



## Odborná informace

Dr.-Ing. Eberhard Franz  
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH)  
Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH



**BOSCH**  
Stvořeno pro život

### Válcové žárotrubné kotle v porovnání s vodotrubnými kotli

Průmyslová výroba páry má více než dvousetletou historii. Prvních sto let byly známy výhradně kotle, které byly velice podobné dnešním válcovým kotlům. V roce 1875 [1], tedy 106 let poté, co James Watt vynalezl parní kotel a parní stroj, vyrobila firma Steinmüller první vodotrubný kotel.

Od této doby došlo, vztaženo hlavně na výkonové a tlakové úrovně, k bouřlivému vývoji vodotrubných kotlů. V roce 1927 byl uveden do provozu první kotel Benson, který vyráběl 30 t/h páry o tlaku 180 bar a teplotě 450°C. V šedesátých letech minulého století byly zkonstruovány kotle s nadkritickými parametry, tj. s tlakem kolem 350 bar a s teplotami nad 600°C. V roce 1970 byla dosažena výkonová hranice 1000 t/h. Již 5 let později bylo možné vyrobit kotel s výkonem větším než 2000 t/h páry.

Tyto enormní výkony a extrémní parametry páry nelze již z principu dosáhnout u válcových kotlů. Nicméně i válcové kotle procházely neustálým dalším vývojem. Jako příklad lze jmenovat firmu Bosch Industriekessel GmbH, která iniciovala zavedení třítahových kotlů s vnitřní vodou chlazenou obratovou komorou v roce 1953, vývoj dvouplamencových kotlů (1956) nebo zavedení bezporuchových elektrod pro hlídání hladiny vody (1977). Proto lze dnes bezpečně a ekonomicky pokrýt parní výkony až do 55 t/h téměř výlučně parními válcovými kotli. V závislosti na velikosti lze pokrýt tlaky až do 30 bar a teploty přehřáté páry až do 300°C.

Z dosavadních provedení kotlů vyplývá, že oba konstrukční principy mají své oprávnění. Všeobecně není rozumné nebo

možné, pro konkrétní daný případ, zaměřovat jeden typ kotle za druhý. Ovšem i z tohoto pravidla existují výjimky. Tento článek má pomoci při rozhodování v takových případech, u kterých by bylo smysluplné použití obou konstrukčních typů. Budou diskutovány následující oblasti: bezpečnostní a provozní aspekty, fyzikální vlastnosti a finanční náklady.

#### Bezpečnost

V některých rozvojových státech jsou válcové kotle jen málo rozšířeny. Místní výrobci válcových kotlů uplatňují standard kvality, který není vůbec srovnatelný se standardem německých výrobců. Totéž platí pro bezpečnostní vybavení na ochranu proti překročení tlaku a nedostatku vody. Tomu odpovídá nízká úroveň bezpečnosti kotlů. Ze strachu před katastrofálními následky výbuchu parního kotle, z důvodů principiálně většího vodního obsahu u válcových kotlů, se v těchto zemích nebo také některými velmi konzervativně založenými projektanty upřednostňují vodotrubné parní kotle. Vedle bezpečnostních aspektů hraje v těchto zemích důležitou roli také nízká životnost zde vyráběných válcových kotlů.

Přitom v Německu nedošlo v posledních dvaceti letech vůbec k žádné katastrofické nehodě ve spojení s provozem válcových kotlů. Rozhodujícím faktorem bylo zavedení bezporuchových systémů elektrod pro regulaci a omezení hladiny vody v roce 1977, dále pak zavedení pravidel pro bezpečnou konstrukci válcových kotlů v roce 1985 [2]. Bezpečná konstrukce znamená, že se upustilo od používání jistých materiálů jako např. 19Mn6 resp. P355GH, dále se upustilo od některých konstrukčních principů (např. svařovaná dna, hřebenový

nosník pro vyztužení dna), je umožněna revize a vstup do vnitřního prostoru kotle a jsou zajištěny větší vzdálenosti mezi jednotlivými díly kotle s rozdílnou teplotou.

Důležitým aspektem je zavedení vodní tlakové zkoušky se zvýšeným zkušebním přetlakem, která umožňuje jednoduché a velmi spolehlivé posouzení stavu bezpečnosti válcového kotle [3]. Zmíněná pravidla a bezpečnostní výstroj zajišťují v Německu v uplynulých desetiletích bezpečný provoz válcových kotlů bez jakýchkoliv větších nehod. Toto tvrzení nelze jen tak použít pro jiné konstrukční typy kotlů [4,5]. Válcové kotle nabízejí při odpovídající kvalitě výroby a konstrukce vysokou úroveň bezpečnosti a dlouhou životnost. Projektanti a provozovatelé si musí zvolit takové výrobce, kteří se mohou prokázat velkým počtem referenčních zařízení, která pracují dlouhodobě bez poruch.

### Provozní aspekty

V tomto odstavci budou diskutovány požadavky na kvalitu vody, údržbu a na opakované zkoušky a kontroly.

Kvalita napájecí a kotlové vody hraje u parních kotlů přirozeně důležitou roli. Přesto existují v požadavcích na kvalitu vody důležité, cenově závažné rozdíly.

U vodotrubných kotlů nelze pro většinu konstrukčních typů doporučit provoz s nízkým obsahem solí [6]. Nízký obsah solí znamená u vodotrubných kotlů vodivost kotlové vody nižší nebo rovnou 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Je obvyklé, a při lokálních hustotách tepelného toku větších než 250 kW/m vlastně nutné, používat napájecí vodu bez obsahu solí, aby se předešlo zanášení trubek a tomu odpovídajícímu omezení přenosu tepla. Tyto požadavky mohou být splněny pouze za použití srovnatelně náročných a cenově nákladných opatření při úpravě vody.

Válcové kotle lze v zásadě provozovat s kotlovou vodou s nízkým obsahem solí (vodivost menší nebo rovna 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). K poškození teplosměnných ploch zasolením u těchto kotlů nemůže docházet, je to dáno možností účinného odluhu kotlové vody. Pro úpravu vody lze použít jednoduchá změkčovací zařízení. O druhu úpravy vody rozhodují hospodářská hlediska stejně jako kvalita používané surové vody. Rozhodujícím faktorem je délka

amortizace nákladnějších úprav vody, která může vyplynout ze snížení množství odluhu na kotli.

Další rozdíl je dán tepelným výkonem vztaheným na velikost kotle. Při srovnatelných tepelných výkonech jsou požadavky na plochu i prostor kotelny u válcových kotlů výrazně nižší.

Údržba: u válcových kotlů je zřetelně jednodušší než u vodotrubných kotlů. Je to způsobeno podstatně nižšími náklady na najíždění a odstavování a snadnou přístupností výhřevných ploch.

Podobné je to také u opakovaných zkoušek. U válcových kotlů, které jsou vyráběny dle výše uvedených pravidel pro konstrukční bezpečnost, se osvědčil velmi jednoduchý, účinný a cenově příznivý systém: vizuální kontrola všech relevantních dílů po provedené tlakové zkoušce se zvýšeným zkušebním přetlakem, viz [3]. Tato kontrola dovoluje upustit ve velkém rozsahu od nedestrukčních zkušebních metod jako např. ultrazvuk. U vodotrubných kotlů se vodní tlaková zkouška se zvýšeným zkušebním přetlakem neprosadila z důvodů, které tady nelze rozebírat. Navíc jsou u vodotrubných kotlů značně velké oblasti, které nejsou dostupné pro vizuální kontrolu (zaizolované, vyzdívkou opatřené prostory). Proto je ve značném rozsahu nutné použít ultrazvuk a podobné metody.

### Fyzikální vlastnosti

Tady budou diskutovány vlastnosti, které vyplývají přímo z platných konstrukčních principů: vodní obsah, schopnost akumulace, chování při částečném zatížení.

Vztaženo na vyráběný tepelný výkon má válcový kotel významně větší vodní objem než vodotrubný kotel. Proto je válcový kotel odolnější vůči kolísání zatížení nebo požadavkům na rychlou změnu výkonu až po zatížení, které krátkodobě překračují jmenovitý výkon kotle. Kromě krátkodobého zvýšení vlhkosti páry nelze očekávat žádné jiné důsledky, natož nějaké negativní ovlivnění přestupu tepla.

Takové chování nelze ovšem očekávat u vodotrubných kotlů. Kolísání tlaků a s tím spojené probíhající změny hustoty nutně ovlivňují také přestup tepla.



Obrázek 1: Parní středotlaký žárotrubný dvouplamencový válcový kotel 35 t/h, 16 bar



Obrázek 2: 100 MW horkovodní vodotrubný kotel při transportu

Velký vodní objem válcového kotle přináší vedle popsaných předností také nevýhody v chování kotle při najíždění ze studeného stavu. Čas, který uběhne, než je válcový kotel schopen dodávat páru, je výrazně delší než u vodotrubného kotle srovnatelného tlaku a výkonu. Navíc představuje každý start válcového kotle ze studeného stavu výrazně vyšší mechanické zatížení než je u stacionárního regulovaného provozu [8]. Z toho vyplývá, že najetí válcového kotle ze studeného stavu se musí provádět co nejšetrněji.

V důsledku menšího vodního objemu lze v různých zemích používat vodotrubní kotle až do velkých výkonů jako tzv. procesní kotle, kde lze využít jednodušší podmínky pro instalaci [7].

Pro životnost parních kotlů je podstatný počet startů hořáků. Důležitým faktorem je kromě správného dimenzování kotle/kotelny také hodnota minimálního výkonu, který může kotel odvádět. U válcových kotlů odpovídá výkonové minimum kotle nastavenému minimálnímu tepelnému výkonu hořáku. U jistých typů vodotrubných kotlů vyrábějících přehřátou páru, nemůže obvykle být tento minimální tepelný výkon hořáků na kotlích využit, protože v důsledku redukováného proudění vody je negativně ovlivněn přestup tepla a tak může dojít k nežádoucím dohořívacím efektům (Burnout-Efekt) v oblasti vyšších hustot tepelných toků.

### Náklady a termíny

Pokud je možné pokrýt požadavky na výkon několika válcovými kotli, je volba válcového kotle, za předpokladu stejné kvality a srovnatelné úrovně výrobních nákladů výrobce, cenově výhodnější alternativou. Zpravidla jsou také dodací lhůty a termíny nutné pro instalaci u válcových kotlů výrazně kratší.

Při srovnatelné teplotě a složení spalin vykazují válcové kotle v důsledku nižších ztrát sáláním a vedením mírně vyšší účinnost než vodotrubné kotle. V důsledku jednodušší údržby lze navíc snadněji udržovat válcový kotel v provozu, takže i během provozu vykazuje válcový kotel vyšší hospodárnost.

### Shrnutí

Obvykle jsou oblasti uplatnění válcových a vodotrubných kotlů jasně odděleny. Prostě není možné použít pro 1000 t/h páry, o tlaku 180 bar a teplotě 450°C válcový kotel. Až do výkonu 200 t/h, tlaku 30 bar a teplotě do 300°C je nasazení jednoho nebo více válcových kotlů většinou lepší alternativou, protože investiční a provozní náklady jsou výrazně nižší. Moderní výrobní metody a pravidla pro konstrukční bezpečnost umožňují vyšší úroveň bezpečnosti a dlouhou životnost válcových kotlů. Výše diskutované aspekty jsou heslovitě shrnuty v následující tabulce.

Kritérium	Válcový kotel	Vodotrubný kotel
Kvalita vody	nižší požadavky, je možný provoz s nízkým obsahem solí	vyšší požadavky, pro většinu konstrukčních typů je požadován provoz s nulovým obsahem solí
Údržba	snadné čištění	náročnější
Opakované zkoušky (kontroly)	jednoduché, prohlídka po tlakové vodní zkoušce s vyšším tlakem  další nedestruktivní zkoušky jako např. ultrazvuk jen zřídka a v malém rozsahu	k vodní tlakové zkoušce navíc ultrazvuk a další zkoušky  nevyhnutelné, adekvátně vyšší časové a finanční požadavky
Náklady při srovnatelné úrovni výrobních nákladů a kvality	nižší	vyšší
Účinnost	vyšší, snadněji udržitelná	nižší, během provozu obtížněji udržitelná
Chování při částečném zatížení	regulační rozsah hořáku může být plně využit, v oblasti pod minimálním výkonem lze hořák snadno odstavit	částečný výkon musí být u některých konstrukčních provedení omezen, hořák nelze jednoduše odstavit
Vodní objem	z principu konstrukce kotle vyšší vodní objem	menší vodní objem
Akumulační schopnost	v důsledku velkého objemu vody vykazuje odolnost proti kolísání tlaku a výkonu	citlivý na odběrem způsobené kolísání výkonu a tlaku
Dodací lhůta	kratší	delší
Požadavek na prostor pro instalaci	malý	velký
Doba výstavby, první uvedení do provozu	krátké	delší

#### Literární zdroje:

[1] Lehmann H.: Dampferzeugerpraxis, Resch-Media Mail Verlag GmbH, Gräfelfing 1994

[2] VdTÜV, FDBR, VGB: Vereinbarung 1985/1 über Richtlinien für die Beurteilung von Großwasserraumkesselkonstruktionen, VdTÜV, Essen 1985

[3] Roßmaier W.: Verbesserte Wasserdruckprüfungen bei Flammrohr-Rauchrohr und Wasserrohrkesseln, Technische Überwachung Bd. 38 (1997), Nr. 6 – Juni

[4] Diwok, H.-J., Mattern, J., Hülmann, G.: Explosion in einem 150 MW-Schmelzkammerkessel, Technische Überwachung Bd. 37 (1996), Nr. 3 – März

[5] N. N.: Vier Arbeiter starben im heißen Dampf, Bonner Generalanzeiger, 20.10.1994

[6] Dolezal, R., Dampferzeugung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo etc., 1990

[7] N.N., TRD 403: Aufstellung von Dampfkesselanlagen mit Dampfkesseln der Gruppe IV, Ausgabe Juni 1984

[8] Franz, E.: Kaltstart von Grosswasserraumkesselanlagen

Bosch Termotechnika s.r.o.  
Průmyslová 372/1  
108 00 Praha 10  
Tel.: +420 272 191 111  
Fax: +420 272 700 618

[www.bosch-industrial.com](http://www.bosch-industrial.com)

Výrobní závody:  
**Závod 1 Gunzenhausen**  
Bosch Industriekessel GmbH  
Nürnberger Straße 73  
91710 Gunzenhausen  
Německo

**Závod 2 Schlungenhof**  
Bosch Industriekessel GmbH  
Ansbacher Straße 44  
91710 Gunzenhausen  
Německo

**Závod 3 Bischofshofen**  
Bosch Industriekessel Austria  
GmbH  
Haldenweg 7  
5500 Bischofshofen  
Rakousko

© Bosch Industriekessel GmbH |  
Ilustrace slouží pouze jako příklad |  
Změny vyhrazeny | 07/2012 |