



## Odborná informace

Dipl.-Ing. Hardy Ernst  
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH)  
Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH



**BOSCH**  
Stvořeno pro život

## Zásady pro optimální projektování průmyslových kotlů

Úspora energií a redukce emisí není pouze vizí našich politiků, ale z důvodu vlastního užitku také cílem každého provozovatele kotleny. S moderními zařízeními na výrobu energií a efektivními zařízeními na zpětné získávání tepla ze spalin je možné redukovat ztráty na minimum.

Velice často se ale zapomíná na dynamické vlivy. V tomto příspěvku jde o snížení investičních a provozních nákladů při výrobě páry a tepla pro průmysl a komunální oblasti až do výkonu 55 t/h nebo 38 MW/kotel.

### Programy pro vytápění místo většího kotle

Pečlivé stanovení tepla/množství páry tvoří základní kámen každé optimalizace. Jednotky, které jsou předdimenzovány, aby pokryly občasné špičky výkonu, pracují v oblasti malých výkonů za častého zapínání/vypínání hořáků mnohokrát neekonomicky a neekologicky. Pomocí najížděcích a vytápěcích programů řízených podle skutečné spotřeby, u kterých se časově zohlední přednostní spotřebiče před těmi, které lze připnout později, může být kotel dimenzován na menší výkon. Tím se současně zvětší regulační rozsah pro ekonomické využití ve fázi malých výkonů.

### Oddělení páry pro výrobní procesy a pro vytápění budov snižuje provozní náklady

Tepelný spotřebič s nejvyšší teplotou/tlakem je určující pro stanovení konstrukčního tlaku kotle. Se stoupajícím konstrukčním tlakem rostou náklady celé kotleny. Je proto neekonomické, když s parním středotlakým kotlem navrženým podle požadavků výroby, je také pokryto vytápění budov. Nízká tepelná úroveň a spotřeba tepla mimo výrobní doby vyžaduje samostatný zdroj tepla pro vytápění. Dále k tomu přibudou úspory nákladů na provozování a kontroly pro kotle s maximální provozní teplotou do 110°C. Za jistých okolností je dokonce účelné použít pro samostatný spotřebič s extra vysokým tlakem a poměrně malým tepelným výkonem samostatný parní kotel.

## Extrémní požadavek na minimální výkon vyžaduje rozdělení celkového výkonu

Kromě spolehlivosti zásobování energií je velký rozdíl mezi nejmenší a největší spotřebou tepla dobrým důvodem pro rozdělení celkového výkonu na více jednotek. Nejmenší požadavek na výkon leží často pod minimálním výkonem jednoho kotle, takže rozdělení výkonu je v tomto případě smysluplné. Tím se předejde provozu s velkými ztrátami, neekologickému cyklování zap/vyp a předčasnému opotřebení zařízení. U velkých kotelen určuje hranice výkonu kotlů jejich počet. Optimální je rozdělení celého výkonu do stejně velkých jednotek. Snížený počet náhradních dílů a jejich zaměnitelnost jsou dostatečně dobré důvody. Pouze v případě, že s tímto rozdělením není pokryt požadavek na nejmenší odběr, má být nasazen patřičně přizpůsobený kotel.

## Pro velké výkony jsou výhodnější dvouplamencové kotle

Výkon jednoplamencového kotle je omezen konstrukčními možnostmi a předpisy.

Bosch Industriekessel vyrábí jednoplamencové kotle až do výkonu cca 19 MW evtl. 28 t/h. Pro celkové výkony, které nemůžou být pokryty jedním kotlem, je nasazení jednoho dvouplamencového kotle ve srovnání s více jednoplamencovými kotli často výhodnější. Nižší náklady na instalaci, údržbu a zkoušky jsou dostatečné důvody pro toto řešení.

## Dvouplamencový kotel se samostatným provozem obou hořáků

U většiny výtopen se očekává dynamické přizpůsobení na silně kolísavý odběr. Proto by měly být použity dvouplamencové kotle, které jsou přizpůsobené a schválené pro neomezený provoz s jedním hořákem. Tyto jsou nejen vybaveny oddělenými spalinovými cestami, ale také speciálně konstruované pro provozní stav „provoz s jedním plamenem“. Hořáky jsou pro tento provoz plně vybavené a můžou být provozované jednotlivě nebo paralelně. Automatickým kaskádovým připínáním a odepínáním hořáků v závislosti na tepelném požadavku má každá kotlová jednotka automaticky k dispozici regulační rozsah od minimálního výkonu jednoho hořáku až po současný maximální výkon obou hořáků.

Tím se modulovaný regulační rozsah zdvojnásobí a četnost spínání hořáků v oblasti minimálního výkonu se zmenší na polovinu. Plynulá dodávka paliva v celém regulačním rozsahu zabezpečuje nepřerušovaný přenos tepla a dynamickou cirkulaci vody v kotli. Při výpadku jednoho hořáku je nadále k dispozici 50% výkonu kotle (obrázek 1).

## Optimální kombinace kotle a hořáků zvyšuje prospěch zákazníka

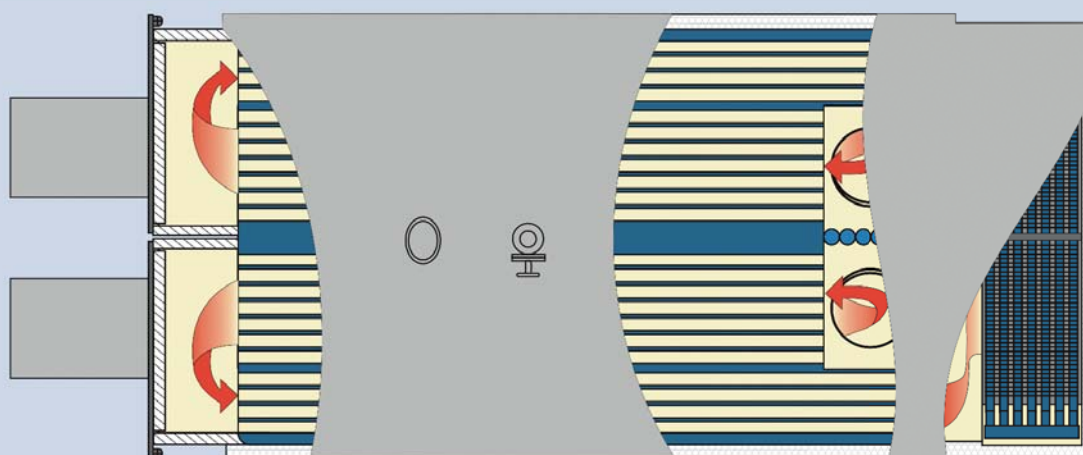
Pro zadaný tepelný požadavek nabízí dobrý výrobce kotlů různé kombinace kotle/hořák. Pro stanovení té nejlepší kombinace kotle/hořák pro to nejlepší využití zákazníkem je nutné důkladné prozkoumání jednotlivých alternativ. V tabulce 1 jsou porovnány 2 typy kotlů pro celkový tepelný výkon 1800 kW, 90/70° C s plynovým spalováním.

Nasazením nejbližšího většího kotle typu UT-L 16 s hraničním tepelným výkonem 2 000 kW má zákazník lepší využití s následujícími výhodami:

- ▶ použití menšího hořáku
- ▶ větší regulační rozsah hořáku
- ▶ snížené počty startů hořáku v oblasti malého výkonu
- ▶ vyšší účinnost kotle
- ▶ nižší spotřeba paliva
- ▶ nižší hodnoty emisí NO<sub>x</sub> ve spalínách
- ▶ nižší investiční náklady, protože vyšší cena kotle je kompenzována nižší cenou hořáku

Volba nejbližšího většího typu kotle však ne vždy umožňuje nasazení menšího hořáku. Proto je nutné přezkoumat možnost nepatrného snížení tepelného výkonu kotle zvláště při rozdělení celkového výkonu na více kotlů v kotelně.

Obrázek1: Dvouplamencový žárotrubný třítahový kotel s oddělenými spalinovými cestami pro provoz s jedním plamenem a s integrovaným ekonomizérem pro předehřev napájecí vody



**Tabulka 1: Porovnání dvou kombinací kotel/hořák**

Kombinace kotel/hořák	A	B
Typ kotle UT-L	14	16
Jmenovitý výkon v kW	1800	1800
Hraniční výkon v kW	1900	2000
Odpor kotle v mbar	7.5	5
Požadovaný typ hořáku G	9	20
Výkon motoru hořáku v kW	6,5	3
Regulační rozsah hořáku	1 : 3.9	1 : 5.6
Účinnost kotle v %	91.14	92.37
Spotřeba paliva v m <sup>3</sup> /h	191	188
Spec. tepelné zatížení spal. komory v MW/m <sup>3</sup>	1.77	1.08
NO <sub>x</sub> -obsah v spalinách v mg/ m <sup>3</sup>	150	130
<b>Investiční náklady</b>		
kotel + hořák v %	100	93.2

### Vydělat peníze s pomocí spalinových výměníků tepla

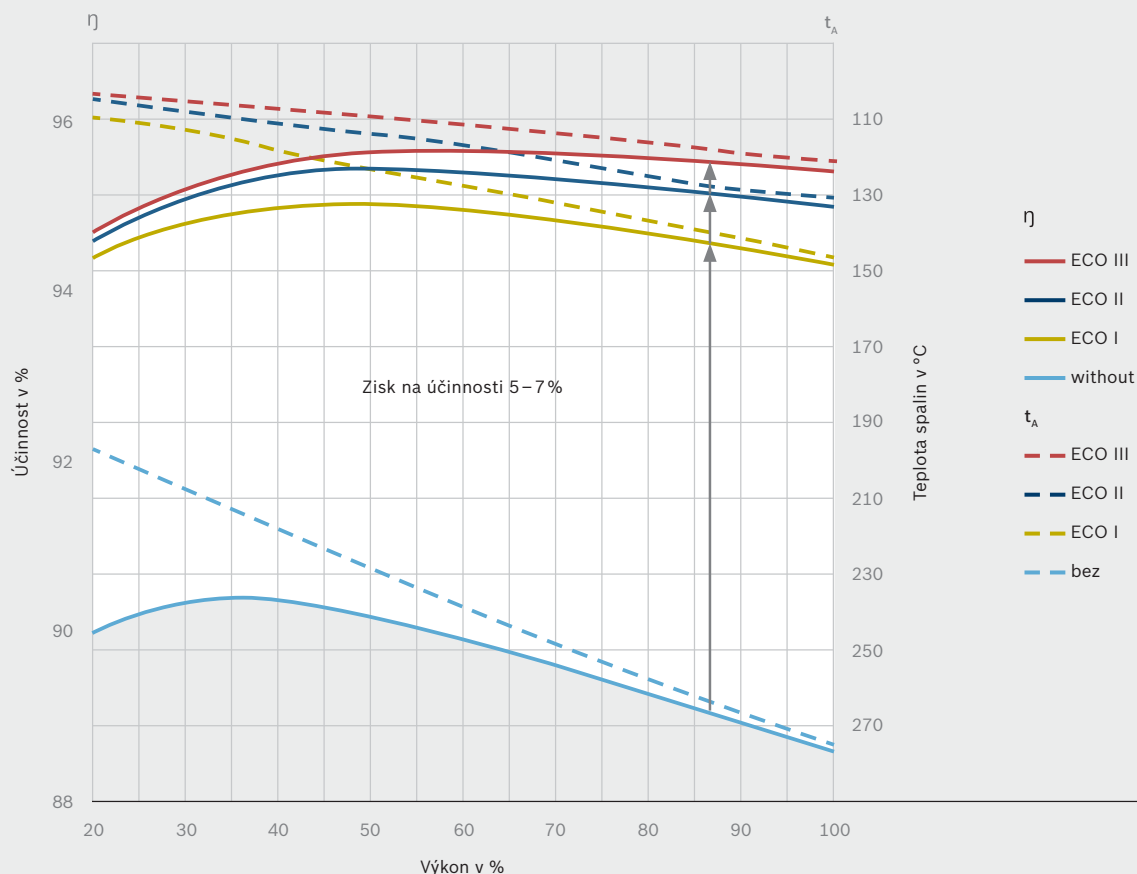
Použití spalinového výměníku tepla nabízí ideální možnost úspor energií a ochrany životního prostředí

#### Spalinový výměník tepla pro „suchý provoz“

Parní kotle jsou většinou provozovány s plně odplyněnou napájecí vodou s teplotou kolem cca 103°C. Teplota spalin na výstupu z kotle je závislá na teplotě kotlové vody a příslušného výkonu

kotle. Pro optimalizaci výkonu je v ekonomizéru převedeno teplo z proudu spalin do napájecí vody.

U parního kotle UNIVERSAL UL-S (jednoplamencový systém do 28 t/h) a ZFR (dvouplamencový systém do 55 t/h) s integrovaným spalínovým výměníkem je ekonomizér integrovaný v tepelně izolované spalínové komoře a v rámci přípustných transportních rozměrů kompletně předmontován a připraven k instalaci potrubí. Tím odpadají požadavky na dodatečný základ a montáž na stavbě.

**Graf 1: Dosažitelná optimalizace výkonu za použití spalínového výměníku pro „suchý provoz“**

Pro přestavby lze spalínový výměník ECO Stand Alone nainstalovat za kotel a následně připojit.

„Suchý“ způsob provozu se hodí pro lehký topný olej i pro zemní plyn také ve spojení s komíny citlivými na vlhkost. Podkročení teploty rosného bodu lze zabránit pomocí regulace teploty spalin. Ekonomizér s krytem, spalínové kanály a eventuelně taky potřebný tlumič hluku mohou být provedeny z oceli. S ekonomizéry pro „suchý“ provoz lze dosáhnout účinnost přes 95% (graf 1).

Horkovodní kotle pro procesní teplo a dálkové vytápění jsou provozovány většinou s teplotou zpátečky ze systému přes 100°C, takže i tady lze použít ekonomizéry pro „suchý“ provoz. Tady se zpravidla vede přes ekonomizér pouze část vody ze zpátečky.

Systémy ekonomizérů u horkovodních kotlů jsou u nových kotlů integrovány ve spalínové komoře a pro přestavby určené k přímé instalaci za kotel. Podle požadavků jsou volitelně vybaveny regulací na straně vody anebo spalin pro zamezení podkročení teploty rosného bodu v ECO a/nebo v komíně.

Kotle určené pro přímé vytápění budov jsou provozovány na co nejnížší teplotní úrovni. V závislosti na výstupní teplotě a teplotě zpátečky a jejich rozdílu je střední teplota vody v kotli mezi 60 - 100°C. U ekonomicky pracujících kotlů mohou teploty spalin dosahovat 160 - 190°C při plném výkonu a 120 - 150°C při malých výkonech. Kotle pro vytápění budov pracují na plný výkon pouze několik málo dní v roce. Nejvyšší počet provozních hodin v roce leží v rozsahu středních a nízkých výkonů. Dosažitelné účinnosti v těchto oblastech částečného vytížení leží již mezi 93 - 94%. Připojený spalínový výměník tepla pro „suchý provoz“ redukuje teploty spalin až na 75°C a dosáhne tak zlepšení účinnosti až na 98%.

### Spalínový výměník pro „mokrý“ provoz

Kotle se spalováním zemního plynu produkují spaliny bez sazí a síry. V mezidobí je k dispozici také bezsírnatý topný olej (obsah síry maximálně 50 ppm = 0,005 hmotnostních %), který umožňuje spalování bez zbytků stejně jako zemní plyn. U těchto spalin lze využít tepelný výkon z kondenzačního tepla.

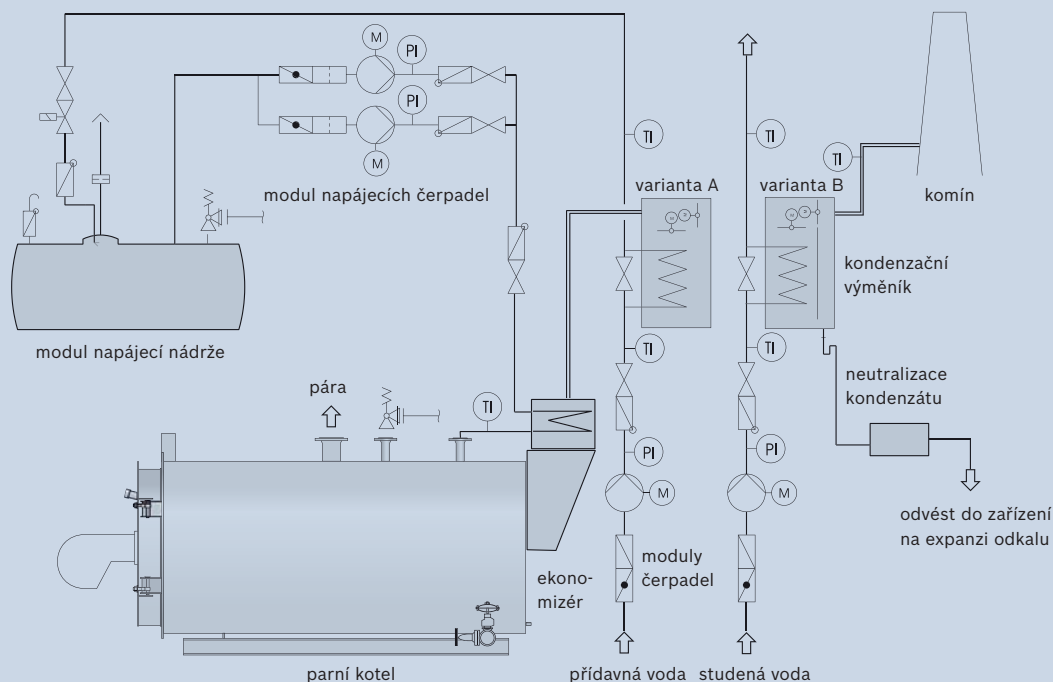
U průmyslových parních kotlů lze za ekonomizérem pro „suchý“ provoz, určený k předehřevu napájecí vody, nasadit další výměník z nerezové oceli jako spalínový kondenzátor. Všechny navazující spalínové cesty musí být taktéž provedeny z nerezové oceli a kondenzační potrubí musí být také v korozivzdorném provedení. Podmínkou pro využití kondenzace spalin je nízkoteplotní spotřebič. Příklad: v provozu se spotřebiči s přímou spotřebou páry, bez vratného kondenzátu, lze předehřát chemicky upravenou napájecí vodu a/nebo připravit teplou užitkovou vodu (obrázek 2).

Pro horkovodní kotle nelze kondenzaci spalin využít, protože teploty zpátečky leží výrazně nad rosným bodem.

Teplovodní kotle se spalováním zemního plynu nebo bezsírnatého topného oleje mohou být pro optimalizaci výkonu také vybaveny spalínovými výměníky pro „mokrý“ provoz (obrázek 3). Nízkoteplotní topné okruhy jsou vedeny přes nerezový spalínový výměník a zaručují tak kondenzaci spalin.

Účinnost kotle může v závislosti na teplotě zpátečky narůst až na 105%, vztaženo na výhřevnost paliva (graf 2). Při provozu s volitelným duálním spalováním plynu/oleje je spalínový výměník vybaven bypasem na straně spalin a regulační klapkou pro obejití výměníku při provozu na sírný olej.

Obrázek 2: Parní kotel s dvoustupňovým provozem – ekonomizér/kondenzační výměník; úspora paliva až 15%  
 Ekonomizér: předehřev napájecí vody pro „suchý“ provoz  
 Kondenzační výměník: předávná/teplá užitková voda pro „mokrý“ provoz



### Likvidace kondenzátu

Při měření hodnoty pH jako stupně kyselosti kapalin má kondenzát ze spalování zemního plynu hodnotu pH mezi 2,8 až 4,9, evtl. ze spalování nízkosírného oleje hodnotu pH mezi 1,8 - 3,7. Teploty kondenzátu se pohybují mezi 25 - 55°C. Pro neutralizaci se u malých zařízení používá filtr s obnovitelnou náplní dolomitu a u velkých zařízení zásobník s dávkovacím zařízením pro louh sodný. Při správném výběru a dimenzování neutralizačního zařízení lze dosáhnout požadovaných hodnot pro vypouštění do veřejné kanalizační sítě. Povolení pro vypouštění je nutné vyžádat u příslušné instituce.

### Vícekotlové zařízení s optimalizovaným řízením kaskády

Koncept vícekotlového zařízení nabízí možnosti ke zvýšení celkové ekonomiky a k optimalizaci výkonu. Jako příklad je znázorněna kotelná s více kotli pro vytápění budovy. Ve srovnání s jedním kotlem jsou tady vyšší požadavky na hydraulické a regulační zapojení.

### Regulace topných okruhů

Spotřebiče vyžadují co nejlepší přizpůsobení zdroje na své požadavky na dodávku tepla při co nejvyšší míře spolehlivosti v zásobování teplem. Kolísající požadavky na množství tepla se nejlépe vyrovnávají dodržováním konstantních průtoků s proměnlivými teplotami. Za tímto účelem se do topných okruhů instalují trojcestné směšovací armatury, které přimíchávají zpátečku do výstupní větve. Ekvitermní regulace topných okruhů působí na trojcestné směšovací armatury a zásobuje spotřebiče vodou o teplotě, která zabezpečí požadované množství tepla.

### Regulace kotlového okruhu

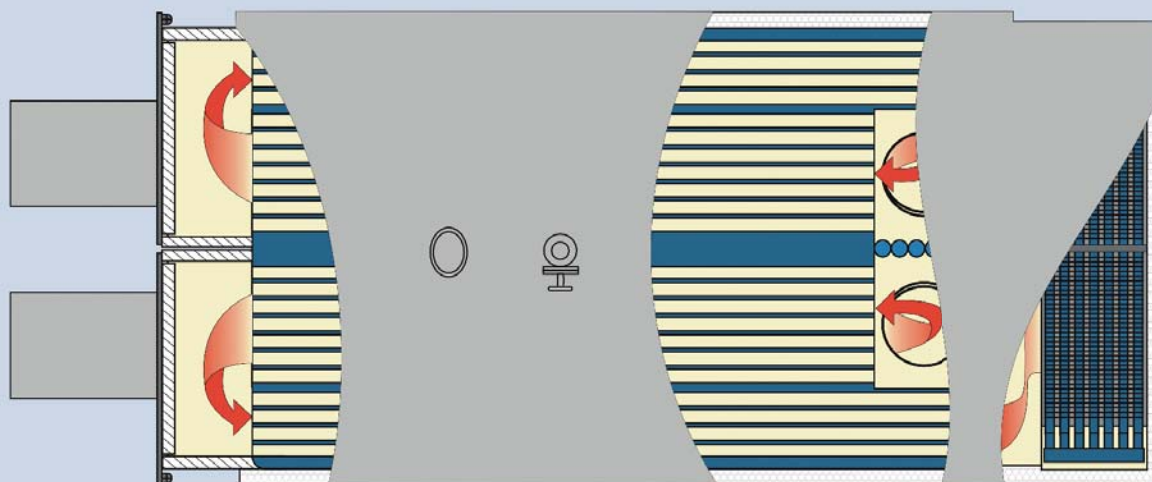
Teplotodní a horkovodní kotle vyžadují dodržování minimální teploty zpátečky, aby se předešlo podkročení teploty rosného bodu. Za tímto účelem se používají trojcestné směšovací armatury, sloužící k přimíchávání výstupní vody do zpátečky (udržování teploty zpátečky). Jedním nebo více kotli vyrobená tepelná energie se snižuje anebo zvyšuje v závislosti na venkovní teplotě a teplotním rozdílu mezi výstupní teplotou a teplotou zpátečky z topného systému.

Nepostačuje-li vyrobené teplo vedoucím kotlem, připojují se postupně kotlová čerpadla a hořáky dalších kotlů v kaskádě. Další kotel kaskády se nejprve pomocí kotlového čerpadla ohřeje na minimální teplotu zpátečky, teprve pak dochází k předání tepla do systému (obr. 4). Při sníženém požadavku na teplo se sníží výkon hořáku. Aby se předešlo častému cyklování, je zapínání a vypínání hořáku časově zpožděno.

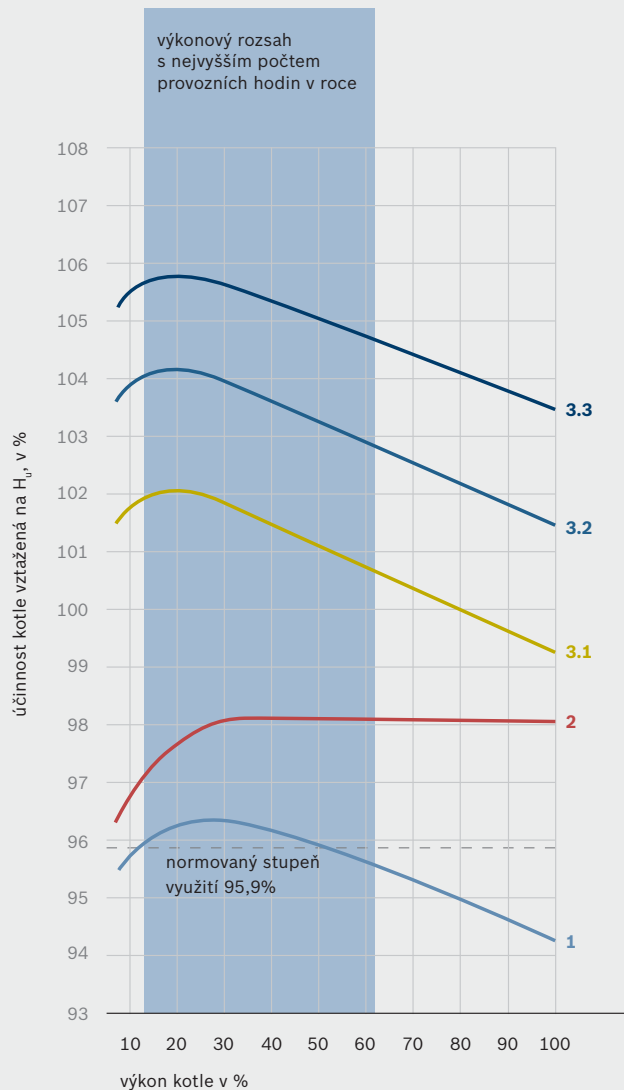
### Objemové toky

Hydraulické zapojení více kotlů vyžaduje rozdílné objemové toky v primárním kotlovém okruhu a v sekundárních topných okruzích. Tyto se však navzájem ovlivňují. „Pevné“ zapojení sekundárních okruhů do série s primárním okruhem může způsobit nežádoucí vlivy, např. když se přivrou směšovací armatury topných okruhů, může se objemový tok v primárním okruhu snížit natolik, že se bude blížit nule. To znamená, že požadavek na minimální průtok vody kotlem není dodržen a teplotní čidlo na výstupu z kotle není dostatečně omýváno vodou.

Obrázek 3: Jednoplamencový žárotrubný teplotodní/horkovodní kotel třítahové konstrukce se spalinovým výměníkem



**Graf 2: Průběh účinnosti u teplovodního kotle UNIMAT s teplotním spádem 70/50°C**



- 1 kotel bez spalínového výměníku
- 2 kotel se spalínovým výměníkem na suchý provoz
- 3 kotel se spalínovým výměníkem pro využití kondenzace
- 3.1 vstupní teplota 50°C
- 3.2 vstupní teplota 40°C
- 3.3 vstupní teplota 30°C

### Hydraulická výhybka

Absolutně nejspolehlivější řešení těchto problémů představuje použití hydraulické výhybky. Tím se objemové toky primárního a sekundárních okruhů plně hydraulicky oddělí a jejich vzájemné ovlivňování je vyloučené. Umístěním společného čidla výstupní vody na sekundárním výstupu výhybky je zaručeno jeho dostatečné omývání vodou hned s prvním požadavkem na teplo. Kotle, které nejsou právě v provozu, musejí být v souladu s předpisy hydraulicky uzavřené. Každým kotlem protéká přibližně stejné množství vody. Kotlová čerpadla mají odpovídat svou velikostí výkonu jednotlivých kotlů. Jejich celkový výkon by měl činit minimálně 1,1 a maximálně 1,5násobek celkového objemového toku v topných okruzích.

### Regulace

Bezpečná funkce a možnost optimalizace kaskády kotlů vyžaduje nasazení výkonného regulačního systému. Kromě splnění požadavku na funkčnost a dobrou regulovatelnost má být dosaženo nejnižší spotřeby energie s nejnižšími dopady na životní prostředí. Regulační systém musí být schopen regulovat kaskádu kotlů v závislosti na venkovní teplotě (regulace na základě výstupní teploty vody nebo na základě měření množství tepla). Regulace jednotlivých kotlů, zapínání a vypínání hořáků a kotlových čerpadel je plně v kompetenci kotlové regulace každého kotle. Prostřednictvím společného systému pro přenos dat na bázi BUS se uskutečňuje trvalý přenos dat mezi jednotlivými regulacemi kotlů BOILER CONTROL (BCO) a nadřazeným systémem kotelny SYSTEM CONTROL (SCO), takže zařízení může automaticky pracovat podle nejvyšších požadavků.

### Shrnutí

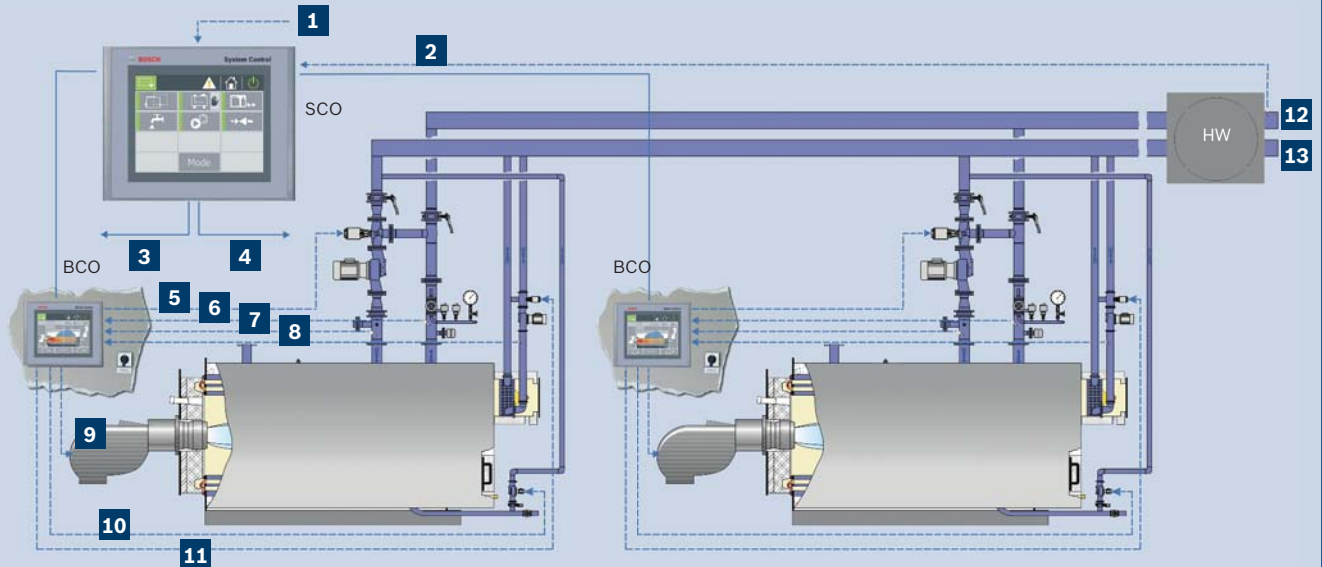
Optimalizace výkonu začíná důkladnou analýzou výkonových parametrů – množství tepla, tlaku a teploty. Důležitou úlohu mají špičkové výkony a minimální odběry. V souladu s tím se stanoví počet kotlů s přiměřenými výkony. Musí se vyřešit otázka oddělení tepla pro výrobu a vytápění.

U velkých výkonů se nabízí využití dvouplamencových kotlů s odděleným provozem jednotlivých hořáků, které nese řadu výhod pro optimalizaci. Kotel a hořák je nutné pokládat za jednu funkční jednotku, aby výrobce mohl stanovit optimální kombinaci kotel/hořák přesně podle požadavků. V závislosti na druhu paliva lze použít různé typy spalínových výměníků.

Nejvyšší optimalizace výkonu je dosažena využitím kondenzace spalín. Kaskády kotlů s programovatelnými regulacemi nabízejí rozsáhlé možnosti optimalizace výkonu. Teplovodní a horkovodní kotle mohou být řízené ekvitermně a pracovat tak s nejvyšším využitím, pokud tomu odpovídá hydraulické zapojení.

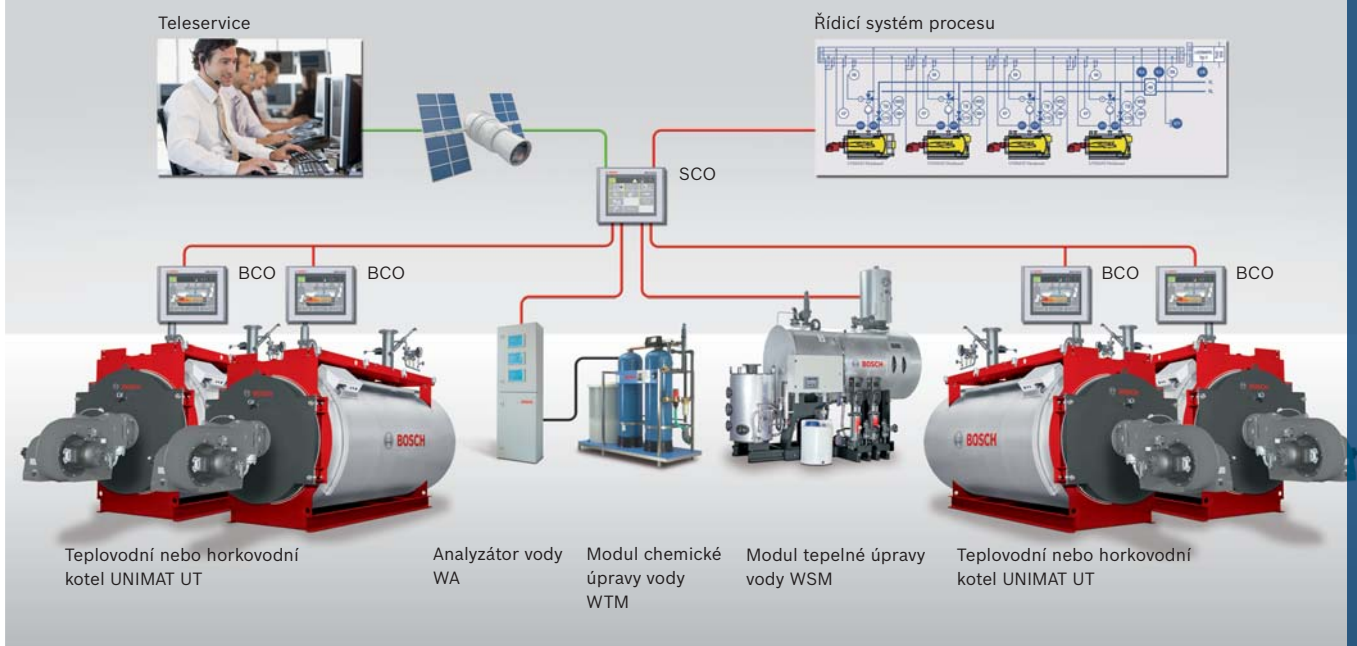
Projektantovi zařízení stojí k dispozici rozsáhlé možnosti pro realizaci optimalizovaného tepelného zdroje. Mají být rozpracované detailní rozbory jednotlivých alternativ řešení s energetickou a hmotnostní bilancí.

Obrázek 4: Ekvitermní regulace teplovodních kotlů s hydraulickou výhybkou



- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> čidlo venkovní teploty                  | <b>8</b> teplota zpátečky                         |
| <b>2</b> teplota vody do sítě pro řízení kaskády | <b>9</b> vstupní teplota do ekonomizéru           |
| <b>3</b> Teleservice                             | <b>10</b> regulace výkonu                         |
| <b>4</b> nadřazený systém měření a regulace      | <b>11</b> regulace vstupní teploty do ekonomizéru |
| <b>5</b> zabezpečení teploty zpátečky            | <b>12</b> výstup                                  |
| <b>6</b> výstupní teplota                        | <b>13</b> zpátečka                                |
| <b>7</b> teplota zpátečky                        |   |

Obrázek 5: Systém regulace kotlů a kotelů BCO/SCO pro kompletní teplovodní/horkovodní kotelnu



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 |