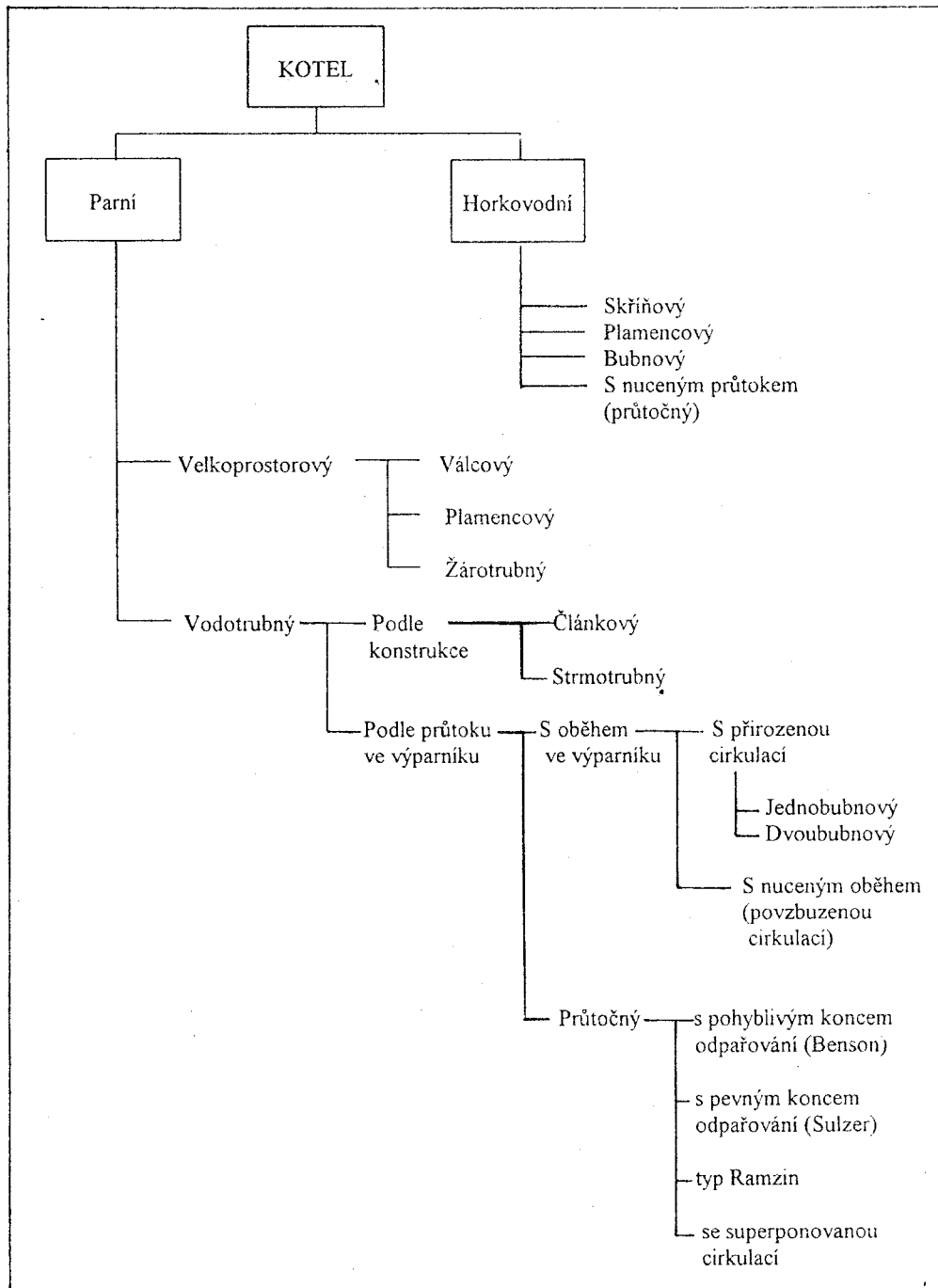


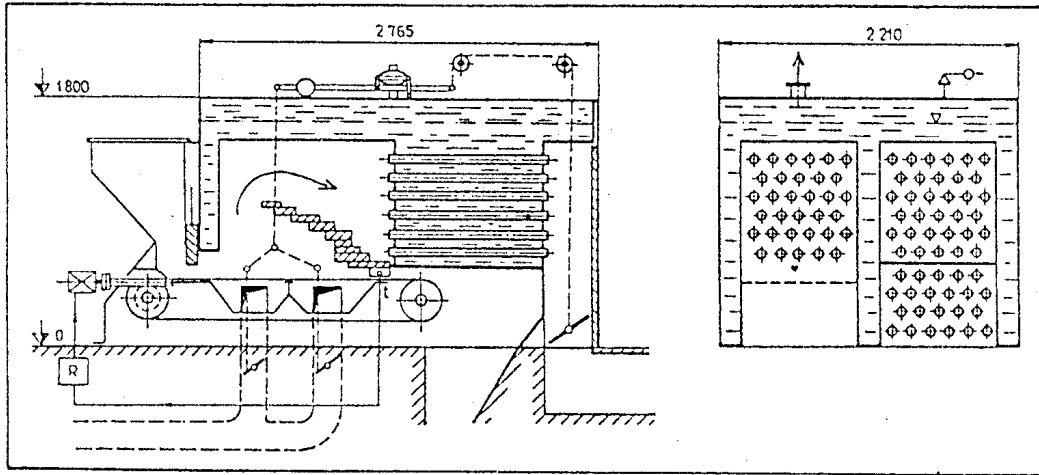
Dělení kotlů podle výstupního média a provedení výparníku

Pokud je pracovním médiem v kotli voda, pak kotel může dodávat buď horkou vodu nebo páru. Horkovodní kotle jsou, dá se říci, v podstatě modifikované některé typy parních kotlů tak, že se u nich vynechal výparník a přehřívák páry. Kotel je tedy proveden pouze jako ohřívák vody vyrábějící horkou vodu o tlaku vyšším než 0,1 MPa a teplotě vyšší než 115°C. Parní kotel se podle tlaku páry staví s podkritickými parametry (tlak nižší než 225,6 bar, teplota většinou do 540°C) nebo s nadkritickými parametry (tlak vyšší než 225,6 bar a teplota dnes cca do 580°C).



Kotel horkovodní

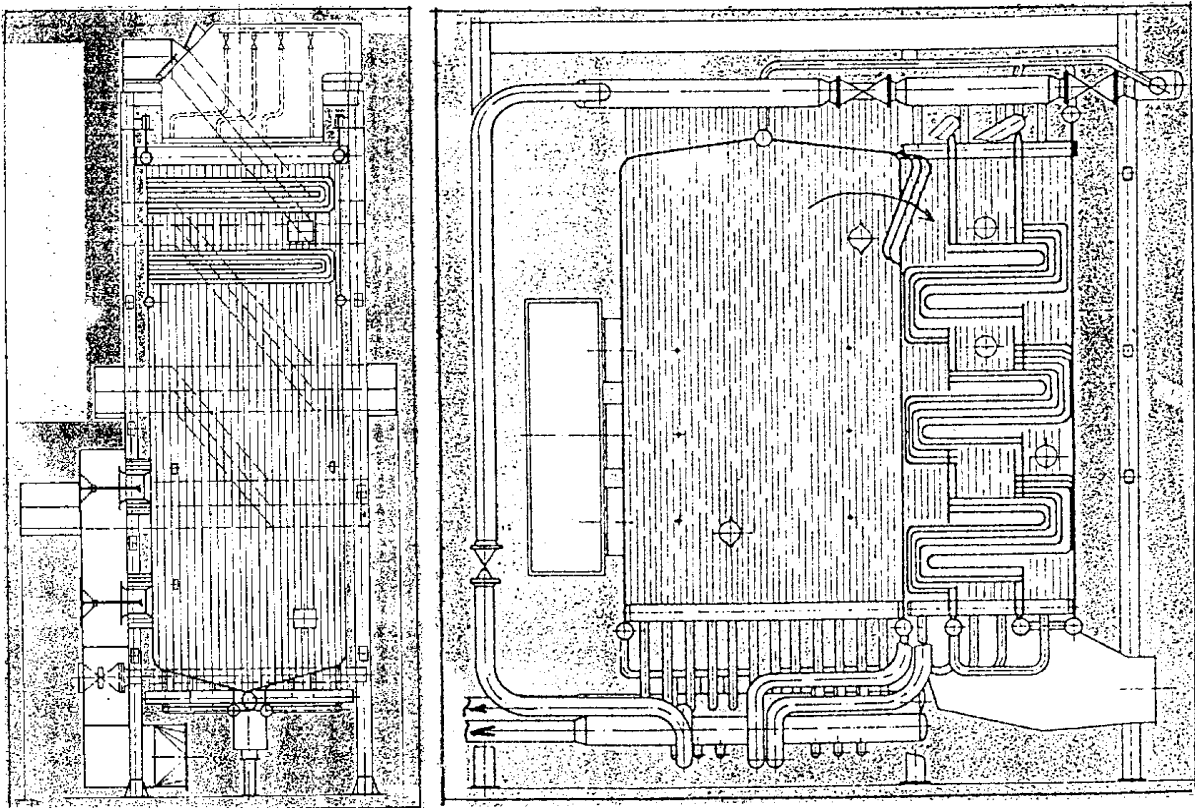
Skříňový - s roštovým ohništěm je na obr. 2.8. Používá se pro menší výkony a tlaky. Ohniště je uspořádáno přímo v tělese kotle, spaliny proudí přes žárové trubky (uspořádané např. ve 3 tazích) do komína.



Plamencový - je podobné konstrukce jako parní plamencový kotel. Běžně se pro větší výkony provádí v kombinaci se žárovými trubkami.

Bubnový - v provedení jako dvoububnový vodotrubný kotel je podobné konstrukce jako parní dvoububnový kotel. Kotel je konstruován jako samonosný a na stavenišť se přepravuje ve smontovaném stavu z výrobního závodu.

S nuceným průtokem (průtočný) - na spalování oleje nebo plynu ve věžovém nebo dvoutahovém provedení viz obr. Staví se pro největší výkony. **Věžový kotel** má nad ohništěm konvekční svazky vytvořené z trubkových hadů zapojených do trubek, které vytváří stěny kotle. Proudění v hadech je usměrněno přepážkami ve stěnové trubce. **Dvoutahový kotel** má první tah jako ohniště a ve druhém tahu je umístěn konvekční svazek. Tento je vytvořen z trubkových hadů tvořících panely (desky) a je uspořádán tak, že umožňuje oplach vodou.



Kotel parní

Parní kotle podle velikosti vodního obsahu můžeme rozdělit na kotle „velkoprostorové“ a kotle „vodotrubné“.

Velkoprostorové kotle vyznačují se velkým vodním obsahem a z toho vyplývajícím velkým akumulacním číslem T_a , které je definováno jako poměr hmotnosti m_v [kg] kotelní vody a množství vyrobené páry M_p [kg · h⁻¹]

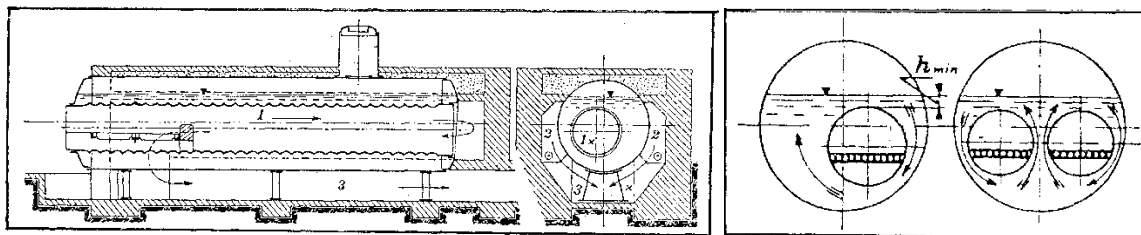
$$T_a = \frac{m_v}{M_p} \quad [\text{h}]$$

a bývá 8-10 h i větší. Protože bod varu vody v kotli je funkcí tlaku, tak při každé změně tlaku v kotli se mění i teplota bodu varu vody a tím se změní i množství páry uvolněné z vodního obsahu kotle. Množství uvolněné syté páry m_p z vodního obsahu kotle m_v při poklesu tlaku ze stavu „1“ na stav „2“ lze stanovit z tepelné bilance.

Za výhody velkoprostorového kotle lze počítat především malé kolísání tlaku při změnách odběru páry (velké akumulacní číslo) a necitlivost na kvalitu napájecí vody (vytvořený kotelní kámen se čas od času ze stěny oklepal).

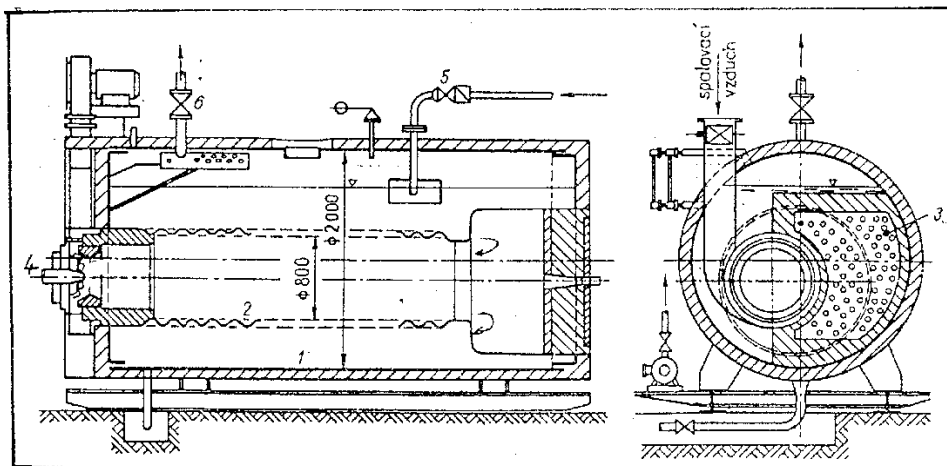
Za nevýhody lze především považovat malou výkonnost, nízký pracovní tlak a pomalé najíždění (velký vodní obsah). Pro ilustraci jsou dále uvedeny tři základní typy velkoprostorových kotlů.

a) **Plamencový kotel** - schematicky je znázorněn na obr.



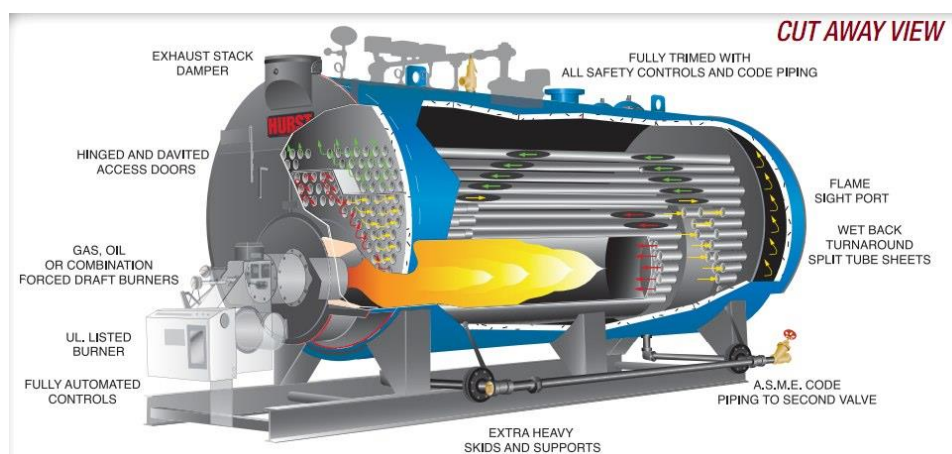
Plameneč je bezešvá zvlhňená roura umístěná uvnitř válcového pláště kotle, v níž je uspořádáno roštové ohniště nebo plynový či olejový hořák. Prstencové vlny na plamenci jej vyztužují proti namáhání vnějším přetlakem kotelní vody a zajišťují i jeho potřebnou podélnou pružnost vzhledem k rozdílné teplotě plamence a pláště kotle. Pokud má kotel jen jeden plameneč, pak tento je umístěn mimo osu kotle, aby se zlepšila cirkulace vody a usnadnilo čištění kotle. Nejčastěji se staví kotle se dvěma plamenci. Nejnižší hladina vody musí být vždy dostatečně nad plamencem. Směr proudění spalin je vyznačen na obrázku. Plamencem 1 protékají spaliny od ohniště na jeho konec, pak se obrací a průduchy 2 po bocích pláště proudí dopředu a průduchem 3 pod pláštěm opět dozadu kotle a do komína. Dnes se tento typ plamencového kotle již nestaví.

Žárotrubný kotel. Dnes se staví žárotrubné kotle v kombinaci s plamencem. Schéma možného provedení je na obrázku. Uvnitř válce pod vodní hladinou jsou uspořádány podélné trubky zaválcované do obou stran válce, kterými proudí spaliny vystupující z plamence zpět k přední části kotle, zde se obrací a po bocích válce proudí zpět k zadní části kotle a do komína.



V bubnu 1 kotle je umístěn plamenec 2 a dvě skupiny žárových trubek 3. V přední části plamence 2 je zabudovaný plynový (olejový) hořák 4. Spaliny po průchodu plamencem se otočí a první skupinou žárových trubek 3 proudí směrem k přední části kotle 1, kde se opět obrátí a druhou skupinou žárových trubek 3 proudí k zadní části kotle a do komína.

Soudobé provedení kombinovaného kotle (plamenec, žárové trubky) je na obr. v provedení jako balený kotel.



Vodotrubný kotel umožňuje stavbu kotlů od nejmenších výkonů až po nejvyšší výkony. Pracovní tlak a teplotu páry lze volit od barometrického tlaku až po parametry nadkritické. Tyto kotle lze stavět s ohništi všech typů na kvalitní i méně hodnotná paliva včetně odpadů. Mají nízké akumulací číslo (řádově 101 min) a proto jsou citlivé na změny odběru páry v souvislosti s udržením požadovaného konstantního tlaku páry. Na druhé straně zmenšenému vodnímu obsahu kotle odpovídá rychlejší najíždění. Vodotrubných kotlů v průběhu jejich vývoje vznikla celá řada různých typů a provedení. Pro představu jsou dále uvedeny jen základní charakteristické typy vodotrubných kotlů.

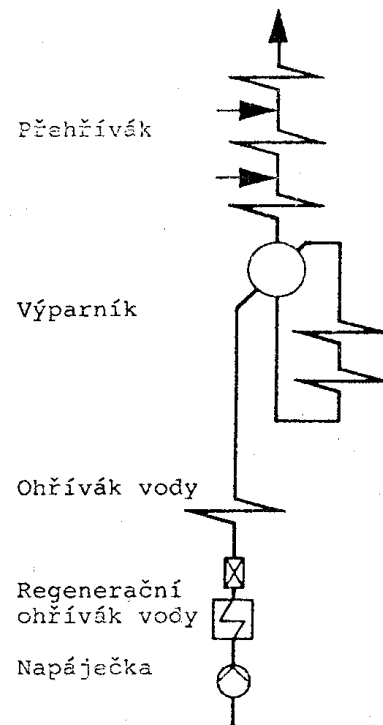
Podle způsobu proudění vody ve výparníku lze tyto kotle dělit na:

Kotel s přirozenou cirkulací

má potřebný přítok vody do jednotlivých trubek výparníku zajištěn tzv. přirozeným oběhem, který je vyvolán rozdílnou hustotou vody a parovodní směsí v systému výparníku. Při jednom oběhu vody výparníkem se odpaří jen část vody, takže do bubnu z varnic vstupuje mokrá pára (parovodní směs) o suchosti „x“, což je obsah syté páry v 1 kg parovodní směsi. (Suchá sytá pára má $x = 1$, sytá voda má $x = 0$) Oběh vody výparníkem je charakterizován oběhovým číslem „O“, které je (za určitých zjednodušujících předpokladů) definováno jako převrácená hodnota suchosti „x“ na výstupu z

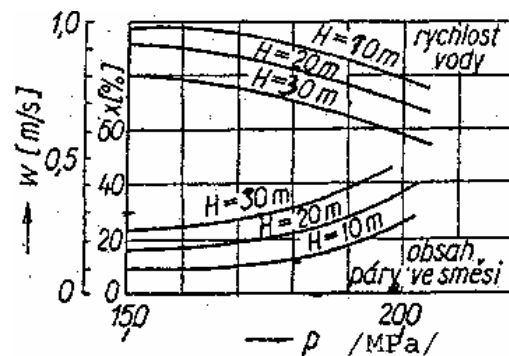
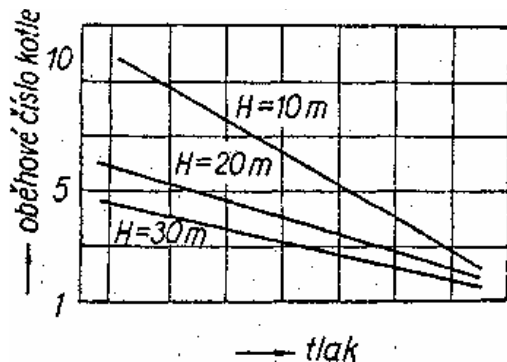
varnic. Nebo lze též oběhové číslo definovat jako poměr hmotového průtoku vody vstupující do varnice k hmotovému průtoku syté páry vyrobené výparníkem. Schéma takového systému kotle s přirozenou cirkulací je na obr.

Charakteristický pro tento kotel je výparník s pevným koncem odpařování. (Pevný konec odpařování je konstrukčně realizován bubnem kotle.) Tzn. že výparník má konstantní velikost teplosměnné plochy, což se musí zohlednit při návrhu kotle a jeho regulaci. Ve vodní části bubnu parního kotle dochází k zahušťování solí obsažených v obíhající kotelní vodě. Aby se dodržela potřebná kvalita páry (usazování solí v přehříváku a v turbíně) musí se obsah soli v kotelní vodě udržovat na přípustné hodnotě. Provádí se to odpouštěním části kotelní vody z místa jejího maximálního zahuštění solemi. Odpouštěná část zahuštěné kotelní vody se nazývá odluh a odebírá se těsně pod hladinou vody v bubnu. Kotel s přirozenou cirkulací tedy dokáže zajistit kvalitu páry i při horší kvalitě napájecí vody. Dalším typickým znakem tohoto kotle je připojení ohříváku vody přímo na buben kotle a dále to, že do varnic vstupuje voda z bubnu na bodě varu při $x=0$.



Kotel s nuceným oběhem (povzbuzenou cirkulací)

S rostoucím tlakem vyráběné páry se zmenšuje rozdíl hustoty vody a syté páry, jenž způsobuje přirozenou cirkulaci ve varnicích. Proto se oběhové číslo výparníku s rostoucím tlakem snižuje. Je tím menší, čím je větší výška výparníku (pokud výparník tvoří stěny ohniště). To je způsobeno tím, že s rostoucí výškou výparníku roste jeho parní výkonnost, (suchost "x") rychleji než rychlost vody (hmotnostní průtok) na vstupu do varnic.



S rostoucím tlakem a s rostoucí výškou se zvyšuje obsah páry "x" ve směsi a snižuje se rychlost vody (oběhové číslo). Použití výparníku s přirozeným oběhem je tedy omezeno tlakem. Za provozně ověřený tlak při spolehlivé funkci výparníku se považuje tlak kolem 14,0 MPa. Kotle na vyšší tlak s přirozeným oběhem se staví výjimečně. Při takovém tlaku, zvláště u kotlů s velkým výkonem, vychází již tloušťka stěny bubnu příliš velká, dá se říci na hranici výrobních možností. K poruchám výparníku s přirozeným oběhem docházelo i u kotlů s měnícím se zatížením a u kotlů s malou stavební výškou, typickým příkladem jsou např. kotle pro využívání tepla odpadních spalin. Stabilní funkci výparníku i v oblasti vyšších tlaků, řekněme do cca 18 MPa, nebo i při specifických provozních podmínkách, lze zajistit při nuceném oběhu, který je vyvolán oběhovým čerpadlem. Protože výparník s nuceným oběhem může být proveden z trubek menšího průměru (oběhové

čerpadlo kryje větší tlakové ztráty) než u přirozené cirkulace, bývá i jeho akumulaci číslo menší, cca 0,2. Schéma kotle s nuceným oběhem je na obr. (Někdy se pro tyto kotle používá i název La Mont). Jak je vidět z uvedeného schématu, kotel s nucenou cirkulací ve výparníku se až tak výrazně neodlišuje od zapojení kotle s přirozenou cirkulací, ohřívák napájecí vody je rovněž připojen k bubnu kotle a do varnic vstupuje voda z bubnu o stavu sytosti $x=0$. Rozdíl je především v tom, že v zavodňovacím potrubí výparníku je zařízeno oběhové čerpadlo (dopravní přetlak kolem 0,3 až 0,6 MPa v případě svislých varnic), které zajišťuje dostatečný průtok pro spolehlivý provoz výparníku. Napájecí voda se přivádí do ohříváku vody a z něj se vede do bubnu. Cirkulaci ve výparníku zajišťuje oběhové čerpadlo. Sytá pára z bubnu se přehřívá v přehříváku. Další rozdíl je i v tom, že výparník kotle s nuceným oběhem nemusí být nutně proveden ze svislých trubek, ale může být zhotoven z vodorovných trubkových hadů (typické pro kotle využívající teplo odpadních spalin).

Kotle průtočné

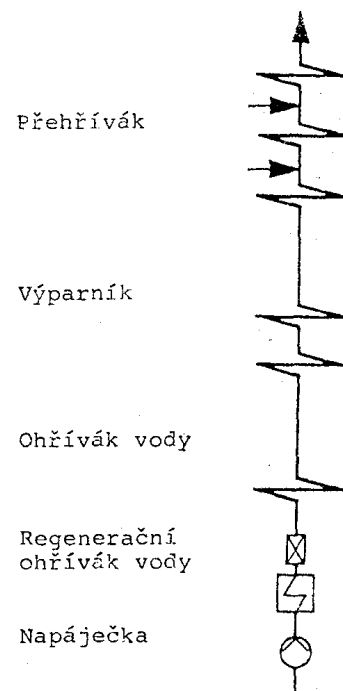
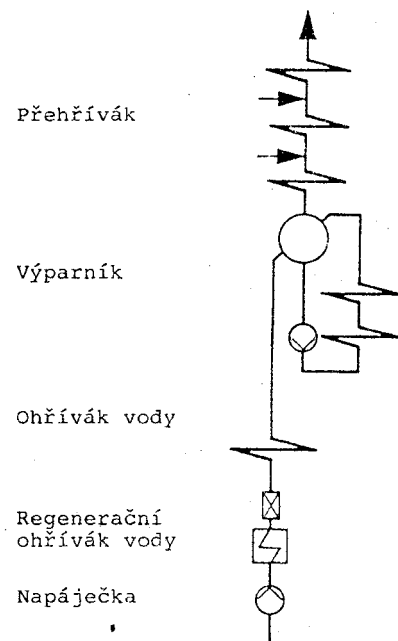
Především problémy s cirkulací ve výparníku u kotlů s přirozeným oběhem očekávané při zvyšování tlaku páry, dále i poměrně složitý systém výparníku s bubnem a zavodňovacími trubkami, ale zejména nemožnost využít kotlů s cirkulací ve výparníku (at' již s přirozenou nebo nucenou) pro velmi vysoké tlaky a nadkritické parametry (kritické parametry 225,6 bar; 374° C), to byly hlavní podněty k vývoji kotle průtočného. Základní myšlenka průtočného kotle je jednoduchá a spočívá v tom, že ohřev vody na bod varu, odpaření vody a přehřátí vyrobené páry je soustředěno do „jedné“ trubky, do které se na vstupu přivádí napájecí voda a z výstupu se odvádí přehřátá pára, tak jak je naznačeno na obr.

Základní odlišnost průtočného systému od systému s oběhem vody je především v tom, že průtočný systém nemá bubnen a jednotlivé části tlakového systému navzájem na sebe navazují, nemají žádný společný prvek. U oběhového systému jsou ohřívák vody, výparník i přehřívák napojeny na bubnen.

Obecně u průtočného systému není pevný začátek a konec odpařování a poloha výparníku v kotli se mění v závislosti na výkonu kotle, změně teploty napájecí vody, struskování stěn ohniště apod.

Další rozdíl je i ve stavu páry vstupující do přehříváku. Zatímco u kotlů s oběhem vody bubnen kotle jasně odděluje sytou páru a vodu a do přehříváku vstupuje sytá pára zbavená vlhkostí (až na nepatrné stopy), u průtočného kotle toto jasné oddělení chybí. Do přehříváku se vzhledem k vyšší rychlosti proudění ve varnici strhuje spolu s párou i vodní mlha.

Rozdíl je i ve způsobu regulace kotle. U průtočného kotle odpadá regulace hladiny v bubnu a kotel se reguluje tak, že se trvale udržuje stálý poměr mezi průtokem vody napájené do kotle a tepelným



výkonem ohniště. Uvedené hlavní důvody, které byly podnětem k nástupu průtočných kotlů, byly vlastně reakcí až na problémy, se kterými se konstruktéři té doby potýkali, nebo které pro další vývoj kotlů předvídali. Samotná idea průtočného kotle, která ale vznikla již dříve, byla jednotlivými vynálezci realizována pod jiným zorným úhlem. První patenty na řešení průtočného kotle byly uděleny Bensonovi, pak přišli se svojí koncepcí Sulzer a Ramzin.