



Odborná informace

Dipl. Ing. Paul Köberlein, Bosch Industriekessel GmbH



BOSCH

Stvořeno pro život

Odstranitelné příčiny zatěžování válcových parních kotlů

Parní kotlová zařízení podléhají řadě různých zátěží, které vedou k více nebo méně silnému namáhání kotlového tělesa. Přitom jsou vedle nedostatečné kvality vody rozhodující dva hlavní faktory: vlivy pocházející z konstrukce a provozního nastavení, jakož i vlivy přicházející ze strany odběrů. Následující příspěvek popisuje odstranitelné zátěže kotlových zařízení a umožní čtenáři nahlédnout od správné projekce, výroby, montáže a seřízení zařízení až do jeho uvedení do provozu.

Sytá pára nalézá v současné době použití jako teplotné médium ve velkém počtu řemeslných provozoven a průmyslových podniků všech odvětví. V potravinářském průmyslu a výrobě nápojů pára umožňuje provádět nahřívací a varné procesy, ale také čisticí procesy. Textilní odvětví používá teplotosiče především k dalšímu zpracování a zušlechťování látek, prádelny a čištění textilií ohřívají párou pračky nebo využívají páru pro procesy žehlení a sušení. V nemocnicích se párou o vysoké čistotě sterilizují operační nástroje, párou se také zásobují nemocniční velkokapacitní kuchyně nebo se pára používá pro zvlhčování vzduchu v klimati-začních zařízeních. Průmysl stavebních hmot potřebuje sytou páru pro mnoho výrobních, ohřívacích a sušících procesů, jako například při autoklavovém zpracování vápenopískových cihel. Použití páry jako teplotosného média je ale také neodmyslitelné v mnoha dalších odvětvích, jako například v papírenském a kartonážním průmyslu, v chemickém a farmaceutickém průmyslu a v mnoha dalších oblastech.

Největší podíl na těchto parních aplikacích má sytá nebo lehce přehřátá pára s odběrem až 200 t/h při tlacích do 30 bar a teplotách páry do 300 °C. Pro výrobu páry se obvykle používají jeden nebo více kotlů vytápěných plynem nebo topným olejem. Kotle jsou konstrukčně řešeny jako válcové kotle (obr. 1). Ve srovnání se systémy vodotrubných kotlů jsou válcové kotle v uvedeném rozsahu výkonů většinou nejlepší alternativou, protože je výhodná jak z hlediska investičních, tak provozních nákladů.

Provoz moderních zařízení s válcovými parními kotle je v současné době považován za bezproblémový. Nicméně podléhají kotle často řadě různých zátěží, které mají rozhodující vliv na bezpečnost

a životnost kotlů, ale kterým je vlastně možné předcházet. Přitom jsou vedle nedostatečné kvality vody rozhodující dva hlavní faktory: vlivy pocházející z konstrukce a provozního nastavení kotle, jakož i vlivy přicházející ze strany odběrníků.

Nedostatečná kvalita vody

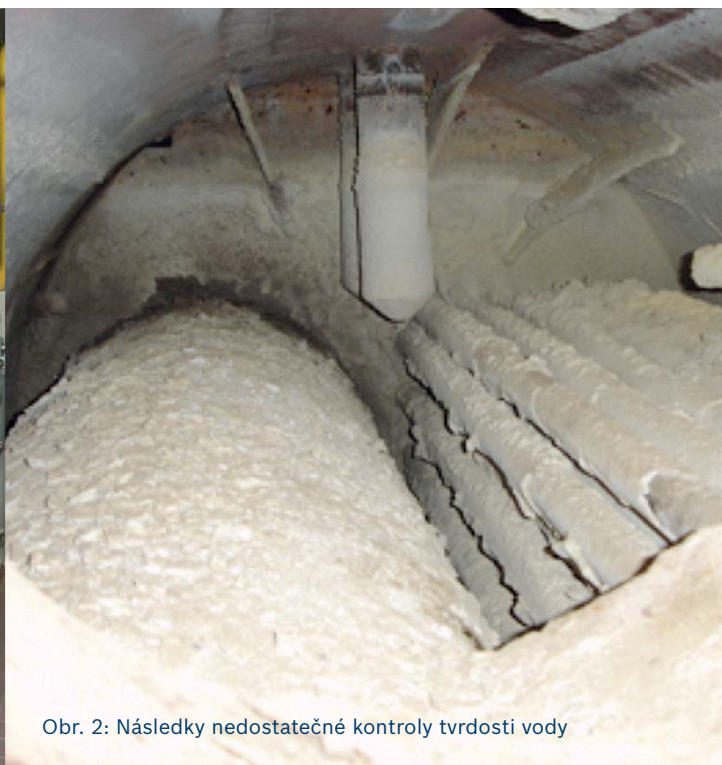
Nedostatečná kvalita vody s následkem korozí resp. tvorby povlaků stojí ve statistikách škod na prvním místě. Mechanismy, které probíhají při tomto druhu škod, se považují za všeobecně známé, proto nebudou v této odborné zprávě dále diskutovány. Často bývají jako příčina „špatné“ kvality vody uváděny následující body:

- ▶ nedostatečná kontrola popřípadě zkoušky potřebných parametrů vody (obr. 2)
- ▶ chybějící odborné znalosti
- ▶ chybná interpretace naměřených hodnot, resp. žádná reakce ze strany obsluhy při odchylkách

Pro předcházení škod vzniklým v důsledku nedostatečné kvality vody je v první řadě nutné dodržovat parametry udané výrobcem zařízení (v souladu se standardem ČSN EN 12953, díl 10). K tomu musí být vedle použití vhodných komponent pro úpravu vody zajištěna dostatečná kompetence obsluhy v oblasti analytiky vody. Doporučuje se instalovat plně automatické přístroje pro analýzu vody, které zjišťují a kontrolují všechny parametry vody jako je tvrdost, vodivost, hodnota pH a čistota kondenzátu (obr. 3), viz také odborná informace „Moderní úprava vody a analytické sledování kvality vody“.



Obr. 1: Válcový parní kotel instalovaný v jednom průmyslovém podniku



Obr. 2: Následky nedostatečné kontroly tvrdosti vody

Vlivy pocházející z konstrukce a provozního nastavení kotle

Příliš vysoký výkon kotle v poměru ke skutečně potřebnému parnímu výkonu

Tato problematika se často objevuje u starých instalací, jejichž spotřeba páry se drasticky zmenšila vlivem odpadnutí některých odběratelů nebo dodatečného využití potenciálu regenerace odpadního tepla. Ale také se to může týkat nových zařízení, když jsou během projekční fáze chybně vyhodnoceny faktory současnosti odběrů, nebo když bylo počítáno s příliš velkou výkonovou rezervou. Následkem příliš nízkého odběru páry ve vztahu k výkonu kotle je vysoký počet startů a odstavení hořáku. Tím jsou předurčeny změny teplot, které mohou být extrémně vysoké zvláště u kotelních zařízení se spalováním plynu a s dlouhými provětracími časy.

Hořáky tvoří v topeništi teploty mezi 1 400 až 1 700 °C. Během fáze provětrání spalovací komory, které je předepsáno před každým zapálením hořáku, je do kotle nasáván čerstvý vzduch z vnitřku kotelny. V důsledku nízkých teplot tohoto vzduchu (20 – 30 °C) dochází k ochlazení dřívě horkých teplosměnných ploch. Po ukončení provětrání se zapaluje hořák a dostává obvykle

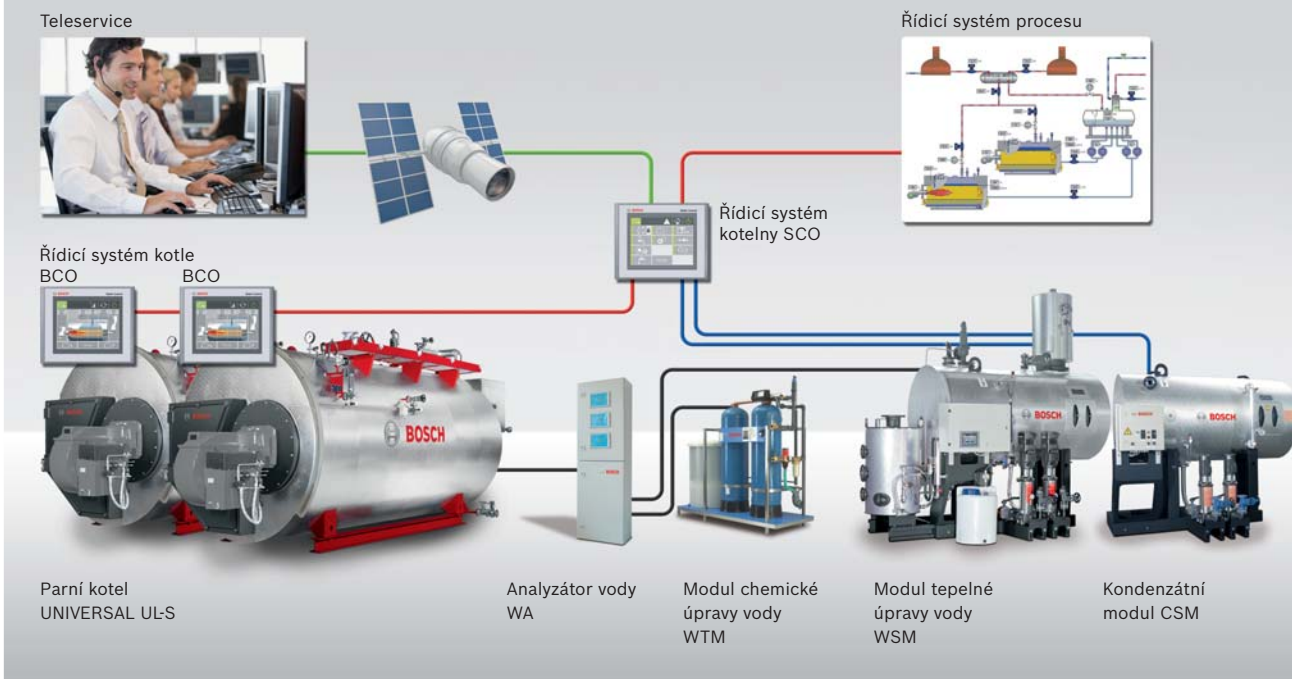
velmi brzy signál k provozu na nejvyšší výkon. Ve fázích extrémně nízkého zatížení dochází k vypnutí hořáku často již během najíždění na vyšší výkon, aby pak – často brzy poté – bylo třeba znovu provést provětrání a najetí hořáku.

Při těchto trvalých zátěžích v důsledku teplotních změn mezi ohříváním a větráním dochází k rozdílům v roztažnosti mezi topeništěm a kotelním pláštěm, což během času může vést k únavě materiálu. Vedle stoupající četnosti výskytu škod má tento způsob provozu také negativní vliv na hospodárnost provozu, protože každé větrání topeniště představuje nikoliv nepatrné ztráty tepla.

Proto je třeba usilovat o to, aby počet cyklů zapínání/vypínání hořáku byl ≤ 4 za hodinu. Aby se toho dosáhlo, doporučuje se:

- ▶ instalace řízení nízkého zatížení, které časově zpomalí okamžitou regulaci zvyšování výkonu
- ▶ instalace výkonových regulátorů, které umožní, aby byl hořák udržován v nejnižším stupni zatížení bez časového omezení
- ▶ instalace hořáků s vysokým regulačním rozsahem
- ▶ úprava výkonu hořáku dle skutečných požadavků (tzn. modifikace hořáku nebo také instalace hořáku s nižším rozsahem výkonu)

Obr. 3. Moderní zařízení parních kotlů s plně automatickou analýzou a regulací vody a kontrolním systémem



Příliš malý rozdíl tlaků mezi zapnutím a vypnutím hořáku

Regulace výkonu parního kotle probíhá jak známo pomocí tlaku páry, který je měřen v kotli. Jestliže je podkročen nastavitelný tlak páry $P_{\text{hořák.zap}}$, hořák se zapíná; při překročení tlaku $P_{\text{hořák.vyp}}$ hořák se vypíná.

Nastavení příliš nízkého rozpětí mezi tlaky $P_{\text{hořák.zap}}$ a $P_{\text{hořák.vyp}}$ má následující konsekvence:

- ▶ Časté zapínání a vypínání v důsledku překmitu tlaku, což vede ke shora popsaným zatížením od teplotních změn a jejich negativním následkům.
- ▶ Nuceně „ostře“ nastavené parametry regulace výkonovém regulátoru, aby bylo možné držet požadovanou hodnotu v úzkém regulačním pásmu. Výsledkem je vedle vysokého opotřebení akčních členů v hořáku předčasná únava materiálu otápěných ploch kotle.

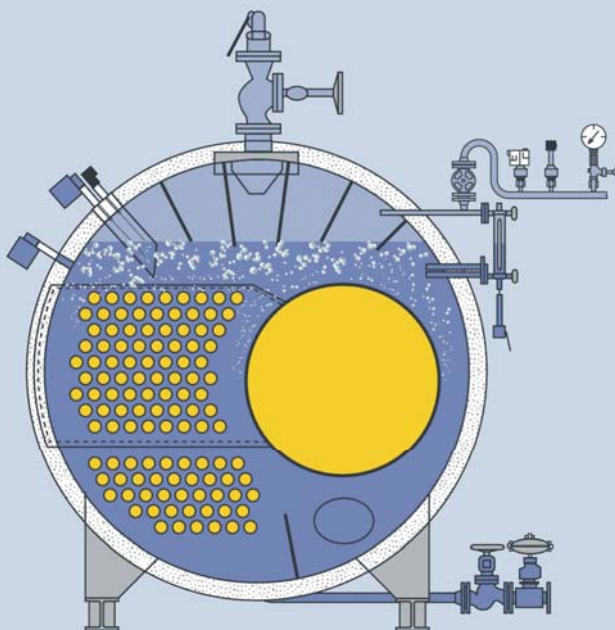
Zkušenost ukázala, že při nastaveném rozpětí 10 až 15 % mezi $P_{\text{hořák.zap}}$ a $P_{\text{hořák.vyp}}$ (v závislosti od regulace hořáku a od provozního tlaku kotle) vztaženo na pojistný tlak kotle, lze se těchto problémů vyvarovat.

Příliš „rychle“ nastavený výkonový regulátor

Moderní spalovací automaty mají možnost variabilně přestavovat dobu reakce hořáku, tj. dobu provozu hořáku na nízké zatížení a na vysoký výkon. Současně může být pomocí regulačních parametrů ve výkonovém regulátoru ovlivněna reakce hořáku na odchylky od žádané hodnoty. Válcové kotle se svým vysokým podílem konstrukčního materiálu a velkým vodním obsahem jsou ve své podstatě těžkopádně reagující systém. Příliš „rychle“ nastavený výkonový regulátor, eventuálně ve spojení s velmi krátkými reakčními časy hořáku vedou k příliš rychle stoupajícímu přívodu tepla v plamenci. Odvádění tohoto tepla na straně vody se děje pomocí parních bublin, které se zde tvoří a stoupají do parního prostoru (obr. 4). Tvorba parních bublin, ale probíhá v lehkém časovém posunu. To má za následek vznik krátkodobých místních přehřátí a dodatečných zatížení od teplotních změn, které dlouhodobě urychlují únavu materiálu v oblasti otápěných ploch kotle.

Zásadně doporučujeme, aby uvádění zařízení do provozu s nastavením spalovacího systému a regulačního procesu bylo provedeno odborným personálem.

Obr. 4: Schematické zobrazení odvodu tepla z vysoce zatížených teplosměnných ploch pomocí tvorby parních bublin



Chybějící koncepce řízení paralelního provozu kotlů u kaskád kotlů

Jestliže nejsou kaskády kotlů vybavené automatickým řízením paralelního provozu, nabývá obslužný personál velkého významu. Obsluha musí odpojit kotel, když odběr výkonu již nevyžaduje provoz více kotlů. Následky toho, když se to nestane, jsou např. znázorněné v níže uvedeném diagramu. Zobrazení ukazuje, že během celého časového úseku mohla být požadovaná spotřeba páry (modrá čára) pokrývána jen kotlem 1 (červená čára, s výkonem 10 t/h). Četná připojení kotle 2 (zelená čára) spojená s již zmíněným zatížením od změn teploty jsou tedy zcela přebytečná.

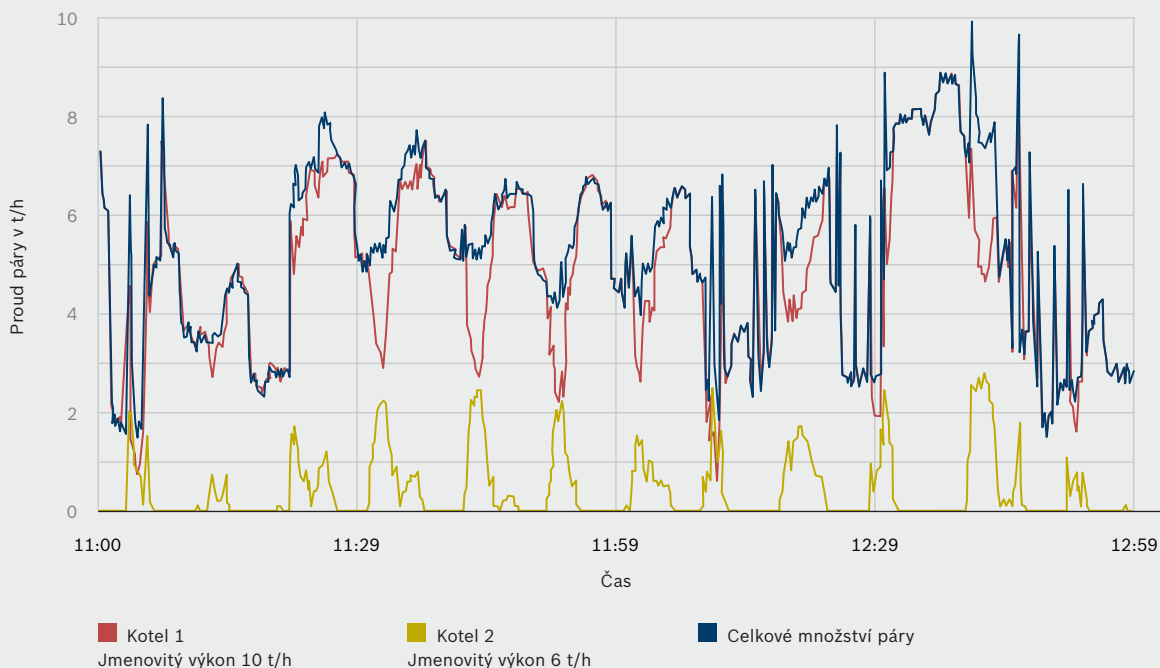
Dále se dá na diagramu rozpoznat vzájemné ovlivňování obou kotlů. Zatímco kotel 1 (červená čára) redukuje svůj výkon, zvyšuje kotel 2 (zelená čára) výrobu páry a naopak. To znamená, že kotle pracují „proti sobě“ a střídavě se přetlačují. Za těchto okolností nemůže již být garantováno volné odvádění tepla z otopných ploch kotle. Koncepce řízení paralelního provozu kotlů se proto doporučuje již pro kotelny se dvěma kotli a je naléhavě potřebná u kotelny se třemi a více kotli.

Jaký druh řízení paralelního provozu kotlů bude instalován (zapínání a vypínání kotlů, závislé na množství nebo na tlaku) je na jedné straně závislé na počtu kotlů, na druhé straně na tom, jaké kolísání tlaku bude akceptováno na straně spotřebitelů. U řízení paralelního provozu kotlů v závislosti na dodaném množství páry může být realizovatelná šířka pásma kolísání tlaku podstatně nižší.

Je třeba také dbát na dále uvedené body:

- ▶ Parní kotle v kotelnách s více kotli musí být jeden od druhého hydraulicky odděleny, aby se zamezilo vzájemnému ovlivňování (např. pomocí zpětných armatur).
- ▶ Již v projekční fázi je třeba zohlednit požadavek, aby následné kotle byly vybaveny topným hadem, který by zamezil vrstvení kotlové vody během provozní fáze udržování kotlů v teplém stavu.

Graf 1: Znázornění průběhu parního výkonu v kotelním zařízení se dvěma parními kotli bez koncepce řízení paralelního provozu kotlů.



Vlivy ze strany odběratelů

Časté najíždění ze studeného stavu

Najíždění ze studeného stavu představuje největší mechanické zatížení tělesa kotle. Příčinou je velký teplotní rozdíl mezi plamenem a pláštěm kotle při studeném startu ve srovnání s regulovaným provozem při provozní teplotě. Posun plamence (rozdíl mezi změnou délky kotlového pláště a plamence) je během najíždění větší a tím dochází ke značným přídatným napětím, které musí těleso kotle překonávat. Toto mechanické zatížení je ještě zesíleno, když během najížděcí procedury nedochází k žádné nebo jen velmi nepatrné tvorbě parních bublin, což například nastává při uzavřené parní odběrové armatuře. Nenastane přirozený oběh vody (obr. 5), který normálně v kotli probíhá. To má za následek vznik teplotního rozvrstvení vody v kotli (dole studená, nahoře horká voda) s přídatnými teplotními napětími. Při velmi častých studených startech mohou tato extrémní střídavá zatížení vést ke vzniku trhlin v materiálu, resp. v nejhorším případě ke kompletnímu selhání zařízení.

Při snížení najížděcího zatížení je třeba respektovat následující body:

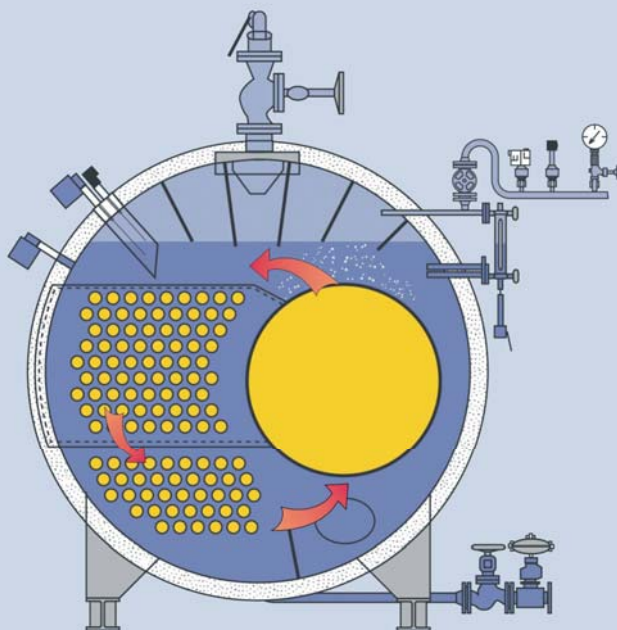
- ▶ Najíždění ze studeného stavu až na provozní teplotu provádět s nejmenším možným výkonem hořáku.
- ▶ Během najížděcí procedury nechat trvale odvádět malé množství páry, aby se v kotli nastartoval přirozený oběh pomocí vztlaku parních bublin.

- ▶ Ideální by bylo zařízení s automatickým najížděcím zařízením, které by v závislosti na teplotě a tlaku vody regulovalo provoz hořáku a odběr výkonu tak, aby najížděcí zatížení bylo redukováno na nízkou úroveň.

Dlouhé časové úseky ve stand-by režimu

Během provozního režimu udržování kotle v teplém stavu nebo stand-by provozu (např. při provozu zařízení s více kotli, když provoz následného kotle není požadován), jsou u takového kotle zamezeny jakékoliv odběry páry. Dle uplatněné koncepce řízení je to provedeno buď uzavřením parní odběrové armatury, nebo je následný kotel provozován při tlaku nižším, než je tlak panující v rozvodné síti. Při tomto způsobu provozu se startuje hořák jen sporadicky, aby se vyrovnaly ztráty tepla vedením a sáláním. Jestliže se tento stav udržuje po delší dobu (> 3 dny), začíná se v kotli tvořit rozvrstvení teplot. Pakliže je takto odstavený kotel opět připojen do normálního provozu, teplejší horní vrstva simuluje vysoký provozní tlak a to vede k vyhodnocení, že kotel je okamžitě k dispozici. Řídicí systém kotle pak umožní takovému kotli ve velmi krátkém čase vysoké zatížení hořáku odpovídající požadavku na odběr páry. Vlivem nastalého rozvrstvení teplot v kotli dochází pak k extrémním tepelným zatížením materiálu.

Obr. 5: Schematické zobrazení přirozeného oběhu tvořícího se v kotli



Při tomto problému může pomoci zabudování topného hadu (obr. 6) pro udržování teploty u dna kotle. Vytápění tohoto trubkového svazku párou se provádí zesponu, čímž se bezpečně zamezí vytváření teplotního rozvrstvení v kotli. Uplatnění této varianty řešení je nicméně možné jen u kotelních zařízení s více kotli, nebo když je k dispozici bezpečný zdroj cizí páry

Kolísání tlaku v důsledku silného kolísání odběru

Při silných změnách zatížení, tj. při vysokých rychlostech změn odběru páry a odtud pocházejících silných kolísáních tlaku, se mohou v kotli objevit nepříznivé stavy proudění. Tvorba parních bublin, která je nutná pro potřebné odvedení tepla z teplosměnných ploch, může stagnovat, případně může vést ke spojování mnoha malých do velkých parních bublin, které se neuvolňují ihned z výhřevných ploch, a tím napomáhají místnímu přehřátí. Z tohoto důvodu by měly být u kotelních zařízení, která zásobují spotřebiče s extrémně kolísavým odběrem výkonu, přijata zvláštní opatření, jimiž by bylo kolísání tlaku v kotli omezováno nezávisle na straně odběru. Lze toho docílit např. pomocí těchto opatření:

- ▶ Vyšší provozní tlak kotle a zapojení redukční stanice mezi kotle a spotřebiče.
- ▶ Zapojením parního akumulátoru pro krytí špiček odběru.
- ▶ Zařízením pro udržování tlaku, instalovaným za kotel, s řízeným ventilem na odběru páry, které ochrání kotel před příliš silným poklesem tlaku.

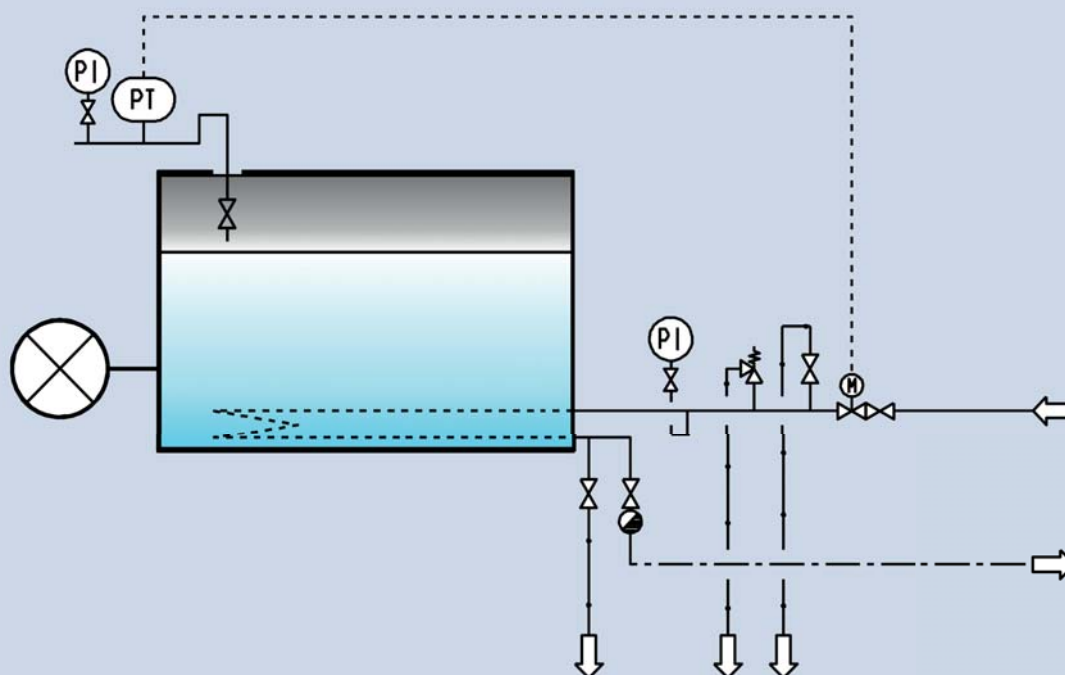
Shrnutí


Zmíněné odstranitelné příčiny zatěžování kotlů ukazují, že se jedná o komplexní okruh témat, která se rozprostírají od projekce přes výrobu, montáž a seřízení až k provozu zařízení. Kompletní výklad všech relevantních problémů v rámci tohoto materiálu není možný.

Na základě věcné složitosti parních kotelních zařízení je třeba bezpodmínečně respektovat následující body:

- ▶ Projekci parních kotelních zařízení by měla provádět jen odborně zdatná zkušená firma, protože mnoha možným zdrojům chyb je možné předcházet již v přípravném stádiu projekce.
- ▶ Kvalita nasazených kotlů, hořáků a dalších komponent kotelního zařízení má rozhodující vliv na bezproblémový a bezporuchový provoz zařízení.
- ▶ Ke správné instalaci zařízení je zapotřebí kompetentní montážní firma, která má komplexní znalosti o souhře různých komponent kotelny.
- ▶ Způsob provozu a péče o zařízení obslužným personálem má velký význam a má rozhodující vliv na životnost zařízení parních kotlů.
- ▶ Značnou výhodou je vždy smlouva s výrobcem kotle na údržbu a teleservis.

Obr. 6: Schematické zobrazení regulovaného topného hadu na dně kotle.





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

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 |