kWh/m^3)	Tlaková ztráta (kPa)	Měrná spotřeba vody (l/m^3)
1,5 (na jedno patro)	0,083/1000*	0,3	0,3

* - Hodnota dopočtená dle vzorce
$$E_N = \frac{\Delta p \cdot 1000}{3,6} = 0,083 \text{ kWh} / \text{m}^3 \quad (4.6)$$

4.5.4 Proudové odlučovače

Tyto odlučovače dosahují zcela nejvyšší odlučivosti, ale na úkor nejvyšší tlakové ztráty. Ve Venturiho trubici lze mezi kapkami vody a čistěným plynem dosáhnout velmi vysoké relativní rychlosti. Do Venturiho trubice je voda přiváděna buďto tryskami, nebo nátokem na stěny trubice, z nichž je voda strhávána dynamickým účinkem proudu plynu. Tento odlučovač

se nehodí pro vysoké teploty, jelikož odlučivost klesne při odpařování kapek na výstupu z proudových trubic. Kvůli této skutečnosti se předrazuje jiný mokrý odlučovač, a to buďto pěnový nebo sprchový, který nám zajišťuje ochlazení a navlhčení plynů před tím, než pronikne do proudového odlučovače. Dále disponují malým obestavěným prostorem [2]



1 - vstup čištěného plynu; 2 - trysky k ochlazení plynu; 3 - Venturiho trubice; 4 - trysky nad ústím každé trubice; 5 - žaluziový odlučovač kapek; 6 - vírník; 7 - kuželová vložka; 8 - otvor pro odvod kalu ve spodní části; 9 - otvor pro odvod kalu v boční části

Obrázek 17 - Proudový vícečlánkový odlučovač[10]

Tabulka 5 - Parametry proudového odlučovače

Mez odlučivosti (μm)	Měrná spotřeba energie (kWh/m^3)	Tlaková ztráta (kPa)	Měrná spotřeba vody (l/m^3)
0,1 - 0,9	5/1000	5-10	0,7 - 2

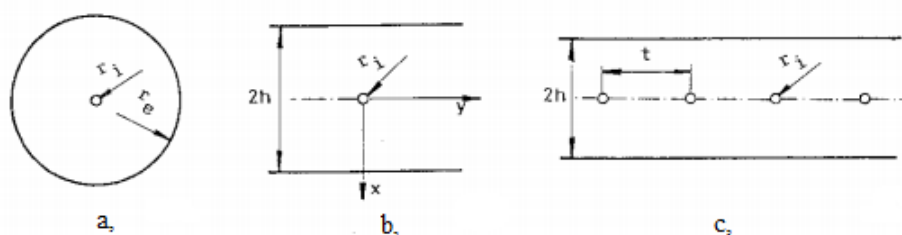
4.6 Elektrické odlučovače

Elektrické odlučovače využívají především elektrostatického principu a dále kvůli malým rychlostem plynu jako druhořadého gravitačního principu. Typické vlastnosti elektrostatických odlučovačů jsou:

- disponují vysokou odlučivostí i pro jemné částice
- mají nízkou měrnou spotřebu energie
- malá vztlaková ztráta
- citlivost na abrazi je menší
- vhodné pro použití při vysokých teplotách plynů
- velký obestavěný prostor
- citlivost při změně složení odlučovaných částic a vstupních parametrů nosného plynu

- . vysoké investiční náklady
- jsou nevhodné pro odlučování prachu s vysokým specifickým odporem

Elektrické odlučovače se rozdělují na odlučovače komorové a trubové. U odlučovačů komorových jsou elektrody uspořádány tak, jak je naznačeno na Obr. 17c a dále se odlučovač skládá z více paralelně řazených komor. Trubové odlučovače sestávají z odlučovacími prvky, které disponují sběrací elektrodou, a ta je v provedení buďto voštinovou, nebo osově symetrickou válcovou, v jejichž ose se nachází elektroda ionizační (vysokonapěťová) Obr 17 a. Dále se podle průtoku plynu dělí elektrické odlučovače na horizontální a vertikální. Horizontální jsou v provedení nejčastěji jako komorové a vertikální trubové. [2]



a - trubové uspořádání, b - deskový ionizátor, c - komorové uspořádání

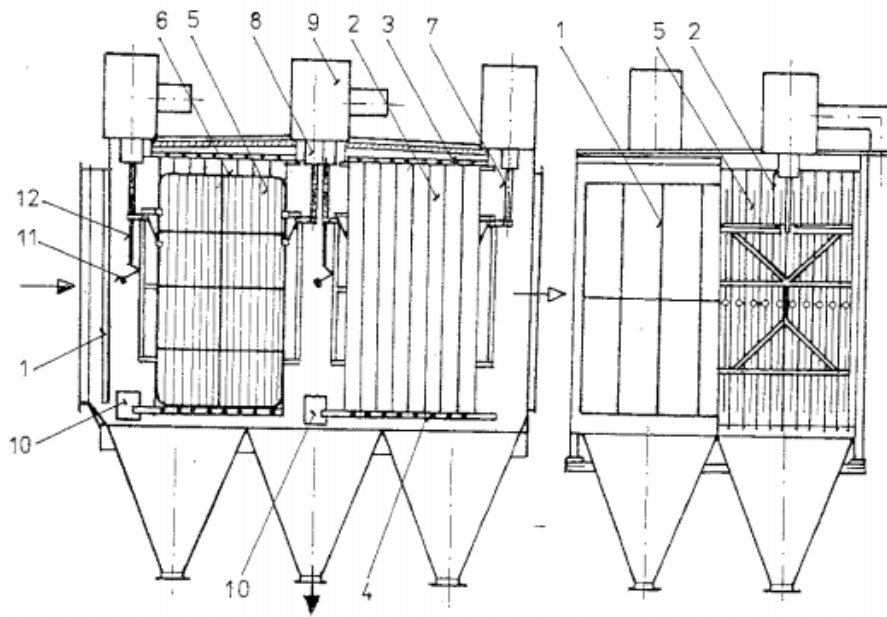
Obrázek 18 - Soustavy uspořádání elektrod [11]

4.6.1 Elektrický odlučovač komorový

Funkce tohoto odlučovače je, že vysoké napětí přiváděné na drátové elektrody vyvolává ionizaci plynu a nabíjení částic prachu v prostoru komor, v prostoru komor protéká čištěný plyn. Částice se nabíjí jak kladně, tak i záporně. Větší část částic se nabíjí záporně a jejich odlučovací rychlost směřuje ke sběracím elektrodám, na kterých vytvářejí vrstvu a postupně ztrácejí svůj náboj a tím se zajišťuje soudržnost vrstvy. Posléze způsobí oklepávací zařízení, které způsobuje to, že se naruší adheze prachu na elektrodě a částice padají do výsypky ve shlucích. Podle hrubých a jemným frakci částic prachu se zachycují v jednotlivých výsypkách ve směru proudění.

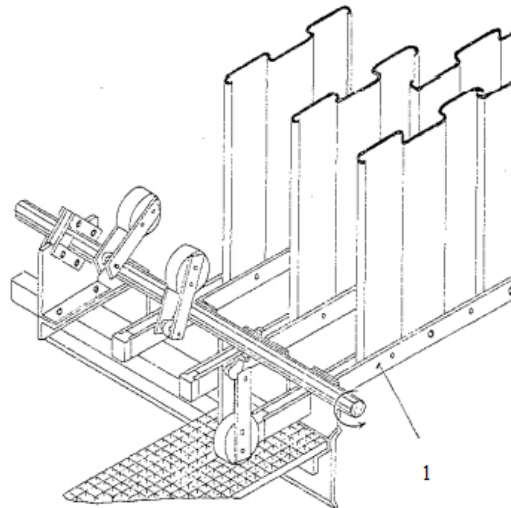
Kladně nabitě částice, jichž je podíl podstatně menší než částic nabitých záporně, se odlučují na ionizační elektrodě, proto musí mít i tyto elektrody oklepávací zařízení.

Pro lepší účinnost odlučovače, a to v případech, kdy specifický odpor částic má odpor vyšší než $10^8 \Omega \cdot m$, jsou možné dva způsoby pro zlepšení funkce. První způsob je snížit proudovou hustotu na sběracích elektrodách tak, že se zvýší plocha elektrod. Druhým způsobem je úprava plynu. Toho se docílí vlhčením mokřými sprchovými odlučovacími tzv. stabilizátory nebo přidáním aditiv do spalin, které snižují povrchový odpor částic ve vrstvě na elektrodách. [2]



1 - skříň odlučovače; 2 - usazovací elektrody; 3 - závěsný trámec; 4 - oklepávací trámec; 5 - vysokonapěťové elektrody; 6 - trubkový rám; 7 - závěsné trubky; 8 - ochranná trubka; 9 - budky; 10 - oklepávací mechanismus usazovacích elektrod; 11 - oklepávací kladiva; 12 - táhla

Obrázek 19 - Schéma suchého horizontálního komorového elektrického odlučovače[11]



1 - oklepávací trámec

Obrázek 20 - Oklepávací trámce a oklepávání přepadávajícími kladivy[11]

Tabulka 6 - Parametry elektrického odlučovače komorového

Mez odlučivosti (μm)	Měrná spotřeba energie (kWh/m^3)	Tlaková ztráta (kPa)
-	0,06 - 0,25/1000	5-10

5 Úprava vody

Voda se předem upravuje z důvodu dosažení takových provozních podmínek, které snižují rychlost koroze technologických zařízení na minimum. A také z důvodu minimálního tvoření usazenin. Na vnitřních plochách zařízení se mohou usazeniny vytvářet z příměsí pocházejících buďto z vnějších nebo vnitřních zdrojů. Na vlastnostech vody, které jsou odlišné v jednotlivých sekcích pracovního okruhu, závisí účinky příměsí. Výrazně se projeví změna teploty avšak změna tlaků má vliv malý. [1]

5.1 Požadavky na složení napájecí a kotelní vody

Požadavky na složení napájecí a kotelní vody jsou různorodé a závisí na mnoha faktorech, jako jsou např. velikost a konstrukce kotle, palivo, tepelné zatížení teplosměnných ploch atd.

Napájecí voda je dopravována do kotle, přes ohříváky vody napáječkami. Nejvyšší výskyt koroze způsobuje nesprávná funkce odplynění a při nedostatečném změkčení přídavné vody se projevují také případy úsad. Usazeniny mědi a železa vznikají ve výparníku při funkci odparu a zejména při velkých tepelných tocích, a to větších než $230 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Velká koncentrace NaOH v kotelní vodě usnadňuje vzrůst koncentrace iontů OH^- , a to má za následek louhové křehnutí oceli.

Požadavky na parametry vody jsou uvedeny v Tab. 7. Voda nesmí mít pH nižší než 7 a dále nesmí být znečištěná odpadními látkami, jako jsou např. dehty, fenoly, oleje, nafta, celulóza atd., dále musí být čirá a bezbarvá. [1]

Tabulka 7 - Napájecí voda parních kotlů, odparek a měničů páry

Druh kotle		Tvrdość ($\mu \cdot \text{val} \cdot \text{l}^{-2}$)	Koncentrace kyslíku ($\mu \cdot \text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Koncentrace CO_2 ($\text{m} \cdot \text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Koncentrace železa ($\text{m} \cdot \text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Koncentrace mědi ($\text{m} \cdot \text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Měrná elektrická vodivost ** ($\mu \cdot \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	Koncentrace SiO_2 ($\mu \cdot \text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Oxidovatelnost manganistanem ($\text{m} \cdot \text{g} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{l}^{-2}$)	
Kotle do 0,15 MPa	$q < 23 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$	100	500							
	$q \geq 23 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$	30	100							
Kotle skříňové a válcové $0,15 < P \leq 2,5 \text{ MPa}$		30	50	45					10	
Kotle vodotrubné	Bubnové	$0,15 < P \leq 2,5 \text{ MPa}$	30	30	25*	200*			10	
		$2,5 < P < 6,5 \text{ MPa}$	10	20	5*	50*			5	
		6,5 MPa	5	20	5	30	10		5	
		9,6 MPa	3	10	1	20	5		3	
		13,9 MPa	2	10	0,5	20	5		2	
		17,8 MPa	1	10	0,5	20	5		2	
		$p < 6,5 \text{ MPa}$	3	20	1*	20*	5*	0,5	20	2
		$p \geq 6,5 \text{ MPa}$	0,5	10	0,5	20	5	0,3	20	1
Odparky		30	50	10*					25	
Měníče páry		30	50						25	

* - doporučené hodnoty

** - ve vzorku o teplotě 25°C

6 Konec veřejné části diplomové práce

V praktické části mé diplomové práce se zabývám vyhodnocením měření, která vznikla v rámci garančních testů několika bloků uhelných elektráren. Tato data byla získána od zhotovitele garančních testů se souhlasem dodavatele technologií výrobního bloku pod podmínkou nezveřejňování výsledků. Z toho důvodu je tato diplomová práce rozdělena na veřejnou a neveřejnou část.

10 Literatura

- [1] KADRNOŽKA, J.: *Teplné elektrárny a teplárny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [2] SMOLÍK, J.: *Technika prostředí*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [3] ŠTORCH, O.: *Čištění průmyslových plynů a exhalací odlučovači*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974.
- [4] SKÁLA, Z.: *Palivové hospodářství*. 1. vyd. Brno: VUT, 1987
- [5] portal.chmi.cz: *Soubor s denními daty od roku 1961 do současnosti* [online]. 2017 [cit. 2017-4-1]. Dostupný z WWW: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data#>
- [6] casopisstavebnictvi.cz: *Program obnovy uhelných zdrojů v ČEZ* [online]. 2017 [cit. 2016-12-10]. Dostupný z WWW: http://www.casopisstavebnictvi.cz/program-obnovy-uhelnych-zdroju-v-cez_A182_I04_07
- [7] hornictvi.info.cz: *Mlýny* [online]. 2017 [cit. 2016-15-11]. Dostupný z WWW: http://www.hornictvi.info/prirucka/up_rudy/03.htm
- [8] depuro.cz: *Suché mechanické odlučovače* [online]. 2017 [cit. 2017-5-1]. Dostupný z WWW: <http://www.depuro.cz/filtrace.html>
- [9] homel.vsb.cz: *Suché mechanické odlučovače* [online]. 2017 [cit. 2017-8-2]. Dostupný z WWW: http://homel.vsb.cz/~lih90/_soubory/oo/05-01.pdf
- [10]] homel.vsb.cz: *Mokrý mechanické odlučovače* [online]. 2017 [cit. 2017-8-2]. Dostupný z WWW: http://homel.vsb.cz/~lih90/_soubory/oo/06-01.pdf
- [11] homel.vsb.cz: *Elektrické filtry* [online]. 2017 [cit. 2017-10-2]. Dostupný z WWW: http://homel.vsb.cz/~lih90/_soubory/oo/07-01.pdf
- [12] cez.cz: *Podíl zdrojů elektřiny použitých pro výrobu elektřiny v roce 2016* [online]. 2017 [cit. 2017-1-4]. Dostupný z WWW: <https://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/informace-dle-energetickeho-zakona-c458-2000-sb/2016/podil-zdroju-elektřiny-pouzitych-pro-vyrobu-elektřiny-v-roce-2016.html>
- [13] Závěrečné zprávy z Garančních testů, Katedra energetiky a Centrum ENET, VŠB-TU Ostrava, 2010-2016