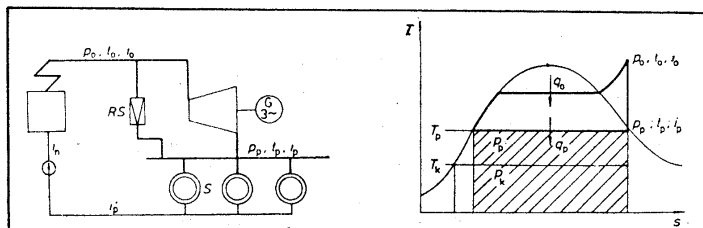


1 PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V TEPELNÉM OBĚHU TEPLÁRNY

V kondenzační elektrárně se značná část tepla pracovní páry odvádí v kondenzátoru do okolí. Protože pára vystupující z turbíny (vstupující do kondenzátoru) má velmi nízkou teplotu (např. 32°C) a z technického hlediska je její teplo obtížně využitelné, považuje se toto množství tepla za ztracené.

Ukončí-li se expanze páry v turbíně při vyšším tlaku, a tedy i při vyšší teplotě páry, lze využít vystupující páru z turbíny k dodávce tepla pro vytápění nebo pro technologické účely. Ukončením expanze při vyšším tlaku se sice sníží výroba elektrické energie, ale teplo vystupující páry z turbíny je technicky využitelné. Vyrábí se tedy současně elektrická energie i teplo. Pro zařízení s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla se zavedl název teplárna, protože převažuje výroba tepla nad výrobou elektrické energie. Nejjednodušším typem energetické centrály s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla je teplárna s protitlakovou turbínou, jejíž schéma již bylo vysvětleno při první přednášce.



Přestože znázornění tepelného oběhu teplárny v T-s diagramu je velmi podobné oběhu parní elektrárny, je zde možné vysledovat některé rozdíly. Především je třeba konstatovat, že teplárny se navrhují na nižší parametry páry, což souvisí s jejich menším výkonem a také s odlišným typem použité parní turbíny, která jen výjimečně využívá přehřívání páry. Obvyklé teplárenské parametry páry tedy jsou :

- nízké parametry pro malé výkony 1,5 až 5 MWe 350°C / 2,5 MPa
- střední parametry pro výkony 5 až 30 MWe 400 °C / 4 MPa až 450°C / 6 MPa
- vysoké parametry pro velké výkony nad 30 MWe 500 °C / 7,5 MPa až 540°C / 9,5 MPa

Volba parametrů významným způsobem ovlivňuje dosažitelnou elektrickou účinnost teplárny, což je podíl elektrického výkonu ku příkonu tepla v palivu, která s rostoucími parametry páry stoupá. Jinými slovy při požití páry s vyššími parametry lze vyrobit větší podíl elektřiny ze stejného množství paliva.

Teplárenské kotle - často se též používá název průmyslové kotle - jakoby tvořily zvláštní kategorii kotlů ve srovnání s kotli elektrárenskými. Je třeba říci, že se jedná o jakési přetrvávání dřívějšího tradičního dělení kotlů, které již dnes není opodstatněné, neboť z hlediska návrhu a konstrukce není zásadního rozdílu mezi kotli teplárenskými (průmyslovými) a elektrárenskými kotli srovnatelných výkonů. Odlišné však jsou zadávací parametry a provozní podmínky (např. regulační rozsah, počet najíždění, parametry páry a napájecí vody, atd.).

Za charakteristické pro teplárenské (průmyslové) kotle lze považovat:

- většinou nižší teplotu napájecí vody, v řadě případů je kotel napájen vodou o teplotě 105°C (parametr pro odplynění napájecí vody)
- nižší parametry páry na výstupu z kotle
- nižší jednotkový parní výkon kotlů. Většinou má teplárna více kotlů o nižším výkonu. Souvisí to s nutností zajistit spolehlivou dodávku tepla pro komunální sféru (při výpadku není většinou náhradní dodávka tepla) při značně proměnlivém odběru tepla.
- většinou je připojeno více kotlů na společný sběrný parovod
- u kotle není přehřívák páry. Tento se používá jen ve zvláštních případech, např. při rozšíření staré teplárny o nový tepelný zdroj s optimalizovanými parametry nebo se zvýšeným podílem výroby el. energie.
- předpokládá se časté odstavování (i denně) kotle. (zvýšené nízkocyklické namáhání tlakového systému kotle).
- napájecí vodu kotle tvoří z převážné části vratný kondenzát doplněný o upravenou napájecí vodu jako náhradu za ztráty kondenzátu (nebo za spotřebovanou technologickou páru)
- protože teplárny jsou většinou součástí městských aglomerací, musí být u kotlů minimalizován negativní dopad výroby energie i na bezprostřední okolí.

Většina našich parních tepláren je provozována na tuhá paliva. Vedle uhlí se začíná ve stále větší míře uplatňovat také biomasa nebo alternativní paliva. Teplárenské kotle mohou být řešeny jako

- uhelné práškové nebo s cirkulující fluidní vrstvou pro velké výkony – koncepčně se neliší od kotlů elektrárenských
- roštové nebo s bublinkující (stacionární) fluidní vrstvou pro malé a střední výkony

1.1 Kotle roštové

Slouží ke spalování kusových paliv ve vrstvě. Základní části roštového ohniště jsou patrné z obr. 1-1. Používají se od nejmenších výkonů do cca 50 MW. V současné době se nové roštové kotle na uhlí téměř nestaví, v provozu je však velké množství starších kotlů. Nové roštové kotle se staví pro spalování zejména biomasy (dřevo, sláma) a dále na spalování domácích a průmyslových odpadů.

obr. 1-1 Schéma roštového ohniště

Ohniště 1 je ohraničeno roštem 2, přední a zadní klenbou 6 a 7 a stěnami ohniště. Uhlí se na rošt dostává ze zásobníku uhlí 3 přes hradítko výšky paliva na rošt 4. Pevný zbytek - škvára odchází přes škvárový jízec 5 do škvárové výsypky. Kotle se vyznačují poměrně velkým množstvím škváry (70 až 80 % z A').

Spalování u roštových ohnišť probíhá jednak ve vrstvě na roštu, jednak v prostoru nad vrstvou paliva. Podíl hoření nad vrstvou paliva je tím větší, čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny. Z tohoto pohledu rozeznáváme dvě základní konstrukční koncepce, které jsou patrné z obr. 1-2:

- a) roštové ohniště s jedním ohniskem hoření,
b) roštové ohniště s dvěma ohnisky hoření.

obr. 1-2 Základní koncepce roštových ohnišť

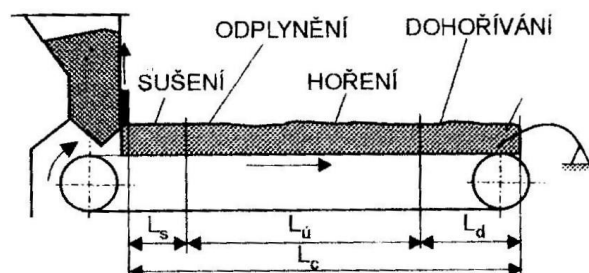
Ohniště typu a) jsou vhodná pro pevná paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny. Ohniště jsou nižší (h_o) oproti typu b), který je vhodný pro paliva s větším obsahem prchavé hořlaviny. Tato ohniště bývají seškrcená, aby při delším plameni bylo zajištěno promísení prchavé hořlaviny se vzduchem. Tomu se napomáhá přivedením sekundárního vzduchu nad rošt. Jeho podíl je tím větší, čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny. U jakostních černých uhlí se někdy vystačí jen s primárním spalovacím vzduchem pod rošt. Hnědá uhlí, biomasa a odpady vyžadují sekundární vzduch.

Základní součástí roštových ohnišť je rošt, mající tyto funkce:

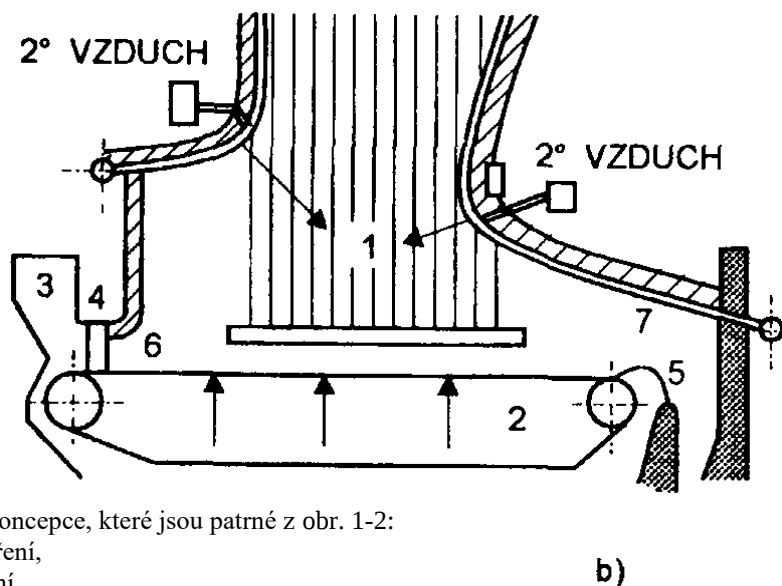
- podpírá kusové palivo a umožňuje vytvoření vrstvy požadované tloušťky a prodyšnosti,
- umožňuje postupné vysušení paliva, jeho zahřátí na zápalnou teplotu a hoření,
- zajišťuje přívod spalovacího vzduchu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu,
- zajišťuje shromažďování a odvod tuhých zbytků po spálení z ohniště,
- umožňuje regulaci výkonu ohniště a tím i regulaci zatížení kotle.

Palivo na roštu prochází těmito charakteristickými fázemi - obr. 1-3:

- sušení, během něhož se uhlí ohřívá a vypuzuje se z něho povrchová a hygroskopická voda,
- odplyňování, které probíhá intenzivně při ohřátí nad 250 °C,
- hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny,
- dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků.

obr. 1-3 Účinná (L_u) a celková (L_c) plocha roštu L_s - sušení, L_d - dohořívání

Maximální teploty v ohništi roštových kotlů jsou 1350 - 1450 °C podle druhu uhlí. Z celkové roštové plochy slouží k uvolňování tepla z paliva jen tzv. účinná plocha roštu (viz obr. 1-3). Zbývající část plochy roštu je pomocná, neboť slouží k přípravě paliva pro zapálení a k dohořívání. Naší snahou je zajistit co možná nejvyšší poměr účinné plochy roštu k celkové ploše. Tento poměr bude tím větší, čím menší bude obsah vody ve



spalovaném palivu a čím vyšší bude teplota spalovacího vzduchu. Čím bude mít spalované palivo vyšší obsah vody, tím je nutno volit při návrhu nižší střední měrný tepelný výkon roštu q_r , který je podle druhu roštu 700 - 1400 kW/m².

Praktickým důsledkem vyššího obsahu vody v palivu je snižování výkonu kotle, neboť se zvětšuje plocha roštu, na níž dochází k sušení paliva. Z uvedeného důvodu se pro uhlí s vyšším obsahem vody doporučuje:

- předsušet palivo mimo rošt (např. u surového dřeva, kůry, domácích odpadů),
- používat vyšší teplotu spalovacího vzduchu (je limitován životností roštnic),
- použít tzv. pohazovacího zařízení, které umožňuje částečné vysoušení paliva v letu před jeho dopadem na rošt.

Druhy roštů

Podle způsobu přemísťování paliva v roštovém ohništi rozeznáváme:

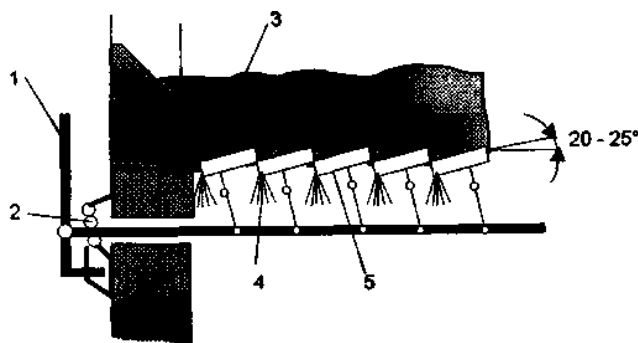
- rošty s nehybnou vrstvou paliva (pevné rošty),
- rošty s občasným přemísťováním paliva (rošty stupňové a přesuvné),
- rošty s trvalým přemísťováním paliva (rošty pásové, přesuvné a válcové).

1. Pevné rovinné rošty s nehybnou vrstvou paliva

V současné době se tento rošt zachoval u malých kotlů na lokální vytápění event. u starších plamencových a lokomotivních kotlů. Rošty jsou složeny z bezpropadových roštnic se spodním dmýcháním spalovacího vzduchu o přetlaku 500 - 600 Pa. Uvedené rošty mají velkou ztrátu Z_c ve škváře, úletu i v propadu. Ke snížení této ztráty se u novějších kotlů používá bezpropadových roštnic.

2. Rošty s občasným přemísťováním paliva

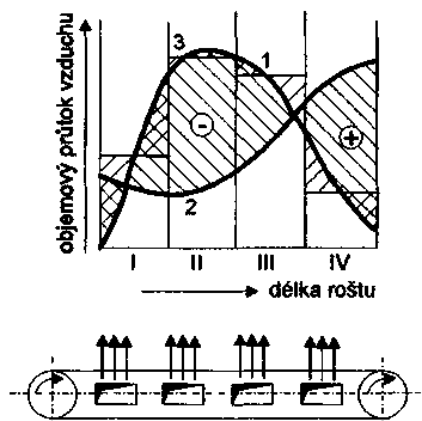
Patří sem rošty s výkyvnými roštnicemi - obr. 1-4. Občasným pravidelným či nepravidelným pohybem roštnic s úhlem výkyvu 20 - 25 % dochází k rozrušování spečené škváry a obracení paliva. Podle polohy jsou tyto rošty vodorovné nebo šikmé.



1 - ruční páka, 2 - vodící kladky, 3 - vrstva paliva, 4 - škvára, 5 - roštnice

obr. 1-4 Schéma výkyvných roštnic

3. Rošty s trvalým přemísťováním paliva



Palivo se pohybuje od zásobníku surového uhlí až po škvárovou výsypku, prochází jednotlivými fázemi a musí dokonale vyhořet. Rychlost pohybu roštu bývá 1-2 mm/s a je nutno ji volit s ohledem na velikost vrstvy paliva ($h = 40-300$ mm). Průběh spalování je patrný z obr. 1-5. Z něho můžeme usoudit na nerovnoměrnou spotřebu spalovacího vzduchu po délce roštu. Maximum je v oblasti hoření a odplynění - křivka 1. Skutečný průchod vzduchu, kdybychom tento vhodně neregulovali, je však s ohledem na aerodynamický odpor vrstvy paliva právě opačný - křivka 2. Tento rozpor odstraňujeme rozdělením vzduchu pod roštem po jeho délce do několika pásem, zpravidla minimálně dvou, což označujeme jako pásmování vzduchu - čáry 3. Každé pásmo je samostatně regulovatelné klapkou, což umožňuje výkonovou regulaci ohniště.

obr. 1-5 Pásmování primárního vzduchu pod rošt

Pro značně vlhká paliva je vhodné zavést zejména do prvního pásma vzduch resp. směs vzduchu a spalín o teplotě 150 - 300 °C. Kromě předsušení dojde tím i ke spodnímu zápalu uhlí a využije se tak lépe celá délka roštu.

Při spalování uhlí s větším obsahem prachového uhlí se doporučuje vybavovat zásobníky paliva podavačem, který palivo dopravuje k pohazovači. Příklad je na obr. 1-6.

obr. 1-6 Klasický roštový kotel s pneumatickým pohazováním paliva

Typy roštů:

Řetězový a pásový rošt.

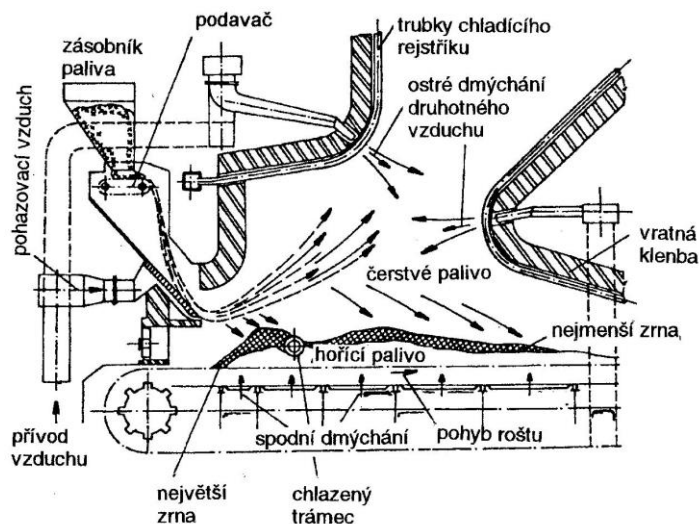
Jedná se o nekonečný pás, jehož horní plocha, na které spočívá vrstva paliva, tvoří rošt. Řetězový rošt je tvořen roštnicemi, které jsou články masivního Gallova řetězu. Pásový rošt má roštnice upevněny na příčných tyčích, které jsou unášeny dvěma postranními řetězy. V obou případech je rošt tepelně namáhán pouze v horní části, zatímco ve spodní části je chlazen. Z tohoto důvodu lze zde použít výhřevnější palivo, aniž by docházelo k opálu roštnic.

Přesuvný rošt.

Vznikl z pevného stupňového roštu - pevné roštové stupně byly nahrazené pohyblivými. Pravidelně se střídá pevný a pohyblivý stupeň. Horizontální pohyb roštnic je zajištěn klikovým mechanismem nebo hydraulický poháněnými táhly. Rychlost posuvu paliva se reguluje změnou výkyvu jednotlivých stupňů. Pod rostem je pásmován spalovací vzduch. Výhodou je universální použití – uhlí, biomasa, odpady.

Vratisuvný rošt

Jedná se o opačně orientovaný přesuvný rošt, který je silně skloněný ve směru od vstupu paliva k výsypce a roštnice se pohybují proti toku paliva. Spodní žhavá vrstva postupuje vzhůru, přes žhavou vrstvu přepadá čerstvé palivo, čímž je podporováno jeho vznícení. Tím se dosáhne dlouhá doba setrvání paliva na roštu, dobré promísení a prohoření celé vrstvy. Rošt je vhodný pro spalování vysoce popelnatých uhlí a odpadů. Dalšími typy jsou rošty podsuvné, vibrační a válcové.

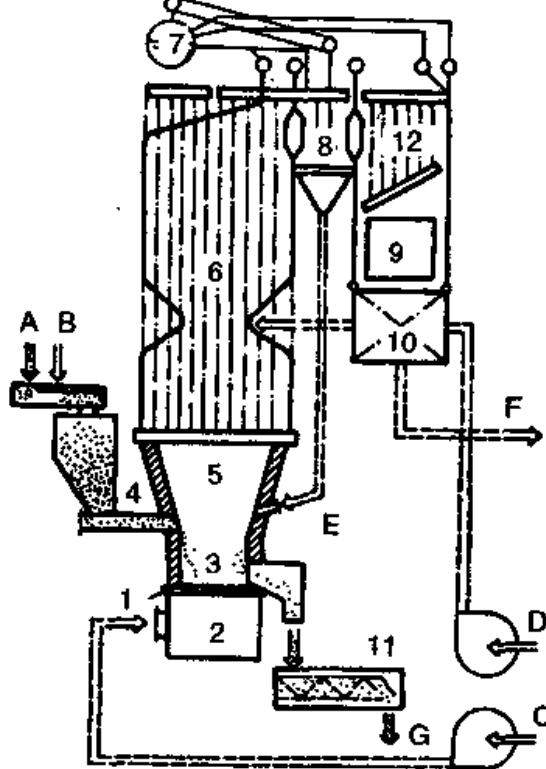


1.2 Fluidní kotle se stacionární (bublinkující) fluidní vrstvou

Charakteristickým rysem těchto kotlů je bublinkující fluidní vrstva se zřetelnou hladinou. První typy těchto kotlů vznikly z rekonstruovaných klasických roštových kotlů. Fluidní spalování bylo realizováno

- náhradou klasického roštu rostem fluidním,
- napojením fluidního ohniště na stávající výparný systém kotle.

Typickým příkladem je kotel Duklafluid (ČKD) na obr. 1-7. Kotel je řešen jako dvoutahový. Obvodové stěny ohniště jsou z membránových stěn. První stupeň je tvořen nevychlazeným reaktorem, nad nímž je spalovací komora kotle, která je vychlazená. Do zúžené části dvoustupňového spalování je přiveden sekundární vzduch. Primární vzduch je studený, sekundární ohřátý v ohříváku vzduchu kotle na teplotu kolem 200 °C. Spaliny proudí vodorovným mezitahem přes žaluziový odlučovák, kde se odlučují větší částice, které pak jsou z výsypky dopravovány zpět do ohniště. Zmenšuje se tím ztráta mechanickým nedopalem. V ohništi je udržována teplota 850 - 900 °C.



A,B-palivo a aditivum, C-primární vzduch, D-sekundární vzduch, E-návrat zachyceného popílku, F-výstup spalín, G - odvod popela, 1 - fluidní rošt, 2-vzduchová komora, 3-fluidní vrstva, 4-podavač, 5-fluidní reaktor, 6-spalovací komora, 7-buben, 8-přehřívák páry, 9-ohřívák vody, 10-ohřívák vzduchu, 11-chlazený dopravník popela, 12-žaluziový ohřívák popela

obr. 1-7 Fluidní ohniště typu DUKLAFLUID (ČKD)

Popel z ohniště a popel z odlučováků popílku za kotlem (není kreslen) jsou odváděny na složiště.

Uvedené kotle jsou určeny pro spalování hnědých i černých uhlí o výhřevnosti 6,3 - 12,5 MJ/kg zrnitosti do 10 mm. Kotle 8 t/h, 25 t/h a 35 t/h vyrábějí páru o tlaku 1,3 MPa a teplotě 220°C. Nízké parametry přehřáté páry neumožňují efektivní použití parní turbíny.

Najetí kotle ze studeného stavu se provádí dřevěným uhlím. Z výsledků měření vyplývá, že stupeň odsíření je asi 50 - 60 % a závisí na množství a druhu použitého vápence. Při kontrolních měřeních byly zjištěny koncentrace NO_x ve spalínách pod 200 mg/m³. K dodržení nízkých emisních limitů tuhých částic se obvykle nevystačí s mechanickými odlučováků.

2 PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V ZAŘÍZENÍCH NA VYUŽITÍ ODPADNÍ ENERGIE

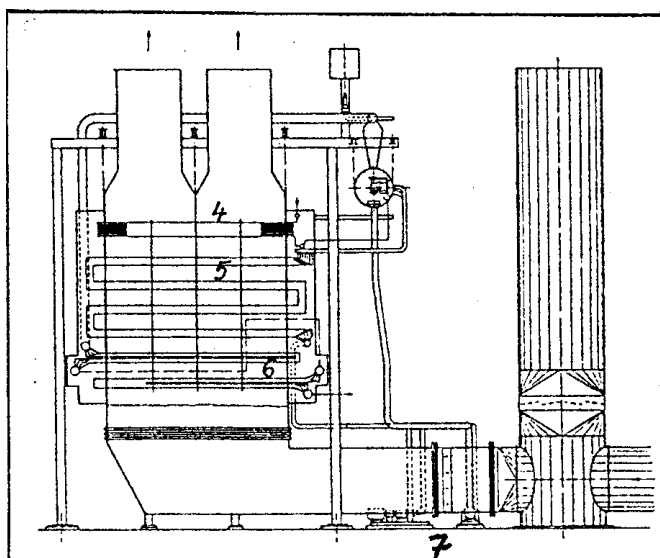
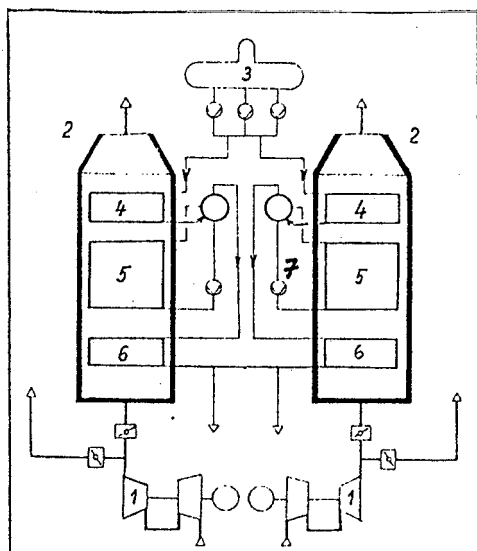
Odpadní energie je jednou z forem energií, jejichž využívání je součástí zásad dlouhodobého rozvoje energetiky a je v souladu s energetickou politikou státu.

Jedná se o energii získanou z tzv. druhotných energetických zdrojů, které jsou v úvodní části přednášek uvedeny jako palivové a tepelné druhotné energetické zdroje. Jaké jsou tedy možnosti jejich využití. Z dříve uvedených palivových energetických zdrojů lze:

- přidavně spolu s fosilními palivy spalovat: vysokopecní plyn, sulfátové či sulfitové výluhy, plyny z chemické výroby a konvertorový plyn. Kotel je konstruován na jmenovité parametry při spalování pouze základního paliva a rovněž i při současném spalování základního paliva a těchto plynů, a to až do výše např. cca 30 - 40% tepelného příkonu kotle.
- samostatně spalovat na kotli např. konvertorový plyn, vysokopecní plyn, koksárenský plyn a některé odpadní plyny z chemické výroby. Parní kotel je konstruován jako klasický kotel na spalování plynu. Je vhodné takový kotel navrhnout pro kombinované spalování odpadního plynu a zemního plynu, čímž se zvýší jeho disponibilita. Příklad zapojení parního kotle na spalování konvertorového plynu přímo v areálu hutního závodu je na obr. Konvertorový plyn z plynočističky se jímá v plynojemu, aby se eliminovala periodičnost jeho dodávky v souvislosti s výrobním cyklem konvertoru. Konvertorový plyn se spaluje v parním kotli, který je vybaven kombinovanými dvoupalivovými hořáky na spalování konvertorového a zemního plynu.
- samostatně nebo přidavně spalovat alternativní palivo upravené z pevných průmyslových nebo komunálních odpadů.

Z uvedených tepelných druhotných energetických zdrojů v 1. přednášce je zajímavé zejména:

- využití tepla odcházejících spalín z různých pecí a zařízení – v železárnách, ocelárnách, sklárnách a pekárnách
- využití tepla spalín z výfuku spalovací turbíny Existuje celá řada možností zapojení parního kotle za spalovací turbínou. Jedna z nich je uvedena na obr. Ke každé spalovací turbíně 1 je připojen parní kotel 2 bez přitápění, který využívá jen teplo odpadních spalín z turbíny 1. Voda z napájecí nádrže 3 se po ohřevu v ohříváku vody 4 vede do parního bubnu kotle. Výparník 5 je s nucenou cirkulací s oběhovým čerpadlem 7, sytá pára z bubnu se přehřívá na požadovanou teplotu v přehříváku 6 páry.



Za typické lze pro kotle na využívání odpadní energie považovat:

- většinou nižší parametry páry v souvislosti s nižší teplotní úrovní nositele odpadní energie (u kotlů bez přitápění),
- napájení kotlů vodou o nižší teplotě, většinou 105°C,
- většinou různé netradiční konstrukční provedení kotlů vzhledem ke specifickým podmínkám, které jsou dány charakterem zdroje odpadní energie
- při návrhu kotle a zejména jeho zapojení v systému se musí respektovat i požadavky na úzkou součinnost kotle se zdrojem odpadní energie,
- pro konvekční část teplosměnných ploch se v řadě případů používají žebrované trubky.