



ÚČINNOST A ENERGETICKÉ ZTRÁTY KOTLŮ

RAEN spol. s r.o.

I. Úvod

Účelem tohoto produktu je detailním způsobem seznámit především energetické auditory a pracovníky energetického poradenství s dosavadními praktickými zkušenostmi, které souvisí s návrhy a provozováním kotlů s kondenzací spalín pro různé případy technického použití v praxi. Při správném využívání (projekt, instalace, provoz) jsou kondenzační kotle významným přínosem pro úspory energie.

Zkušenosti z posledních let totiž ukazují, že při návrzích kotlů a především při jejich provozování vznikají velmi závažné nedostatky a chyby, které následně vedou ke zbytečným vysokým energetickým provozním ztrátám těchto kotlů a jejich provozu s poměrně velmi malou účinností. Tento stav je v mnoha případech neudržitelný a značně poškozuje především provozovatele těchto kotelních zařízení. Navíc se prokazuje, že investičně velmi drahá technologie se často aplikuje naprosto nevhodným, sporným způsobem, kdy dochází nejen k plýtvání používané primární energie, ale i investičními prostředky.

Na provozní ne hospodárnosti se podílí často i samotná konstrukce dováženého kondenzačního kotle, která již ve svém principu hospodárny provoz neumožňuje a nebo pouze ve velmi omezené míře.

Ukazuje se tedy, že výroba tepla v kondenzačních kotlích je často prováděna ne hospodárně s malou účinností a že tato technologie zatím nepřináší výsledky, které se od ní očekávaly a nebo jsou mnohdy prezentovány i samotnými výrobci kotelních zařízení.

Účelem tohoto produktu je také zpracovat přístupnou formou výše uvedenou problematiku celkového přístupu při aplikacích kondenzačních kotlů, jejich navrhování a odstraňování zbytečných energetických ztrát při výrobě tepla touto technologií.

Náplň a obsah práce :

Produkt obsahuje tyto základní části :

1) Úvodní část, jak provádět hodnocení zdrojů tepla obecně, principy spalování tuhých a plyných paliv. Principy a možnosti kondenzace spalín a charakteristické hodnoty kondenzačních kotlů. Tato část má teoretický charakter, kde jsou uvedeny různé druhy paliv a rosné body spalín při jejich spalování za různých provozních a spalovacích podmínek. Kritéria k určování vhodného paliva pro kondenzační technologii a konkrétní provozní podmínky. Konstrukce kotlů a používaných hořáků, umožňující spolehlivé používání kondenzační technologie. Stechiometrie spalování, výpočtové a grafické metody k určování teploty rosného bodu spalín při použití různých druhů paliv. Metody hodnocení účinnosti spalovacího procesu kondenzačních kotlů v závislosti na provedení vytápěcí či ohřívací soustavy a na teplotě spalín vystupujících z kotle. Kritéria pro volbu vhodného druhu kondenzačního zařízení a různé provozní podmínky v praxi.

2) Praktické příklady návrhu a použití kondenzačních kotlů v technické praxi.

Zde jsou uvedeny praktické ukázky různých druhů kondenzačního zařízení a jeho provozní hodnocení v technických podmínkách, které se v praxi vyskytují. Ukázka komplexního hodnocení kondenzačního zařízení jak z energetického, ekonomického, tak ekologického hlediska ve srovnání s klasickými plynovými kotli pro různé použití a výkony od 10 kW do 5 MW. Výhody a nevýhody vybraných případů užití zařízení.

Pozornost je zaměřena především na případy nevhodného a nedoporučovaného způsobu aplikace kondenzace. Provedena analýza nevhodných, energeticky ztrátových případů.

3) Metody a postupy pro kontrolu hospodárního provozu kondenzačních zařízení.

V této části práce jsou probrány metody nezbytné ke stanovení jednorázové účinnosti kondenzačních kotlů a pro trvalou, kontinuální kontrolu provozních údajů kotelních zařízení a kotlen jako celků.

S návazností je u každého zařízení upozorněno na jeho význam a důležitost ve spotřebách energie, jak tato zařízení posuzovat z hlediska spotřeby energie. Kam zaměřovat pozornost při provádění energetického auditu, příklady jak zpracovat a využívat výsledky získané z orientačních provozních měření. Snahou bude poskytnout pro energetické poradenství a pro provádění energetického auditu základní orientaci, kde jsou důležitá místa pro získávání úspor energie a související možné náměty na některé rekonstrukce zařízení. V této části jsou stručná doporučení na možné záměny zařízení nebo jejich doplnění pro další zvyšování energetické účinnosti. Na konkrétním případě je ve variantním zpracování uveden příklad provozu různých tepelných zdrojů, jeho ekonomika a investiční náklady na jeho pořízení včetně otopné soustavy.

Tabulkové a grafické přílohy

Práce je doplněna tabulkami a grafy s přehledem u nás dostupných zařízení a zařízení dovážených, dosahovaných účinností a spotřeb energií při používání různých druhů paliv a připojení k různým vytápěcím či ohřívacím soustavám.

II. Doporučené postupy při analýzách a hodnocení tepelných energetických systémů a zařízení

II.1. Úvod

Až na ojedinělé případy probíhá výroba tepelné energie na bázi spalovacích procesů, kdy se formou tepelných bilancí hodnotí úroveň využití spalovaného paliva a tedy účinnost zařízení a jeho energetická a technická dokonalost.

Energetickou výrobou se rozumí taková výroba, kde na základě chemické energie hoření spalovaného paliva se uvolňuje tepelná energie, která se účastní výroby příslušného teplotního média. Teplotní médium (pracovní látka) se může spotřebovat přímo v tepelných spotřebičích a nebo se dále mění na energii mechanickou nebo elektrickou.

Převážná část výroby energie používá jako pracovní látky vodu a vodní páru. Jsou však výroby energie, které pracují s jinou pracovní látkou, kterou je plyn získaný opět spalováním paliv. Jde o energetické výroby s plynovými nebo spalovacími turbínami.

Samostatnou skupinu tvoří plynová kogenerace na bázi plynových spalovacích motorů a paroplynové cykly.

Perpektivně lze do energetických výroben zařadit i teplotní bloky s palivovými články, které jsou již v současné době úspěšně jako demonstrační projekty realizovány. Je třeba si uvědomit, že i jaderné elektrárny pracují v převážné míře rovněž s pracovní látkou, kterou je voda a vodní pára.

Do kategorie výroby energie a energetických zdrojů jsou zařazována i tepelná čerpadla, využívající tepelně nízkopotenciálních zásobníků tepla jako jsou geotermální energie zemské kůry, vodní toky, vzduch a energie některých odpadních produktů.

II. 2. Rozdělení výroben tepelné energie

Energetické výroby lze rozdělit do následujících skupin, které jsou v technické praxi ustálené a obvyklé. Rozdělení respektuje především charakter konečného vyráběného energetického produktu.

Výtopny : vyrábí jako teplonosnou látku vodu nebo páru k přímému použití v energetických spotřebičích. Tepelný výkon těchto zařízení se pohybuje od cca 500kW do 50 MW.

Teplárny : zabezpečují kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Podle druhu teplonosné látky, kterou je zajišťována výroba elektrické energie dělíme tyto výroby dále na :

s parní kogenerací - kde část tepla obsaženého ve vyrobené páře se přeměňuje na elektrickou energii pomocí turbosoustrojí a elektrického generátoru a část tepla se odvádí k topným účelům. Výkon těchto zařízení je : tepelný od 15 MW do 300 MW
elektrický od 1 MW do 70 MW

s plynovou kogenerací a plynovým spalovacím motorem - kde jde o monoblokové nedělitelné zařízení k výrobě elektrické energie a tepla na bázi spalování plynu. Výkon zařízení se pohybuje : tepelný od 50 kW do 3 MW
elektrický od 40 kW do 2 MW

s kogenerací a spalovací turbínou na plyn nebo na olej - monoblokový celek, kde spalováním plynu nebo oleje ve spalovací turbíně je poháněn elektrický generátor a vyráběna elektrická energie a odcházejícími spaliny vyráběna pracovní látka, kterou je zpravidla voda, ale i pára o nižším tlaku. Výkony těchto zařízení jsou : tepelný od 1 MW do 15 MW
elektrický od 0,6 MW do 10 MW

Teplárenské bloky s palivovými články, zatím s elektrickým výkonem do 250 kW.

Elektrárny : zařízení, kde veškeré teplo obsažené v páře je převážně přeměňováno na výrobu elektrické energie kondenzačním způsobem. Výkony zařízení jsou : tepelný od 500 MW do 3 800 MW
elektrický od 100 MW do 900 MW

Kombinované výroby : jsou vybavené mimo parních energetických zařízení ještě dalšími kogeneračními zařízeními na spalování plynu nebo oleje.

Ostatní : tepelná čerpadla jednooběhová a hybridní se dvěma nebo více tepelnými oběhy

Společným znakem všech parních a vodních výroben energie je kotel jako samostatné zařízení s příslušenstvím, které tvoří napájecí čerpadla, ventilátory na spalovací vzduch a odvod kouřových plynů, podle druhu spalovaného paliva zauhlovací zařízení, regulační stanice a plynový hořák nebo olejové hospodářství a olejový hořák, mlýny na palivo a jejich pohon.

U tepláren, elektráren a kombinovaných výroben je další podstatnou součástí parní nebo plynová turbína a případně plynové kogenerační zařízení se spalovacím motorem. V teplárnách s parní kogenerací bývá parní turbína protitlaká nebo odběrová, v elektrárnách pak převážně kondenzační.

Dalším doplňujícím zařízením parních výroben energie jsou výměníky tepla (odparky, ohříváky, kondenzátory) čerpadla na kondenzát a na vodu (napájecí, přídavnou, chladicí, odstruskovací) a u kondenzačních elektráren ještě chladicí věže.

U větších zařízení se používá téměř výhradně lopatkových strojů : parní turbína, odstředivá čerpadla a odstředivé nebo osově ventilátory, dmychadla nebo turbokompresory. Ohříváky, kondenzátory a odparky bývají nejčastěji povrchové.

Z uvedeného stručného přehledu lze vyjmenovat důležitá zařízení, která jsou v tepelných energetických výrobnách nejčastěji předmětem sledování, hodnocení a kam je nutné také orientovat činnosti energetických auditorů.

Jedná se o tato zařízení :

parní, teplovodní nebo horkovodní kotel, teplovodní kotle s kondenzací spalin

povrchový ohřívák, kondenzátor a odparka

parní turbína k pohonu elektrického generátoru

lopatkové čerpadlo poháněné elektromotorem nebo parní turbínou

chladicí věž

tepelně energetická výroba jako celek

II. 3. Účel a způsob prováděných šetření

Od zařízení na výrobu energie požadujeme vždy nejvyšší hospodárnost provozu a vysokou provozní spolehlivost a bezpečnost. Účelem šetření v těchto výrobnách je tedy sledovat plnění těchto požadavků, přičemž požadavek hospodárnosti bude v těchto případech vždy prioritní.

Výsledky šetření nám umožní :

- zjistit skutečný stav zařízení
- určit příčiny zjištěných nedostatků
- získat podklady pro správný provoz a obsluhu zařízení
- získat další technickoekonomické podklady pro rekonstrukci zařízení a nebo volbu zařízení nových

Podle druhu problémů sledovaných při prováděném šetření rozeznáváme :

Šetření sledující hospodárnost jednotlivých zařízení, které jsou předmětem analýzy a nebo se u něho vyskytují problémy a případné provozní nedostatky, které patří do oboru nauky o teple a proudění.

Šetření sledující provozní bezpečnost zařízení, u nichž se setkáváme s problémy materiálovými, jako je koroze a s problémy z oboru chemie a elektrotechniky.

Účelem, k jakému se má výsledků šetření použít se řídí i přesnost, kterou požadujeme od potřebných údajů a případných použitých měřících metod.

Informativní šetření, která poskytují pouze hrubý názor o stavu zařízení. Tento druh ověřování stavu není obvykle třeba zvláště připravovat a stačí k němu často jen běžné provozní záznamy, které se pouze příslušně vyčíslí. Jejich přesnost je ovšem značně omezena.

Příkladem takového šetření je sledování spotřeby energie na vytápění z množství spalovaného uhlí nebo kontrola množství vzduchu vnikajícího do kondenzátoru a pod..

Základní šetření, ze kterých chceme získat podrobný a spolehlivý názor na provoz a funkci zařízení nebo jeho součástí. Zde je vyžadována poměrně dobrá přesnost a proto se šetření musí předem připravit. Pro účely energetického auditu se použijí výsledky provedeného

měření zpracované pro sledované účely. Typickým příkladem je stanovení účinnosti kotle, parní turbíny a nebo energetického zdroje jako celku.

Další kapitoly jsou zaměřeny převážně na skupinu základních šetření, která sledují zejména hospodárnost zařízení, protože ta mají být v provozu tepelně energetických výroben nejběžnější. Jde o problematiku se kterou se energetický auditor také nejčastěji setká.

II. 4. Parní, horkovodní a teplovodní kotle

Tato kapitola je sice svým pojetím zcela odlišná od problematiky kondenzačních kotlů, ale je uváděna proto, aby byla možnost vzájemného porovnání s plynovými kotli klasickými i kondenzačními. Zároveň dává názor na složitosti při hodnocení jednotlivých druhů zařízení a poskytuje zjednodušené postupy, aby hodnocení zařízení mohl provádět sám provozovatel tepelných zdrojů, relativně jednoduchými prostředky.

Hlavním cílem základního šetření na kotlích je určení jejich účinnosti. Pozornost bude zaměřena především na použití přímé metody hodnocení, která je jednoduchá a poměrně rychle vede k cíli. Tato metoda je univerzální a je použitelná pro jakýkoli kotel, kde jsou na základě měření k dispozici potřebné údaje vstupujícího paliva a vyráběné teplosné látky na výstupu z kotle.

Přímá metoda určování účinnosti kotlů je použitelná jak na jednotlivé kotle, tak i na energetickou výrobu jako celek, což je mnohdy velmi výhodné, neboť se stanoví a ověří průměrná účinnost celého zdroje za sledované období, což může být celý rok, topné období nebo pouze období letní a podobně.

Nepřímá metoda je nevyhnutelná v případech, kdy vstupní údaje o spalovaném palivu nelze spolehlivě zjišťovat, hlavně jeho hmotnost. Dále také v případech, kdy je třeba pomocí jednoduchých kritérií (směrných čísel) posoudit konstrukci některých částí kotle. Použití nepřímé metody má význam hlavně u roštových kotlů, kde jsou spalována pevná paliva. Je třeba však konstatovat, že význam těchto kotlů, především menších výkonů, upadá z důvodů ekologie a jsou zpravidla nahrazovány kotly s fluidním topeništěm. I pro tento druh kotlů je použití nepřímé metody většinou nezbytné. Nepřímá metoda je vždy zaměřena pouze na hodnocení jednoho kotle, neboť její princip prakticky neumožňuje sledování a hodnocení více kotlů najednou, až na vzácné výjimky.

II. 4.1. Přímá metoda zjišťování účinnosti kotle

Účinnosti kotlů, bez ohledu na použitou metodu, zjišťujeme nejlépe na základě topné zkoušky. Topná zkouška však představuje jednorázový proces, který nemůže v sobě zahrnout všechny provozní vlivy, které se v praxi vyskytují, což je nevýhodou. Proto je někdy výhodnější použít údajů za delší sledované období, kdy budou zmíněné vlivy respektovány a do šetření zahrnuty. Tyto okolnosti je třeba také zvažovat podle účelu, který je šetřením sledován.

Jak již bylo dříve uvedeno při použití přímé metody se vychází z následujícího obecného vztahu :

$$\eta_k = \frac{Q_v}{Q_p}$$

Pro praktické konkrétní účely kotelních zařízení se tento vztah vhodně upraví na tvar :

$$\eta_k = \frac{Q_{pa} - Q_{nv}}{M_p \cdot Q_i + (Q_{pv} - Q_{pvo}) + (Q_{vz} - Q_{vzo})}$$

Kde čítec zlomku představuje využití tepla ve vyrobeném teplotním médiu (páře) a jmenovatel zlomku celkové teplo přivedené do topeniště.

Význam jednotlivých veličin :

Q_v	- celkové vyrobené teplo v teplotním médiu	kJ
Q_p	- celkové teplo do kotle přivedené	kJ
Q_{pa}	- celkové teplo v páře vyrobené za sledované období	kJ
Q_{nv}	- celkové teplo v napájecí vodě za sledované období	kJ
M_p	- množství paliva spáleného za sledované období	kg
Q_i	- průměrná výhřevnost spalovaného paliva	kJ / kg
Q_{pv}	- celkové citelné teplo paliva při teplotě vstupujícího do kotle	kJ
Q_{vz}	- celkové citelné teplo vzduchu při teplotě vstupujícího do kotle	kJ
Q_{pvo}	- celkové citelné teplo paliva při teplotě okolí	kJ
Q_{vzo}	- celkové citelné teplo vzduchu při teplotě okolí	kJ

V případě teplovodního nebo horkovodního kotle zůstává jmenovatel zlomku stejný a čítec zlomku je následující :

$$M_{ov} \cdot 4,1868 (t_t - t_v)$$

nebo lépe :

$$M_{ov} (i_t - i_v)$$

Kde značí :

M_{ov}	- množství oběhové vody za sledované období	kg
t_t	- teplota oběhové vody na výstupu z kotle (topná voda)	°C
t_v	- teplota oběhové vody na vstupu do kotle (vratná voda)	°C
i_t, i_v	- entalpie vody při výstupní a vstupní teplotě do kotle	kJ / kg

Členy ve jmenovateli zlomku, které vyjadřují rozdíly citelného tepla paliva a vzduchu se mohou vyskytnout hlavně u kotlů na plynná paliva a v provozech, kde se spalovací vzduch předehřívá odpadním teplem. U běžných energetických výroben jsou tyto členy rovny nule. V běžných provozech $(Q_{pv} - Q_{pvo}) = 0$ a $(Q_{vz} - Q_{vzo}) = 0$.

Celkové teplo vyrobené páry za sledované období plyne ze vztahu :

$$Q_{pa} = M_{pa} \cdot i_{pa} \dots\dots\dots \text{kJ}$$

Kde značí :

M_{pa}	- celkové množství vyrobené páry za sledované období	kg
i_{pa}	- entalpie vyráběné páry odpovídající příslušnému tlaku a teplotě	kJ / kg

Celkové teplo napájecí vody za sledované období :

$$Q_{nv} = M_{nv} \cdot i_{nv} \dots\dots\dots \text{kJ}$$

Kde značí :

M_{nv}	- celkové množství napájecí vody za sledované období	kg
i_{nv}	- entalpie napájecí vody, odpovídající její teplotě	kJ / kg

Jestliže položíme $M_{pa} = M_{nv}$, pro zjednodušení zanedbáme okal a odluh kotle, což znamená určitou nepřesnost (cca 1-2% ve vyrobeném teple), kterou si v rámci provozních údajů můžeme dovolit, pak se výraz pro účinnost kotle zjednoduší na tvar :

$$\eta_k = \frac{M_{pa} \cdot (i_{pa} - i_{nv})}{M_p \cdot Q_i} \quad \text{..... pro kotle parní}$$

$$\eta_k = \frac{M_{ov} \cdot (i_t - i_v)}{M_p \cdot Q_i} \quad \text{..... pro kotle teplovodní a horkovodní}$$

Z uvedených vzorců je zřejmé jaké údaje jsou nezbytné k vyčíslení účinnosti kotle přímou metodou a celkovému posouzení hospodárnosti jeho provozu.

Měrná spotřeba paliva

Podobně jako účinnost je důležitou veličinou charakterizující technickou dokonalost kotle a jeho provozní hospodárnost je měrná spotřeba paliva. Stanoví se na základě dlouhodobého sledování zařízení, nejlépe však na základě měření.

Hodnota měrné spotřeby vyjadřuje spotřebu paliva v tepelných jednotkách na vyrobené teplo za stejnou dobu a určí se z následujícího vztahu :

$$q_p = \frac{Q_p}{Q_{vyr}}, \text{ udává se v } GJ / GJ \text{ a číselně představuje převrácenou hodnotu účinnosti}$$

II. 4.2. Nepřímá metoda hodnocení účinnosti kotlů

Tepelné ztráty při spalování paliv v kotlích

Přehled tepelných ztrát vznikajících při spalování paliv v kotlích a jejich nezbytné výpočtové vzorce budou předmětem dalších kapitol. V následující části je proveden také podrobnější rozbor těchto ztrát a příčiny jejich vzniku. Nejde o metodiku topných zkoušek, ale jedná se o zjednodušené vyčíslení a posouzení hlavních ztrát při provozu kotlů.

Hlavní ztráty, ke kterým při spalování paliv dochází jsou :

- ztráta tuhým nedopalem nebo také ztráta ve škváře - týká se jen spalování tuhých paliv
- ztráta nespálenými plyny nebo ztráta chemickým nedopalem
- ztráta citelným teplem plyných spalin (ztráta komínová)
- ztráta nevykázaná (ostatní nezjišťované ztráty)

Ztráta tuhým nedopalem - Z_c

Ke ztrátě tuhým nedopalem dochází tím, že popel a škvára brání kyslíku v přístupu k hořlavině obsažené v palivu. Ta nemůže v palivu zcela vyhořet a zůstává jí část v popelu, škváře, popřípadě strusce, nevyužita. Tuto nespálenou hořlavinu tvoří téměř čistý uhlík, který se pozná podle tmavého zbarvení ve škváře a přesně je její obsah stanoven laboratorně.

Při výpočtu ztráty dosadíme do vzorce vedle rozboru škváry a popela i jejich množství :

$$Z_{cs} = \frac{M_s \cdot C_s \cdot 32\,600}{M_p \cdot Q_i} \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

M_s	- množství škváry	kg
C_s	- obsah hořlaviny ve škváře	%
	hodnota 32 600 je výhřevnost zbylé hořlaviny ve škváře	kJ / kg
M_p	- množství spáleného tuhého paliva	kg
Q_i	- výhřevnost spalovaného paliva	kJ / kg

Zde se předpokládá, že M_s je celkové množství všech tuhých zbytků a hodnota C_s je průměrný obsah jejich naspálené hořlaviny. Ve skutečnosti se tuhé zbytky zachytí také v propadu, úletu a popílku, které mají různý obsah nespálené hořlaviny. U přesnějších výpočtů počítáme podle uvedeného vzorce pro každou tuto složku ztrátu zvlášť a pak výsledky sečteme.

Pro informativní výpočet ztráty nedopalem nemusíme znát přesně hmotnosti škváry. Postačí znát obsah popelovin v uhlí a rozdělení popela na poměrné množství ve škváře X_s , propadu X_{pr} a popílku X_{po} .

Ztrátu ve škváře pak určíme podle vztahu :

$$Z_{cs} = \frac{A^r}{100 - C_s} \cdot X_s \cdot \frac{C_s \cdot 32\,600}{Q_i} \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

A^r - obsah popela v původním palivu %

Ztrátu v ostatních složkách tuhých zbytků počítáme podle stejného vzorce, do kterého však dosazujeme příslušnou hodnotu nespálené hořlaviny C a poměrného množství popela X . V praxi se vystačí s přesným určením pouze ztráty ve škváře a ztráty v ostatních tuhých zbytcích se pouze odhadnou. Opačný postup je však většinou nutný u kotlů práškových.

Ztráta nespálenými plyny - Z_{CO}

Ke ztrátě nespálenými plyny nebo též označované jako ztrátu chemickou nedokonalostí spalování dochází tím, že při nedostatku spalovacího vzduchu neshoří všechny uhlík na kysličník uhličitý. Spálením pouze na kysličník uhelnatý se uvolní jen asi třetina tepla v uhlíku obsaženého.

Nedokonalé spalování se však může vyskytnout i v případech, kdy topeniště jako celek pracuje s přebytkem spalovacího vzduchu, ale v některých částech topeniště je ho nedostatek. Jev nedokonalého spalování se také vyskytuje při příliš rychlém vývinu prchavých látek z hořlaviny, které při nedostatečném promíchání se vzduchem a nízké teplotě v topeništi nemohou shořet a unikají nespálené do komína.

Velikost ztráty nespálenými plyny se určuje obtížně. Spokojujeme se proto určením obsahu CO ve spalínách nebo celkového obsahu nespálených látek i jednoduchým analyzátozem spalín.

Obecný vzorec pro určení této ztráty je :

$$Z_{CO} = (100 - Z_{CS}) \cdot \frac{V_{ps} \cdot Q_{sp}}{Q_i} \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

V_{ps} - objem suchých spalín Nm^3 / Nm^3 , Nm^3 / kg
 Q_{sp} - výhřevnost suchých spalín kJ / Nm^3

Pro vyčíslení ztráty lze s výhodou použít také přibližné výrazy :

$$Z_{CO} = 3 \cdot (CO + H_2) \cdot n \dots\dots\dots \% \quad \text{uhlí, zemní plyn}$$

$$Z_{CO} = a \cdot \frac{CO}{CO + CO_2} \dots\dots\dots \%$$

$a = 60$ pro černé uhlí, 65 pro hnědé uhlí, 53 pro LTO, 55 pro mazut

kde značí :

CO, CO_2, H_2 - objemová procenta složek v suchých spalínách

n - součinitel přebytku spalovacího vzduchu

Ztráta citelným teplem spalín - Z_K

Ke ztrátě citelným teplem spalín nebo také ztrátě komínové dochází tím, že spalovací vzduch přivádíme do kotle o poměrně nízké teplotě okolí, spaliny však odchází do komína vždy podstatně teplejší. Mimo to je ztráta zvyšována ještě tím, že spalování probíhá vždy za přebytku spalovacího vzduchu. Přebytečný vzduch se v topeništi neúčastní vlastního spalování, pouze se ohřeje a odchází o vyšší teplotě ve spalínách. To znamená, že úměrně se zvětšováním přebytku vzduchu se zvětšuje i komínová ztráta.

Nadměrný součinitel přebytku spalovacího vzduchu můžeme stanovit jen analýzou spalín :

$$\text{Součinitel přebytku spalovacího vzduchu přibližně } n = \frac{CO_2 \text{ max}}{CO_2}$$

Komínová ztráta se pak stanoví ze vzorce :

$$Z_K = (100 - Z_{CS}) \cdot \frac{V_{spv} \cdot c_{sp} \cdot (t_{sp} - t_{vz})}{Q_i} \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

V_{spv} - objem spalín skutečných vlhkých Nm^3 / Nm^3
 c_{sp} - měrná tepelná kapacita spalín Nm^3 / kg
 t_{sp} - teplota odcházejících spalín za kotlem $kJ / Nm^3 \cdot K$
 t_{vz} - teplota spalovacího vzduchu přiváděného do topeniště $^{\circ}C$

Objem skutečných vlhkých spalín při spalování je hodnota v praxi velmi obtížně zjistitelná, ale pro přibližný výpočet lze použít empirické vztahy dle Rosina uvedené v další kapitole.

Pro výpočet komínové ztráty jsou nezbytné základní poznatky ze stochiometrie spalování paliv a proto pro informaci jsou dále uvedeny vzorce pro zjednodušené výpočty spotřeby spotřeby spalovacího vzduchu a objemů spalín, vznikajících při spalování paliv.

Přibližné vzorce a výpočty pro spalování

Přesné složení spalín a množství spalín a vzduchu pro spalování lze vypočítat z elementárního složení pevného a kapalného paliva nebo jednotlivých složek plynů v objemových procentech.

Jestliže nejsou tyto údaje k dispozici je možno úspěšně, pro provozní účely nebo jednodušší kontrolu, použít zjednodušené vzorce podle Rosina.

Pro nejčastěji používaná paliva jsou tyto vzorce uvedeny v následujícím přehledu :

Teoretická spotřeba spalovacího vzduchu - $V_{vzd\ th}$

$$\text{Tuhá paliva :} \quad V_{vzd\ th} = \frac{0,241 \cdot Q_i}{1000} + 0,5 \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

$$\text{Topné oleje :} \quad V_{vzd\ th} = \frac{0,203 \cdot Q_i}{1000} + 2,0 \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

$$\text{Svítiplyn :} \quad V_{vzd\ th} = \frac{0,209 \cdot Q_i}{1000} \quad \text{Nm}^3/\text{Nm}^3$$

$$\text{Zemní plyn :} \quad V_{vzd\ th} = \frac{0,261 \cdot Q_i}{1000} - 0,25 \quad \text{Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Teoretické množství vlhkých spalín - $V_{spv\ th}$

$$\text{Tuhá paliva :} \quad V_{spv\ th} = \frac{0,212 \cdot Q_i}{1000} + 1,65 \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

$$\text{Topné oleje :} \quad V_{spv\ th} = \frac{0,266 \cdot Q_i}{1000} \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

$$\text{Svítiplyn :} \quad V_{spv\ th} = \frac{0,173 \cdot Q_i}{1000} + 1,0 \quad \text{Nm}^3/\text{Nm}^3$$

$$\text{Zemní plyn :} \quad V_{spv\ th} = \frac{0,272 \cdot Q_i}{1000} + 0,25 \quad \text{Nm}^3/\text{Nm}^3$$

kde - Q_i je výhřevnost příslušného spalovaného paliva v kJ/kg, m³

Skutečné množství potřebného spalovacího vzduchu - $V_{vzd s}$

$$V_{vzd s} = V_{vzd th} \cdot n \dots\dots\dots \text{Nm}^3 / \text{Nm}^3, \text{kg}$$

kde - n je součinitel přebytku spalovacího vzduchu

Spaliny skutečné vlhké - $V_{spv s}$

Pro výpočet skutečného objemu vlhkých spalin vznikajících při spalování paliv platí stejný vztah, bez ohledu na to, jak byl stanoven jejich teoretický objem.

$$V_{spv s} = V_{spv th} + V_{vzd th} (n - 1) \dots\dots\dots \text{Nm}^3 / \text{Nm}^3, \text{kg}$$

Ztráta nevykázaná - Z_N

Ztráta nevykázaná zahrnuje všechny ostatní ztráty, jejichž určování by bylo velice obtížné a které svou velikostí nebývají rozhodující. Souhrnným způsobem se označují jako ztráta nevykázaná.

Hlavní z nich jsou například :

- ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků, která se vyskytuje jen při spalování tuhých paliv a je způsobena tím, že tuhé zbytky odchází z kotle o vyšší teplotě než je teplota přiváděného paliva do kotle. Dosahuje hodnot několik desetin procenta u roštových kotlů. Větší význam má pouze u kotlů s výtavným ohništěm
- ztráta sáláním a vedením tepla z povrchu kotle do okolí. Vzniká tím , že určitá část tepla uvolněného v topeništi je odváděna vyzdívkou, armaturami a pod. do okolí. Tato ztráta je nepřímo úměrná velikosti kotle a lze ji nejlépe určit z diagramu uvedeném v normě ON 07 0305.

Celkovou hodnotu ztráty nevykázané můžeme určit nejlépe tak, že hodnotu účinnosti kotle určíme metodou přímou i nepřímou. Rozdíl mezi přímou a nepřímou metodou je ztráta nevykázaná.

Další parametry, které charakterizují činnost kotelních zařízení

Mimo uváděné účinnosti kotlů η_k je někdy účelné udávat i dílčí účinnosti jeho částí jako jsou:

$$\text{účinnost ohniště} \quad : \quad \eta_o = \frac{Q_o}{M_p \cdot Q_{ir}} \cdot 100 \dots\dots\dots \%$$

$$\text{účinnost ohříváku vzduchu} \quad : \quad \eta_{ovz} = \frac{Q_{ovz}}{M_p \cdot Q_{ir}} \cdot 100 \dots\dots\dots \%$$

$$\text{účinnost ekonomizéru} : \eta_e = \frac{Q_e}{M_p \cdot Q_{ir}} \cdot 100 \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

$Q_o, \text{ ovz, e}$ - teplo využitě v ohništi, ohříváku vzduchu a ekonomizéru GJ
 M_p - množství spáleného paliva kg, m3
 Q_{ir} - výhřevnost spalovaného paliva kJ/kg, m3

Tyto údaje však mají jen omezený význam a používají se především u kotlů vyšších výkonů a nebo při velmi podrobném hodnocení kotelní technologie.

Pokud chceme charakterizovat konstrukční řešení kotle je možné to provést pomocí měrného tepelného zatížení jeho jednotlivých částí při jmenovitém výkonu.

Jde především o údaje :

- měrného tepelného zatížení ohniště q_o , které se udává ve W/m^2 výhřevné plochy kotle nebo ve W/m^3 činného objemu topeniště
- měrného tepelného zatížení přehříváku q_{pr} , udávané ve W/m^2 výhřevné plochy přehříváku kotle
- měrného tepelného zatížení ohříváku vzduchu q_{ovz} , udávané ve W/m^2 výhřevné plochy ohříváku kotle
- měrného tepelného zatížení roštu q_r , udávané ve W/m^2 účinné plochy roštu kotle

Je zřejmé, že čím úsporněji bude zařízení konstruováno a čím menší budou pořizovací náklady, tím větších hodnot mohou dosahovat, při určitém tepelném výkonu, jednotlivá měrná tepelná zatížení.

U kotlů na tuhá paliva lze dobrých provozních výsledků dosahovat pouze za použití garančních paliv. Jde o palivo, které je výrobcem kotle doporučováno a při jeho použití výrobce také garantuje dosažení jmenovitého výkonu kotle, stavových hodnot vyráběného média a jmenovité účinnosti. Proto je nezbytné tuhým palivům věnovat značnou pozornost. Zde se rozumí především základním kvalitativním znakům jako je výhřevnost, obsah vody, popela, síry a zrnění. Mimo to je třeba se orientovat i na vhodný způsob jeho skladování a to nejen z hlediska maximálního zachování užitečných hodnot paliva, ale i z hlediska případné zátěže pracovního i životního prostředí. Zda skládka je alespoň z části krytá s upraveným spodkem a podobně. Vhodné je sledovat i zakrytí zauhlovacích cest při dopravě paliva do násypky u kotlů. Jde o snížení vlhkosti paliva a snížení nadměrné prašnosti, pokud jde o zauhlovací cesty vnější a podobně platí o zbytečné prašnosti prostředí u zauhlovacích cest vnitřních.

Charakteristika kotle

Hodnota účinnosti kotle není veličinou konstantní, ale je závislá na výkonu kotle, s jakým je provozován. Nízká hodnota účinnosti a stabilita spalovacího procesu je omezujícím faktorem pro nejnižší výkon, na který je možno ještě kotel provozovat s únosnou ekonomikou. Průběh účinnosti kotle v závislosti na jeho výkonu je nazýván charakteristikou kotle.

U kotlů uhelných jde zpravidla o hodnotu cca 40 % jmenovitého výkonu, kdy je účinnost kotle nejnižší. Nejvyšších hodnot dosahuje účinnost při 75 - 85 % jmenovitého

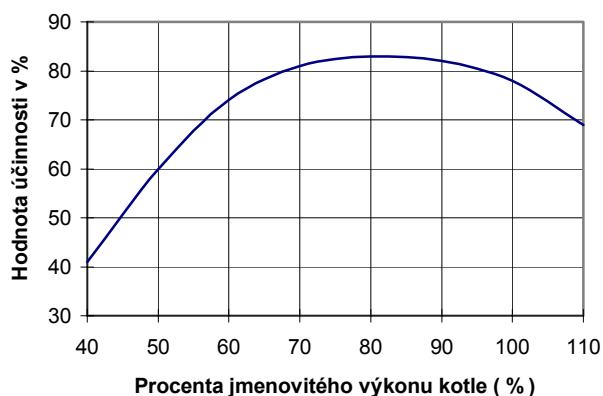
výkonu kotle. Při jmenovitém a případně i výkonu vyšším hodnota účinnosti opět klesá k nižším hodnotám.

U kotlů plynových, soudobých konstrukcí, je možno hovořit o ploché charakteristice, kdy v rozsahu použitelných provozních výkonů se rozsah účinnosti liší pouze málo a většinou není větší než 10 %. Jako hranice pro nejnižší provozní výkon je u plynových kotlů hodnota 25 - 30 % jmenovitého výkonu. Od této hranice až po jmenovitý nebo i vyšší výkon se účinnost kotle mění pouze v malém uvedeném rozmezí. Nejvyšší hodnota účinnosti je stejně jako u uhelných kotlů při cca 80 % výkonu jmenovitého.

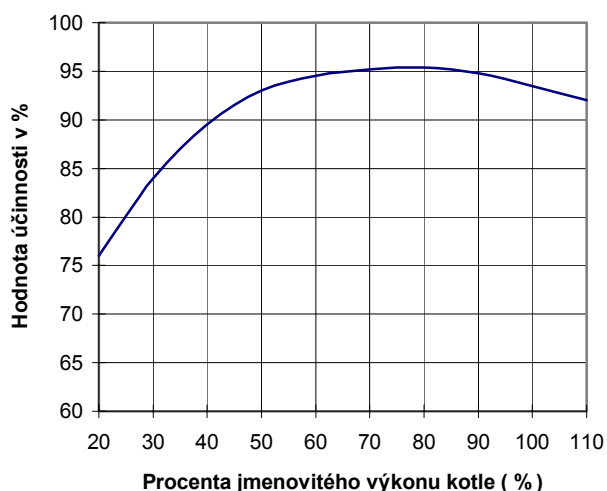
Při hodnocení provozu jednoho i vzájemného provozu více kotlů je třeba s charakteristikou kotlů počítat. Z tohoto pohledu je důležité především přechodné a letní období, kam by měl energetický auditor zaměřit svou pozornost hlavně na charakter provozování a nasazování výkonů jednotlivých kotlů, za účelem zajištění co nejvyšší provozní účinnosti.

Pro názor jsou dále uvedeny typické charakteristiky uhelných a plynových kotlů v grafické podobě :

Charakteristika uhelných kotlů



Charakteristika plynových kotlů



II.5. Základní postupy a zásady při hodnocení klasických zdrojů tepla se zaměřením na jejich hospodárnost

Analýza a hodnocení klasických zdrojů tepla patří mezi nejčastější činnosti energetického auditora.

Energetický zdroj je možno hodnotit buď samostatně se všemi instalovanými komponenty, které zpravidla tvoří soubor vzájemně na sebe navazujících zařízení a jako celek ovlivňují také celkovou účinnost zdroje. Toto individuální hodnocení má význam pouze v případech, kdy je třeba dokonale znát nejen technické vlastnosti stávajícího zdroje, ale především jeho podrobnou hospodárnost, která je významná při prodeji tepla a jeho důležitých dodávkách, kde je nezbytná podrobná kalkulace ceny tepla.

Nebo se zdroj hodnotí v širších souvislostech vlastních potřeb tepla závodu a případně i dalších odběratelů. Jde o případy, kdy se provádí rekonstrukce zdroje, jeho rozšiřování, redukce a nebo výstavba zdroje nového. Tomu je třeba přizpůsobit i metodu hodnocení zdroje.

Při podrobném hodnocení zdroje se všemi jeho komponenty je třeba zaměřit pozornost auditora zejména na :

- Druh, kvalitu a množství spalovaného paliva. U tuhých paliv je třeba znát, zda je spalováno palivo garanční, při kterém výrobce kotle garantuje jmenovitý výkon a účinnost kotelního zařízení. Množství spáleného paliva je vhodné znát nejen roční, ale nejlépe po jednotlivých měsících v roce, nebo za předemtné sledované období. Kvalitu paliva je možno získat buď průměrnou deklarovanou od výrobce paliv a nebo pravidelnými laboratorními rozbory paliva.
- Odpovídající způsob skladování tuhých, případně i kapalných paliv. Zda nedochází při skladování paliv k jeho znehodnocování a zda způsob skladování zbytečně nezpůsobuje zhoršování pracovního a životního prostředí.
- Množství vyrobeného tepla a případně i elektrické energie na zdroji ve stejných časových intervalech jako pro spotřebované palivo. Průměrný dosahovaný výkon tepelný i elektrický za sledované období a procenta výkonu jmenovitého. Časové využití instalovaného maxima v jednotlivých měsících a v průběhu celého roku.
- Stanovení účinnosti jednotlivých kotlů a zdroje jako celku metodou přímou a nepřímou. U nepřímé metody často postačí ověření ztráty komínové, chemickou nedokonalostí spalování a ztráty ve škváře.
- Stanovení elektrické účinnosti výroby elektrické energie ze známých údajů o výrobě elektřiny na svorkách elektrického generátoru.
- Stanovení všech nákladů souvisejících s výrobou tepla i elektrické energie a stanovení výrobních cen tepla a elenergie.
- Ověření hospodárnosti provozu dalších zařízení souvisejících s výrobou tepla a elektrické energie.
- Analýzu zjištěných výsledků a návrh vhodných opatření ke zvýšení účinnosti zařízení a celkového z hospodárnění provozu.
- Technické, ekonomické a ekologické zhodnocení navržených opatření.

Pokud je zdroj hodnocen v širších souvislostech problematiky závodu a dalších dodávek energie pro ostatní odběratele je třeba se zaměřit na :

- Podrobně zpracovanou tepelnou bilanci potřeb tepla vlastního závodu a ověřených požadavků dalších odběratelů s případnými nárůsty potřeb tepla podle reálných scénářů.

Pro zhodnocení optimální velikosti zdroje tepla a jeho výkonu musí mít energetický auditor k dispozici veškeré informace o objektech, které v dané lokalitě mají být teplem zásobovány. Jde zejména o tyto údaje :

- klimatické údaje a podmínky v místě lokality
- dispoziční řešení zásobovaných objektů a jejich situování ke světovým stranám
- tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí jednotlivých objektů. U neobvyklých konstrukcí, které mají zásadní vliv na tepelnou bilanci a spotřebu energie by se neměl auditor příliš spoléhat na údaje obchodních prospektů dodavatelských firem, ale potřebné výpočty by měl provádět na základě údajů příslušné Státní zkušebny.
- provozní účely jednotlivých budov a časové nároky na spotřebu tepla a případně i další energie. Tento ukazatel je rozhodujícím při stanovení potřeby tepla na technologii, větrání, ohřev TUV, eventuálně dalších nároků a to jak z hlediska potřeby výkonu, tak i z hlediska jeho časového využití. Jestliže je možné přizpůsobit rozčlenění jednotlivých potrubních větví rozvodů oblastem s rozdílnými nároky na dodávku tepla, je možné vhodnou regulací docílit výrazných úspor energie.

Základním podkladem pro hodnocení zdroje jsou odběrové diagramy, které musí být sestaveny pro následující časová období :

- typický zimní den s výpočtovou venkovní teplotou pro danou oblast
- typický den letního období
- dílčí odběrové diagramy pro jednotlivé druhy spotřeby tepla

Podobně platí i v případech, kdy spolu s výrobou tepla je hodnocena i výroba elektrické energie.

- Konfrontaci velikosti zdroje tepelné i elektrické části s požadavky tepelné bilance. Pokud zatím není výroba elektrické energie, ověřit buď nutnost nebo výhodnost společné výroby elenergie a tepla.

Je třeba zhodnotit celkovou koncepci zdroje a jeho technologické uspořádání ve vazbě na konkrétní podmínky dodávek tepla.

- Účinnost zdroje tepla ze spotřeby paliva a vyrobeného tepla, přímou metodou. Účinnost výroby elektrické energie. Cenu vyráběného tepla a případně i elektrické energie.

- Další alternativní návrhy na úpravy zdroje tepla a výroby elektrické energie. V návrhu variant je třeba alternativně zvažovat i případnou dálkovou dodávku tepla z externího centrálního zdroje, pokud to místní podmínky umožňují.

- Technické, ekonomické a ekologické zhodnocení navržených variant.

II. 6. Některé obecné poznatky při hodnocení zdrojů tepla

Při zpracování energetických auditů se v dosavadní praxi nejčastěji vyskytují následující případy, které je auditor nucen posuzovat, analyzovat a řešit. Ve všech uvedených případech je energetický auditor povinen provést vyhodnocení stávajícího stavu energetického hospodářství jako celku a tedy i koncepci stávajícího zdroje energie a vyhodnotit také jeho provoz a stav po zavedení opatření, jehož účelem je zlepšení stávajícího stavu, zvýšení hospodárnosti a celkové snížení provozních nákladů a místní emisní zátěže.

Často se jedná o následující případy :

Stávající centrální uhelný zdroj tepla je třeba rekonstruovat, neboť z důvodů emisních limitů je jeho provoz nevyhovující. Energetický auditor se v tomto případě zaměřuje na konkrétní návrh projektového řešení a pokud není předmětem projektu, může provést variantní srovnání s některou z těchto možností :

- ekologizace stávajících skříňových roštových kotlů, která spočívá ve vybudování v topeništi dvou vyzdívkových kleneb proti sobě v podélné ose kotle nad sebou, čímž se spalovací prostor rozdělí na dvoutahový. Dále je provedena změna vzduchového režimu tak, že dochází k jeho přepásmování pod rošt, se zavedením sekundárního dmychání spalovacího vzduchu. Výkon kotle zůstává zachován a zvyšuje se pouze účinnost kotle cca o 2 - 4% a hlavně se snižují skutečné hodnoty produkce emisí NO_x .

Tato rekonstrukce je úspěšná pro hnědá paliva s obsahem síry do 1 %. Cena rekonstrukce se pohybuje v rozmezí od 500 - 800 tis. Kč/MW.

- ekologizace stávajících roštových kotlů s vybudováním fluidního předtopeniště. Jde o poměrně náročnou rekonstrukci, která sleduje stejné cíle jako v předchozím případě. Po této rekonstrukci není obsah síry u hnědouhelných paliv, vlivem dávkování aditivních přísad do paliva, tak citlivý. Mírně roste účinnost a klesá produkce rozhodujících polutantů.

Náklady na provedení rekonstrukce se zpravidla pohybují do 3 500,-tis. Kč/MW.

- instalace nových kotlů s plnou fluidní technologií. Zde již není v podstatě rozhodující obsah síry ve spalovaném palivu. Celkově jsou dosahovány lepší výsledky než ve druhém případě. Je investičně velmi náročné, neboť celkové náklady se pohybují ve výši 4500 - 6500,-Kč/MW.

- méně častým případem je náhrada uhelných kotlů novými kotli moderní konstrukce na spalování plynu. Spolu s tím je často korigován i výkon centrálního zdroje tepla a přizpůsoben soudobým podmínkám. Centrální plynové zdroje, zvláště vyšších výkonů, nejsou ekonomicky výhodné a je, v souvislosti s plynofikací, vhodnější řešit decentralizovaný systém zásobování objektů teplem. Podobně platí i pro případ, kdy je nutné plynové kotle zastaralé konstrukce vyměnit za nové kotle s moderní konstrukcí. Do této oblasti náleží i variantní řešení pro aplikaci plynových kotlů s kondenzací spalín.

Při plynofikaci centrálních zdrojů tepla je nezbytné podrobně analyzovat místní poměry se záměrem doplnit zdroj o vhodné kogenerační zařízení na společnou výrobu tepla a elektrické energie.

- dalším méně častým případem je náhrada vlastního stávajícího zdroje tepla dálkovou dodávkou tepla, nákupem od cizího dodavatele.

Zde je nezbytné posoudit výhodnost nejen z hlediska ceny nakupovaného tepla, ale i provozních jistot v jeho dodávkách a ekologických aspektů v případě vlastní výroby tepla.

Pokud je klasický zdroj tepla dodatečně doplňován kogeneračním zařízením, potom u parní kogenerace se výkon zařízení ve většině případů podřizuje potřebám tepla podle tepelné bilance objektu nebo lokality a vyrobená elektrická energie se užívá buď zcela pro vlastní spotřebu a nebo zčásti pro vlastní spotřebu a zbytek prodejem do sítě. Podle nejvýhodnějšího způsobu využívání tepelné a elektrické části se volí vhodný typ parní turbíny.

U kogenerace plynové je situace obdobná. Energetický auditor se vždy rozhoduje podle místních podmínek.

Energetický auditor se při své činnosti může také řídit následujícími pravidly a poznatky :

- Výkon každého zdroje by měl být navrhován s minimálním počtem kotlových jednotek a každá z nich o maximálně možném tepelném výkonu. To vede k výrazné minimalizaci investičních nákladů na zdroj tepla avšak po dohodě s investorem je často užitečné zvažovat i vhodnou výkonovou rezervu zdroje, pokud to místní podmínky vyžadují. Je třeba si uvědomit, že stávající kotlové jednotky, zvláště na plyn je možné provozovat v rozsahu 25 - 100 % výkonu s plochou charakteristikou a provozní účinností 85 - 95 %. Podobně platí i o kotlích na tuhá paliva, kde v rozsahu výkonů 40 - 100% je dosahováno provozní účinnosti 55 - 80%. Z hlediska konstrukce jsou pro spalování plynu nejčastěji dodávány kotle válcové plamenco-žárotrubné, třítahové s přetlakovým topeništěm. Do výkonu 12 MW jsou zpravidla jednoplamencové a tedy i s jedním hořákem. Pro výkony nad 12 MW se provádí jako dvoupamencové se dvěma hořáky.
- Při rekonstrukcích uhelných zdrojů tepla je vhodné používat kotle ekologizovaných konstrukcí a nebo kotlů s fluidním předtopeništěm, tyto kotle však mají svá omezení s ohledem na výkon i ekologické limity podle spalovaného paliva. Podmínkou úspěšného provozu je, že u spalovaného paliva se nesmí překročit obsah veškeré síry nad 1 %. Výkony těchto kotlů většinou nepřekračují hodnotu 5 MW. Výhodné jsou kotle s plnou fluidní technologií, které jsou ekologicky výhodné avšak velmi drahé. U fluidních kotlů není obsah síry ve spalovaném palivu zpravidla tak rozhodující. Proto se při aplikaci tuhých paliv navrhuje tyto jednotky spíše na vyšší výkony. Kotle s fluidní technologií se zatím instalují s výkonem nejčastěji 7 - 50 MW.

Dosavadní zkušenosti s provozem uhelných fluidních kotlů, provedená měření a zpracované studie, zvláště pak u kotlů vyšších výkonů ukazují, že tyto kotle nepřinášejí v plné šíři to, co se od nich očekávalo a to jak z hlediska provozního, tak i ekologických aspektů. Není zanedbatelná i poměrně značná cena fluidních zařízení. Proto vývoj zatím směřuje k tomu, že uhelné kotle vyšších výkonů nad 100 MW se nově instalují jako práškové s přísně řízeným režimem spalovacího vzduchu a dávkováním vzduchu do jednotlivých zón při spalovacím procesu.

III. Kotle s kondenzací spalin (Kondenzační kotle)

III.1. Úvod

Kondenzační kotle tvoří samostatnou specifickou skupinu, neboť jejich použití není v technické praxi zcela univerzální. S ohledem na samotný princip těchto kotlů a jejich konstrukci se jedná pouze o kotle teplovodní. V průmyslové energetice je jejich použití, z principiálního hlediska, ale také z hlediska tepelných výkonů, pouze okrajové. Kondenzační kotle používané v praxi, obvykle svým jednotkovým výkonem, zatím nepřekračují hranici nad 500 kW i když jsou výrobci kotlů vyšší výkony nabízeny. Větší použití kondenzačních

kotlů je spíše v oblasti bytové a komunální sféře především pro účely vytápění. Ani na Západě zatím nedoznala tato technika masivnější nasazení a nástup kondenzačních kotlů není samozřejmostí.

Z hlediska konstručního uspořádání jsou kondenzační kotle v současné době obvykle vybaveny oddělenými kondenzačními výměníky. Tyto výměníky umožňují spalování paliv s využitím latentního tepla vodní páry obsažené ve spalínách. S ohledem na vysokoteplotní provoz základní části kotle mají tato zařízení účinnost do 106 %, vztaženo na výhřevnost spalovaného plynu.

Kotle tedy využívají tepla spalín až pod jejich rosný bod. Ochlazování spalín v teplovodních kotlích se z technických důvodů provádí nejčastěji do 40 °C. Optimální využití kondenzačních kotlů ovlivňují hlavně parametry topné vody připojené otopné soustavy a plynulá regulace vratné vody v závislosti na venkovní teplotě.

Proti klasickým kotelním zařízením dochází ke zvýšení účinnosti :

tím, že ochlazením spalín až na teploty kolem 40°C se výrazně sníží komínová ztráta. (Kdyby se totiž podařilo spaliny ochladit až na teplotu okolního vzduchu cca 20°C, byla by komínová ztráta nulová).

mimo snížení komínové ztráty se využije kondenzačního tepla spalín při dané teplotě a příslušném barometrickém tlaku.

Pokud bychom jako příklad uvažovali spaliny s teplotou asi 170 °C (které u normálních kotlů s touto teplotou odchází do komína) a ochladili je na teplotu zhruba 40 °C, získáme následující teplo :

entalpie spalín vstupujících do výměníku s teplotou 170 °C	500 kJ/kg
entalpie spalín na výstupu z výměníku s teplotou 40 °C	200 kJ/kg
tepelný zisk	300 kJ/kg

Ochlazování spalín probíhá při konstantní kondenzační teplotě, kde rosný bod je 56,1 °C a měrná vlhkost spalín činí 0,119 kg/kg suchých spalín.

Aby bylo možno spaliny ochladit na úroveň 40 °C a plně využít výhody kondenzace je třeba k tomu mít příslušně nízkou teplotu zpátečky z otopné soustavy. Tomuto požadavku vyhovují hlavně nízkoteplotní velkoplošné otopné soustavy buď radiátorové a nebo podlahové.

Kondenzační kotle je možno použít i při rekonstrukcích kotelen (změna pevného paliva za plyn), při kterých se nemění otopná soustava, která byla projektována na klasické provozní parametry 90/70°C. Tyto soustavy vlivem dříve používaných přírážek jsou předimenzované a provozují se s podstatně nižšími teplotami topné vody, tedy přibližně jako nízkoteplotní. V každém případě je nutné před rozhodnutím, zda použít kondenzační kotle, ověřit na základě měření v otopném období průběh teplot topné vody, se zvláštním zřetelem na zpátečku z otopné soustavy, v závislosti na teplotě venkovního vzduchu a časově vymežit období, po jakou dobu by byl kotel v režimu částečné nebo zvýšené kondenzace.

III.2. Vhodná paliva pro kondenzační kotle a procesy jejich spalování

Vhodným palivem je každé, které obsahuje velký podíl vodíku. U zemního plynu je poměrný obsah vodních par ve spalínách až 11% a u paliv kapalných zhruba 6%. Tuhá paliva nejsou pro kondenzační techniku vhodná.

Základní údaje používaných paliv pro kondenzační techniku :

Druh paliva	Spalné teplo Q_{ih} MJ/m ³	Výhřevnost Q_{ir} MJ/m ³	Q_{ih} / Q_{ir}	$Q_{ih} - Q_{ir}$ MJ/m ³	Teoretické množství kondenzátu kg/m ³
Svítiplyn	16,42	14,53	1,13	1,89	0,89
Zemní plyn L	35,21	31,79	1,11	3,42	1,53
Zemní plyn H	37,14	33,46	1,11	3,68	1,63
Propan	101,82 50,37 MJ/kg	93,52 45,80 MJ/kg	1,09	8,30	3,37
Butan	127,70 49,61 MJ/kg	117,50 45,30 MJ/kg	1,08	10,20	4,29
Topný olej EL LTO -E	38,45 MJ/l	36,29 MJ/l 42,30 MJ/kg	1,06	2,16 MJ/l	0,88 kg/l

Přebytek spalovacího vzduchu a teplota rosného bodu spalin

Z principů kondenzační technologie vyplývá, že výsledkem spalovacího procesu by měl být co nejvyšší rosný bod spalin, aby výhodný efekt kondenzace spalin probíhal v co největším rozsahu teplot zpátečky používaných otopných systémů. Ze studia závislosti přebytku spalovacího vzduchu a rosného bodu vodních par ve spalinách však vyplývá, že čím vyšší je součinitel přebytku spalovacího vzduchu, tím nižší je teplota rosného bodu spalin.

Je tedy nezbytné spalovací proces řídit tak, aby součinitel přebytku spalovacího vzduchu byl co nejnižší. V praxi by se měl pohybovat ve výši do $n = 1,1 - 1,3$ s co nejvyšším podílem CO₂. Konstrukce hořáků, pracující s $n = 1,6$ a vyšším jsou pro kondenzační techniku nevhodné.

Pro názor jsou dále uvedeny teploty rosného bodu vodních par ve spalinách ve °C pro různá paliva a různé hodnoty součinitele přebytku spalovacího vzduchu :

Druh paliva		$n = 1,1$	$n = 1,2$	$n = 1,3$	$n = 1,5$	$n = 1,7$
svítiplyn -	$Q_i = 14,5$ MJ/m ³	60,5	58,3	56,5	53,0	50,7
zemní plyn -	$Q_i = 33,45$ MJ/m ³	57,0	55,0	53,0	50,0	47,5
propan, butan -	$Q_i = 46,1$ MJ/kg	53,5	52,0	50,0	47,5	45,0
LTO -	$Q_i = 42,3$ MJ/kg	50,3	49,0	46,9	44,0	42,4

Parciální tlak vodní páry ve spalinách se pohybuje v rozmezí 2,4 až 3,2 kPa

Skutečný průběh ochlazování spalin za pomoci diagramu $h - x$, teplota rosného bodu a související součinitel přebytku spalovacího vzduchu je uveden v příloze zprávy.

Energetický auditor tedy musí věnovat pozornost nejen kvalitě spalování, ale také vhodnosti použitého hořáku. Nejvhodnějšími jsou hořáky s modulovanou regulací výkonu.

Vzhledem k tomu, že při návrzích a hodnocení kondenzačních kotlů se často pracuje se stechiometrií spalování je dále uvedena tabulka koeficientů pro spalování plyných paliv. Ke stechiometrickému výpočtu spalovacích poměrů, tj. složek vstupujících do spalovacího procesu a hmotnostních nebo objemových složek splodin hoření potřebujeme znát u plyných paliv poměr jednotlivých elementárních složek plynu a z nich pomocí koeficientů stanovíme jednotlivé složky spalin.

Plynná paliva - stechiometrické koeficienty :

Elementární složka v 1 Nm ³ plynu	Teoretická spotřeba vzduchu Nm ³ / Nm ³	Spaliny teoretické CO ₂ Nm ³ / Nm ³	Spaliny teoretické SO ₂ Nm ³ / Nm ³	Spaliny teoretické N ₂ Nm ³ / Nm ³	Obsah vodních par H ₂ O Nm ³ / Nm ³	Spaliny teoretické suché Nm ³ / Nm ³	Spaliny teoretické vlhké Nm ³ / Nm ³
H ₂	2,392	-	-	1,892	1,0	1,892	2,892
CO	2,392	1,0	-	1,892	-	2,892	2,892
CO ₂	-	1,0	-	-	-	1,000	1,000
H ₂ O	-	-	-	-	1,0	-	1,000
CH ₄	9,570	1,0	-	7,570	2,0	8,570	10,570
C ₂ H ₂	11,962	2,0	-	9,462	1,0	11,462	12,462
C ₂ H ₄	14,355	2,0	-	11,355	2,0	13,355	15,355
C ₂ H ₆	16,747	2,0	-	13,247	3,0	15,247	18,247
C ₃ H ₈	23,925	3,0	-	18,925	4,0	21,925	25,925
C ₄ H ₁₀	31,102	4,0	-	24,602	5,0	28,602	33,602
C _n H _m	18,183	2,6	-	14,383	2,4	16,983	19,383
H ₂ S	7,177	-	1,0	5,677	1,0	6,677	7,677

Pokud není známo přesné elementární složení jednotlivých složek paliva je možno také použít zjednodušeného, přibližného výpočtu podle vztahů dle Rossina :

Vzduch teoretický :

tuhá paliva	- $V_{vzt} = 0,241 \cdot Q_i + 0,5$	Nm ³ / kg
kapalná paliva	- $V_{vzt} = 0,203 \cdot Q_i + 2,0$	Nm ³ / kg
paliva plynná (ZP)	- $V_{vzt} = 0,261 \cdot Q_i$	Nm ³ / m ³

Spaliny teoretické vlhké :

tuhá paliva	- $V_{spt} = 0,212 \cdot Q_i + 1,65$	Nm ³ / kg
kapalná paliva	- $V_{spt} = 0,266 \cdot Q_i$	Nm ³ / kg
paliva plynná (ZP)	- $V_{spt} = 0,272 \cdot Q_i + 0,25$	Nm ³ / m ³

kde hodnota výhřevnosti paliva Q_i je dosazována v MJ / kg nebo v MJ / m³

Spaliny skutečné vlhké : $V_{spsv} = V_{spt} + V_{vzt} (n - 1)$ Nm³ / kg
Nm³ / m³

Odvod kondenzátu

Vlivem obsahu kyseliny dusičné HNO₃, vznikající při spalování zemního plynu je odváděný kondenzát z kotlů mírně kyselý. Hodnota pH se pohybuje v rozmezí 3,5 - 5,2. Pokud je spalováno palivo obsahující síru může hodnota pH být 1,8 - 3,7. Materiál potrubí musí být odolný proti kyselé korozi. Z kotle a komína je kondenzát odváděn přes sifon do neutralizační nádoby a následně do kanalizace. K jeho vypouštění je třeba souhlasu příslušného vodohospodářského orgánu.

Množství vzniklého kondenzátu se vypočte z roční provozní doby kotlů, po kterou pracují v oblasti kondenzace a z množství spáleného paliva.

III.3. Vliv druhu otopné soustavy a teplotních poměrů na využití kondenzační techniky

Pokud bude energetický auditor posuzovat využívání kondenzační techniky ve vztahu k navržené otopné soustavě a volbě konkrétního teplotního spádu respektive volbě teplot otopné vody, bude vycházet s teplotního spádu, který odpovídá nejnižší oblastní výpočtové teplotě. Podle ročního průběhu teplot přírodní a zpětné vody v systému a ročního provozu kotlů v závislosti na venkovní teplotě se může stanovit účinnost i doba provozu s kondenzačním režimem.

Dále budeme uvažovat, jako typový příklad pro přibližné stanovení doby provozu teplovodního vytápění, kotelnu s kondenzačními kotli pro oblast s nejnižší výpočtovou teplotou -15°C .

Variantně, pro vzájemné srovnání, bude uvažováno, že kotelna je napojena na otopnou soustavu:

klasickou s radiátory a s výpočtovým teplotním spádem $90/70^{\circ}\text{C}$

klasickou s radiátory a s výpočtovým teplotním spádem $75/60^{\circ}\text{C}$

velkoplošnou pro podlahové vytápění s výpočtovým teplotním spádem $50/40^{\circ}\text{C}$

Stupeň kondenzace je označen :

- pásmo 0 - pásmo provozu bez procesu kondenzace s účinností provozu do 96 %
- pásmo 1 - pásmo s částečnou kondenzací, s účinností provozu od 96 do 101 %
- pásmo 2 - pásmo se zvýšenou kondenzací, s účinností provozu od 101 do 107 %
- pásmo 3 - pásmo s vysokou kondenzací, s účinností provozu nad 107% (do 110%)

Z grafického průběhu venkovních teplot a souvisejících teplot otopné vody lze pro výpočtový teplotní spád určit následující potřebné údaje pro posouzení hospodárnosti provozu kondenzačního zdroje při spalování zemního plynu :

pro klasickou otopnou soustavu radiátorovou s teplotním spádem $90/70^{\circ}\text{C}$:

- 10 % z doby ročního provozu zdroje v pásmu 0, s účinností provozu do 96 %
- 45 % z doby ročního provozu zdroje v pásmu 1, s účinností provozu od 96 % do 101%
- 45 % z doby ročního provozu zdroje v pásmu 2, s účinností provozu od 101% do 107 %

pro klasickou otopnou soustavu radiátorovou s teplotním spádem $80/60^{\circ}\text{C}$:

- 4 % z doby ročního provozu zdroje v pásmu 0, s účinností provozu do 96 %
- 16 % z doby ročního provozu zdroje v pásmu 1, s účinností provozu od 96 % do 101%
- 80 % z doby ročního provozu zdroje v pásmu 2, s účinností provozu od 101% do 107 %

pro velkoplošnou podlahovou otopnou soustavu s teplotním spádem $50/40^{\circ}\text{C}$:

- 100 % z doby ročního provozu zdroje v pásmu 3, s účinností provozu nad 107 %

Provedenou analýzu a celkové zhodnocení provozu kondenzačního zdroje je možno srovnat s provozem zdroje bez kondenzace, kde provozní účinnost, po celou dobu provozu, se pohybuje max. do 95 %. Při vzájemném srovnávání, zda volit zdroj s klasickým režimem a nebo s kondenzační technologií je často pro ekonomiku rozhodující pořizovací cena, která u kondenzačních kotlů je zhruba o jednu třetinu vyšší proti plynovým kotlům klasickým, zahraniční výroby. Při srovnání ceny kondenzačního kotle s klasickým plynovým kotlem naší výroby je cena kondenzačního kotle cca dvojnásobná.

Rekonstruované objekty a kondenzační technika

Vzhledem k tomu, že dříve navrhované otopné soustavy byly podle norem prováděny se zátopovou přírážkou ve výši cca 10 - 30 %, jsou teplosměnné plochy radiátorů a výkony kotlů předimenzované. Díky tomu teploty v těchto soustavách a zdrojích jsou nižší než předpokládané teploty výpočtové a kondenzační kotle mohou v těchto soustavách pracovat v režimu s vyšší účinností cca o 3 - 6 % proti účinnosti klasického zdroje.

Stejná situace ve snížení teploty topné vody nastává v případech, kdy se provede zateplení budovy, čímž se sníží její tepelná ztráta a potřebný výkon zdroje tepla pro vytápění a následně tedy i teplota topné vody.

Snížení produkce emisí CO₂ docílené záměnou kotle standardního za kondenzační :

Druh provedené záměny	Snížení původního obsahu CO ₂ na hodnotu v %
kotel na pevné palivo → kondenzačním plynovým kotlem	63 % původní hodnoty
kotel na kapalné palivo → kondenzačním plynovým kotlem	55 % původní hodnoty
kotel na spalování plynu → kondenzačním plynovým kotlem	33% původní hodnoty

III.4. Energetické výhody kondenzační techniky

Proti kotlům standardního provedení má kondenzační technika dvě zásadní energetické výhody a to :

- umožňuje snížit provozní teplotu spalin za kotlem a tak výrazně snížit komínovou ztrátu kotle nebo v příznivých případech ji zcela anulovat
- umožňuje využívat buď částečně a nebo zcela kondenzační teplo vody obsažené ve spalinách

Snížování komínové ztráty

Výpočet komínové ztráty se provádí na základě již dříve uvedeného vztahu :

$$Z_K = \frac{V_{\text{sps v}} \cdot c_{\text{sp}} \cdot (t_{\text{sp}} - t_{\text{vz}})}{Q_i} \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

$V_{\text{sps v}}$	- objem spalin skutečných vlhkých	$\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3$
c_{sp}	- měrná tepelná kapacita spalin	Nm^3 / kg
t_{sp}	- teplota odcházejících spalin za kotlem	$\text{kJ} / \text{Nm}^3 \cdot \text{K}$
t_{vz}	- teplota spalovacího vzduchu přiváděného do topeniště	$^{\circ}\text{C}$
		$^{\circ}\text{C}$

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že snižování teploty spalin co nejbližší teplotě spalovacího vzduchu vede k celkovému snížení komínové ztráty až na případy, kdy teplota spalin se může ve specifických případech ochladit až na teplotu spalovacího vzduchu, kdy bude komínová ztráta nulová.

Jestliže například u klasického kotle při spalování ZP bude teplota odcházejících spalin 180°C a teplota spalovacího vzduchu 20°C , bude komínová ztráta 9 %.

Pokud snížíme teplotu spalin na teplotu 50°C , bude při stejné teplotě spalovacího vzduchu komínová ztráta pouze 1,7 %. Komínová ztráta se tedy sníží o 7,3 % proti plynovému kotli klasického typu. Teplota 50°C je volena proto, že již zasahuje do oblasti kondenzace pod úroveň rosného bodu spalin.

Kondenzace vodních par ze spalin

Podle vhodně zvolené konečné provozní teploty spalin za kotlem dochází k větší či menší míře ke kondenzaci spalin. Výsledkem kondenzace je tepelný zisk kondenzačního tepla, který přispívá k tepelnému výkonu kotle.

Množství získaného tepla z kondenzace se určí z následujícího vztahu :

$$Q_{KO} = M_{KO} \cdot r \dots\dots\dots \text{kJ}$$

kde značí :

M_{KO} - množství zkondenzované vodní páry za sledované období kg
 r - výparné teplo vodní páry při dané teplotě rosného bodu kJ / kg
v rozsahu teplot rosného bodu $53 - 60^{\circ}\text{C}$ se tato hodnota
pohybuje v rozmezí 2 375 až 2 358 kJ / kg

nebo také :

$$Q_{KO} = m_{KO} \cdot r \dots\dots\dots \text{kJ} / \text{m}^3$$

kde značí :

m_{KO} - množství zkondenzované vodní páry vztažené na množství
spáleného plynu kg / m^3

III.5. Příklad vyhodnocení provozní účinnosti klasických kotlů na tuhá a plynná paliva a kotlů s kondenzací spalin

Pro srovnání jsou dále uvedeny konkrétní příklady vyhodnocení provozní účinnosti kotlů na tuhá a plynná paliva v relaci s kotli kondenzačními.

III.5.1 Kotel na tuhá paliva

Dále je uveden příklad na vyhodnocení účinnosti roštového teplovodního kotle, který je instalován v blokové výtopně, kde jsou provozovány celkem tři stejné kotle s celkovým výkonem 1,5 MW. Vyráběné teplo ve formě topné vody s teplotním spádem $90/70^{\circ}\text{C}$ je dodáváno do otopné soustavy zásobovaných objektů a pro přípravu TUV v jednotlivých objektech.

Kotle jsou v ekologizovaném provedení a přizpůsobeny pro spalování tříděného hnědého uhlí se zrněním ořech 2 s výhřevností 18 MJ/kg. Palivo je dodáváno Mosteckou uhelnou společností. V rámci ekologizace jsou provedeny úpravy spalovacího prostoru, fázování vzduchu pod rošt a byl instalován i speciální filtr pro zachycování úletu tuhých částic.

Konstrukční údaje kotle :

Typ kotle - skříňový se spalinogými trubkami se segmentovým válcovým roštem
spodního dmychání, odtahový ventilátor spalin do zděného komína
jmenovitý tepelný výkon kotle 500 kW

Při zkoušce v celkové délce trvání 4 hodiny, a ustáleném provozním stavu kotle byly zjištěny následující průměrné provozní údaje :

topná voda	: vyrobeno tepla	7,33 GJ
	průměrný dosahovaný výkon	485 kW
	průměrná teplota topné vody	84 ⁰ C
	teplota zpátečky	66 ⁰ C
	průměrný rozdíl teplot	18 ⁰ C
	množství oběhové vody	97,2 t
Spaliny	: obsah CO ₂ ve spalinách	11,0 %
	obsah O ₂ ve spalinách	9,8 %
	obsah CO ve spalinách	0,2 %
	teplota spalin za kotlem t _{sp}	190 ⁰ C
	podtlak v topeništi	20 Pa
	tah za kotlem	200 Pa
Spalovací vzduch	: teplota spalovacího vzduchu t _{vz}	20 ⁰ C
Spalované palivo	: druh, ořech 2, rozsah zrnění	10 - 25 mm
	výhřevnost Q _i	17,6 MJ/kg
	obsah veškeré vody	30 %
	obsah popela A ^r	10 %
	množství spáleného paliva M _p	507,7 kg
	dodané teplo v palivu	8,935 GJ
Tuhé zbytky	: množství škváry M _s	45,0 kg (X _s = 0,8)
	množství propadu M _p	4,5 kg (X _p = 0,1)
	množství úletu M _u	4,5 kg (X _u = 0,1)
	hořlavina ve škváře C _s	8,9 %
	hořlavina v propadu C _p	15 %
	hořlavina v úletu C _u	11

X_s, X_p, X_u - údaje představují poměrný podíl jednotlivých tuhých zbytků k celkovému množství tuhých zbytků

Vyhodnocení účinnosti přímou metodou :

$$\eta = \frac{M_{ov} (t_t - t_v) \cdot 4,187}{M_p \cdot Q_i} = \frac{97,2 \cdot 0,018 \cdot 4,187}{0,5077 \cdot 17,6} = \frac{7,33}{8,935} = 0,82$$

pokud účinnost vyjádříme v procentech, bude její hodnota 82 %

Stanovení účinnosti nepřímou metodou :

Ztráta ve škváře - přesně -

$$Z_{cs} = \frac{M_s \cdot C_s \cdot 32\,600}{M_p \cdot Q_i} = \frac{45 \cdot 8,9 \cdot 32\,600}{507,7 \cdot 17\,600} = 1,46 \%$$

zjednodušený výpočet -

$$Z_{cs} = \frac{A^r}{100 - C_s} \cdot X_s \cdot \frac{C_s \cdot 32\,600}{Q_i} = \frac{10}{100 - 8,9} \cdot 0,8 \cdot \frac{8,9 \cdot 32\,600}{17\,600} = 1,4 \%$$

Ztráta v propadu - přesně -

$$Z_{cp} = \frac{M_p \cdot C_p \cdot 32\,600}{M_p \cdot Q_i} = \frac{4,5 \cdot 15 \cdot 32\,600}{507,7 \cdot 17\,600} = 0,25 \%$$

$$Z_{cp} = \frac{A^r}{100 - C_p} \cdot X_p \cdot \frac{C_p \cdot 32\,600}{Q_i} = \frac{10}{100 - 15} \cdot 0,1 \cdot \frac{15 \cdot 32\,600}{17\,600} = 0,33 \%$$

Ztráta v úletu tuhých částic :

$$Z_{cu} = \frac{M_u \cdot C_u \cdot 32\,600}{M_p \cdot Q_i} = \frac{4,5 \cdot 11 \cdot 32\,600}{507,7 \cdot 17\,600} = 0,18 \%$$

Objem spalín dle Rosina :

Vzduch teoretický - $V_{\text{vzd th}} = 0,241 \cdot Q_i + 0,5 = 0,241 \cdot 17,6 + 0,5 = 4,74 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$

Spaliny teoretické vlhké - $V_{\text{spv th}} = 0,213 \cdot Q_i + 0,5 = 0,213 \cdot 17,6 + 1,65 = 5,4 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$

Součinitel přebytku spalovacího vzduchu : $n = \frac{\text{CO}_{2\text{max}}}{\text{CO}_2} = \frac{19}{11} = 1,72$

Spaliny skutečné vlhké - $V_{\text{spv s}} = 5,4 + 4,74 (1,72 - 1) = 8,81 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$

Ztráta citelným teplem spalín - ztráta komínová :

$$Z_K = (100 - Z_{\text{cs}}) \cdot \frac{V_{\text{spv s}} \cdot c_{\text{sp}} \cdot (t_{\text{sp}} - t_{\text{vz}})}{Q_i} = (100 - 1,89) \cdot \frac{8,81 \cdot 1,365 (190 - 20)}{17\,600} = 10,4\%$$

Ztráta chemickou nedokonalostí spalování - nespálenými hořlavými plyny :

$$Z_{\text{CO}} = a \cdot \frac{\text{CO}}{\text{CO} + \text{CO}_2} = 65 \cdot \frac{0,2}{0,2 + 11} = 1,16 \%$$

Celková účinnost kotle : $\eta = 100 - (1,46 + 0,25 + 0,18 + 11,7 + 1,16) = 85,55 \%$

Ztráta nevykázaná : $Z_n = 85,55 - 82,0 = 3,55 \%$

Ztráta nevykázaná v sobě zahrnuje především ztrátu sáláním a vedením tepla z povrchu kotle do okolí. Tato ztráta nebyla sice stanovována, ale pohybuje se u těchto kotlů, podle výše provozního výkonu, v rozmezí 2,5 - 3,8 %. U kotlů teplovodních, nižších výkonů soudobé konstrukce se, vlivem dokonalé izolace, ztráta sáláním zpravidle nepřekračuje hodnotu 1,5 %. Zbytek činí zpravidla určité nepřesnosti, způsobené obtížností při stanovení některých údajů.

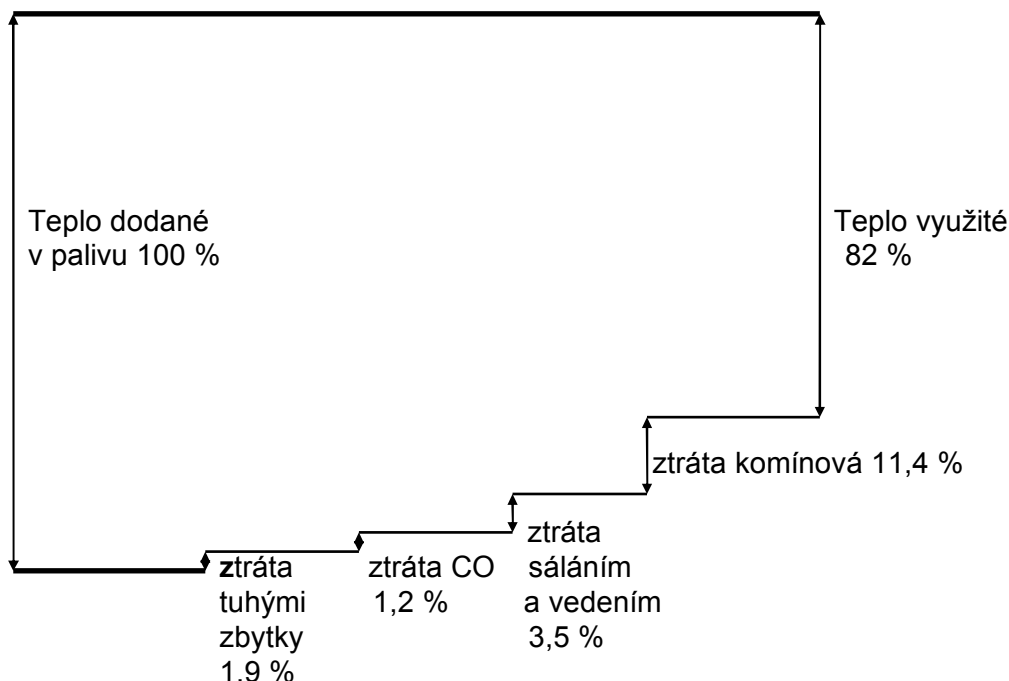
Poznámka :

Při analýzách provozní hospodárnosti plynových kotlů je situace mnohem snažší, neboť do bilance provozních ztrát se zahrnují pouze ztráta komínová, chemickou nedokonalostí spalování a ztráta sáláním a vedením. Ostatní ztráty se při provozu plynových kotlů nevyskytují.

Ze zákona prováděná pravidelná měření ke stanovení výše exhalací jsou často dobrým důvodem i k ověření provozní účinnosti kotle. Používané metody a měřicí technika umožňují prakticky okamžitě stanovovat i účinnost spalování. Je třeba si uvědomit, že u plynových kotlů je hospodárnost jejich provozu značně závislá na servisní práci při seřizování plynových hořáků. I přes pokroky používaných seřizovacích metod, je stále mnoho případů, kdy je seřízení nedokonalé s vyšším součinitelem přebytku spalovacího vzduchu a tedy i nižší provozní účinností.

Pro názor je dále uveden diagram tepelné bilance kotle na tuhá paliva s pohyblivým roštem, který byl ekologizován v souladu s požadavky a zásad životního prostředí.

Tepelná bilance kotle na tuhá paliva :



Výše uvedený příklad vyhodnocení účinnosti roštového kotle na tuhá paliva a diagram jeho tepelné bilance ukazují, že jde o kotel, který je ve velmi dobrém technickém stavu a pracuje s poměrně vysokou provozní účinností. Je zřejmé, že při jeho provozu nedochází ke zbytečným provozním ztrátám.

III.5.2. Stanovení účinnosti klasického kotle na plyn

Postup je podobný jako u kotlů na tuhá paliva, avšak pro stechiometrické výpočty se používá údajů, které odpovídají a souvisí s používaným plyným palivem.

Pro hodnocení je uvažován klasický teplovodní plynový kotel moderní konstrukce, třítahový, plamencový s jmenovitým výkonem 500 kW. Kotel je vybaven plynovým hořákem Weisshaupt. Kotel je instalovaný v blokové kotelně, kde jsou celkem tři stejné kotle. Vyráběná topná voda slouží k vytápění objektů a přípravy TUV. V zimním období je vyráběna topná voda 90/70°C a v letním období pouze s teplotním spádem 75/60°C pro přípravu TUV.

• jmenovitý výkon kotle	550 kW
teplotní spád topné vody	90/70, 75/60°C
jmenovitá spotřeba zemního plynu	64 Nm ³ /h

V průběhu zkoušky kotle byly zjištěny následující hodnoty :

průměrný provozní výkon kotle	512,8 kW
celkové průměrné vyrobené teplo	1,846 GJ/h

• spalované palivo :	
zemní plyn s výhřevností	34,05 MJ/Nm ³
CO ₂ max	11,8 %
průměrná spotřeba plynu	59 Nm ³ /h
dodané teplo v palivu	2,0089 GJ/h
dodávaný tepelný výkon v primárním palivu	557,4 kW
• spaliny odcházející z kotle :	
průměrný naměřený obsah CO ₂	9,8 %
průměrná hodnota CO	0,05 %
průměrná teplota spalin	165 °C
měrná tepelná kapacita spalin	1,36 kJ/Nm ³ .K
teplota spalovacího vzduchu	20 °C

Vypočtené hodnoty -

Vzduch stechiometrický :

$$O_{\text{vzd th}} = 0,261 \cdot Q_{\text{ir}} - 0,25 = 0,261 \cdot 34,05 - 0,25 = 8,63 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Spaliny stechiometrické vlhké :

$$O_{\text{spv th}} = 0,272 \cdot Q_{\text{ir}} + 0,25 = 0,272 \cdot 34,05 + 0,25 = 9,51 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Součinitel přebytku spalovacího vzduchu :

$$n = \frac{\text{CO}_2 \text{ max}}{\text{CO}_2} = \frac{11,8}{9,8} = 1,2$$

Objem spalin skutečných vlhkých :

$$O_{\text{spv sk}} = O_{\text{spv th}} + O_{\text{vzd th}} \cdot (n - 1) = 9,51 + 8,63 \cdot (1,2 - 1) = 11,24 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Skutečný (celkový) objem spalovacího vzduchu :

$$O_{\text{vzd sk}} = O_{\text{vzd th}} \cdot n = 8,63 \cdot 1,2 = 10,36 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

• rekapitulace vypočtených údajů	
vzduch stechiometrický	8,63 Nm ³ /Nm ³
spaliny stechiometrické vlhké	9,51 Nm ³ /Nm ³
součinitel přebytku spalovacího vzduchu	1,2
spaliny skutečné vlhké	11,24 Nm ³ /Nm ³
skutečný objem spalovacího vzduchu	10,36 Nm ³ /Nm ³

Účinnost přímou metodou :

$$\eta = \frac{100 \cdot Q_{\text{vyr}}}{Q_{\text{dod}}} = \frac{100 \cdot 1,846}{2,0089} = 91,89 \%$$

Účinnost nepřímou metodou - stanovení jednotlivých ztrát -

Ztráta citelným teplem spalin (komínová) Z_k :

$$Z_k = \frac{V_{\text{spv sk}} \cdot c_{p \text{ sp}} \cdot (t_{\text{sp}} - t_{\text{vzd}})}{Q_i} \cdot 100 = \frac{11,24 \cdot 1,36 \cdot (160 - 20)}{34050} \cdot 100 = 6,3 \%$$

Ztráta chemickou nedokonalostí spalování :

$$Z_{\text{ch}} = K \cdot \text{CO} \cdot n = 4,35 \cdot 0,05 \cdot 1,2 = 0,26 \%$$

K - koeficient pro zemní plyn 4,35

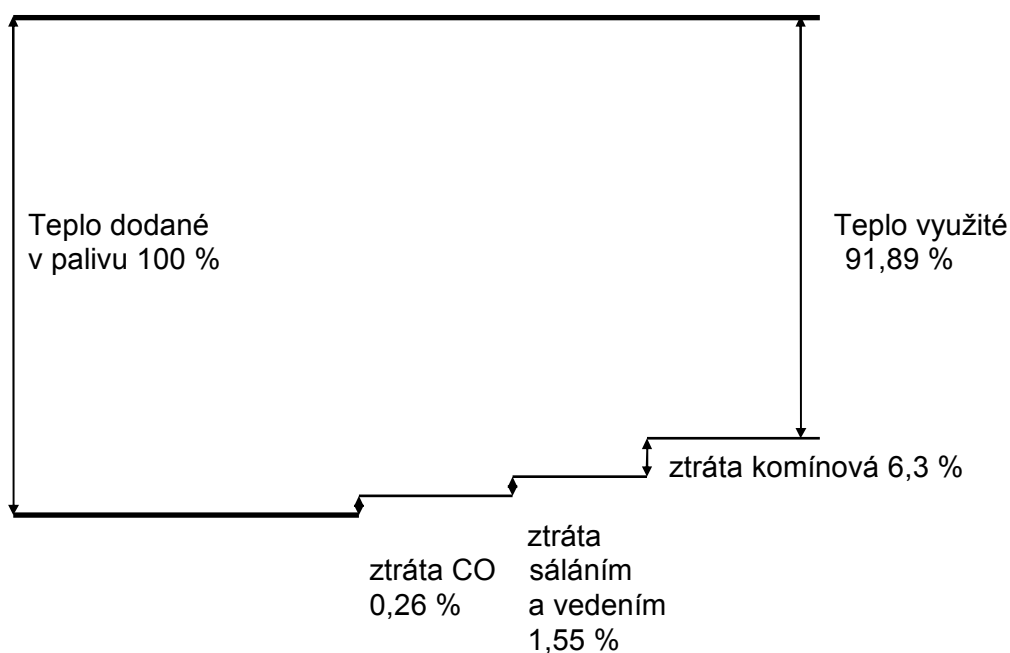
Účinnost nepřímou metodou :

$$\eta = 100 - (6,3 + 0,26) = 100 - 6,56 = 93,44 \%$$

Rozdíl účinnosti stanovenou nepřímou a přímou metodou dává v podstatě ztráty sáláním a vedením tepla z povrchu kotle do okolí. Tato hodnota ztráty pak tedy je :

$$93,44 - 91,89 = 1,55 \%$$

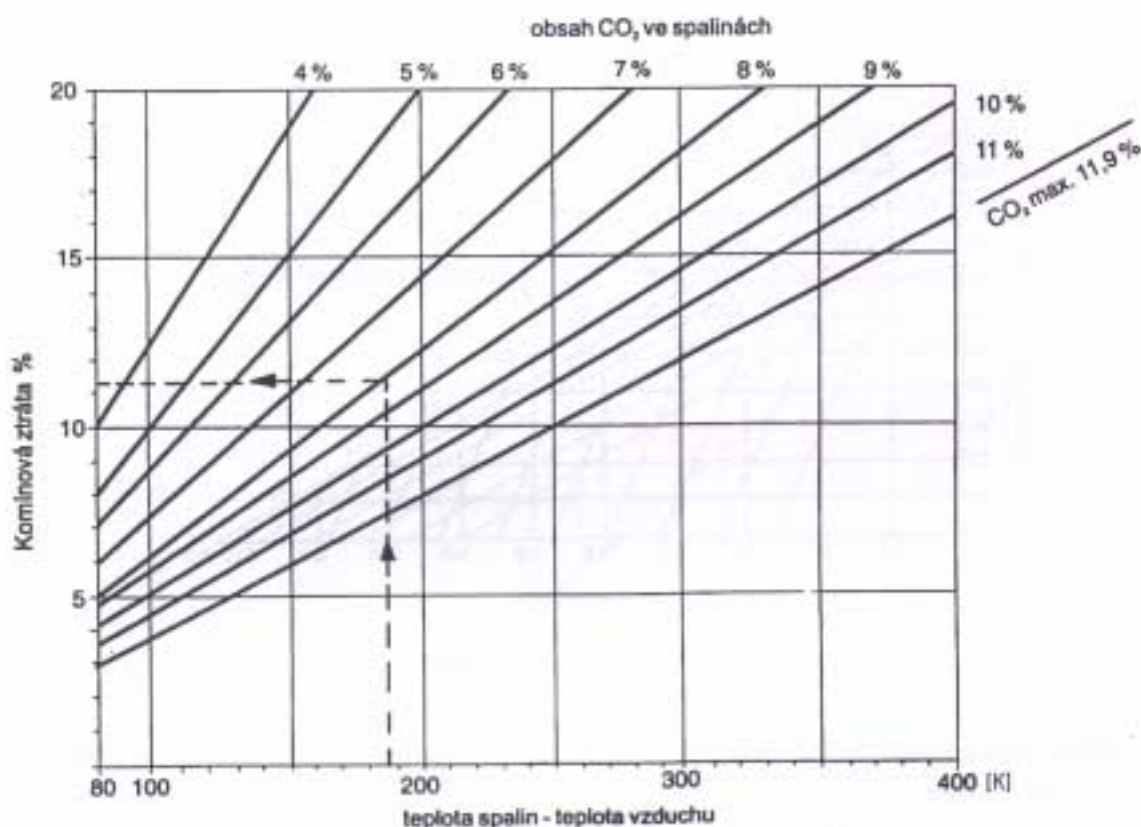
Obecná tepelná bilance kotle na plyn :



Z uvedeného obrázku je zřejmé, že základní a nejvyšší hodnotu ztrát u klasického plynového kotle představuje ztáta komínová, což ostatně platí i u ostatních druhů kotlů a to nejen při spalování plynu. V praxi se často stává, že ostatní hodnoty ztrát, které jsou navýznamné se vynechávají a neberou hned v úvahu. Kotle jsou pak přibližně hodnoceny pouze podle komínové ztráty. Tento zjednodušený postup slouží v praxi pouze pro základní orientaci a může být použit pouze výjimečně.

Pro základní orientaci je možno ke stanovení komínové ztráty při spalování zemního plynu použít následujícího diagramu:

Diagram pro stanovení hodnot komínové ztráty při spalování zemního plynu



III.5.3. Stanovení provozní účinnosti plynových kotlů s kondenzací spalin

Zatím co u předchozích analyzovaných a hodnocených kotlů nebyla brána v úvahu otopná soustava a její provedení, která byla na kotel napojena, pak u kondenzačních kotlů je pro jejich ekonomiku provozu zásobovaná otopná soustava a její provedení rozhodující.

Z uvedeného důvodu bude dále provedeno vyhodnocení provozní účinnosti kondenzačních kotlů variantně podle druhu otopné soustavy, kterou kotel zásobuje,

respektive podle teplotního spádu, který je pro určitý druh otopné soustavy nezbytný a nejvýhodnější.

Pro hodnocení budou vzaty v úvahu teplovodní soustavy s teplotním spádem 90/70°C, , 75/60°C a 40/30°C, které se v provozní praxi vyskytují nejčastěji.

III.5.3.1. Obecné zásady a postupy při hodnocení kondenzačních kotlů

Pro hodnocení provozu kondenzačních kotlů existuje řada metod, které zpravidla nabízí ve svých projektových a prospektových materiálech výrobci jednotlivých kotelních zařízení. Dále bude uveden jeden z postupů, který ve své podstatě také vychází z firemních materiálů. Ve všech případech zpravidla jde o vzorce, které jsou specificky upraveny a zjednodušeny pro určitý druh použitého paliva, nejčastěji pro zemní plyn.

Účinnost spalování

1) bez využití kondenzačního tepla

Pro tento případ se vychází z následujících upravených vztahů, které modifikovaným způsobem vyjadřují komínovou ztrátu kotle :

$$Z_k = (t_{sp} - t_{vzd}) \cdot \left(\frac{A_1}{CO_2} + B \right) \dots\dots\dots \%$$

$$Z_k = (t_{sp} - t_{vzd}) \cdot \left(\frac{A_2}{O_2} + B \right) \dots\dots\dots \%$$

$$\text{Účinnost kotle pak bude : } \eta = 100 - (Z_k + Z_{sv}) \dots\dots\dots \%$$

Z_{sv} je ztráta sáláním a vedením tepla z povrchu kotle do okolí. Hodnota této ztráty pro kondenzační kotle je velmi malá a proto se často vůbec neuvádí a nebere v úvahu. Je však třeba si její vliv uvědomovat. Je možno použít pro malé i větší kotle hodnoty kolem 1% podle okolních podmínek, ve kterých kotel pracuje.

Kotel bez kondenzace může být hodnocen podle obecných zásad jako každý jiný plynový kotel.

2) s využitím kondenzačního tepla spalin :

$$\eta = 100 - (t_{sp} - t_{vzd}) \cdot \left(\frac{A_1}{CO_2} + B \right) + 100 \cdot \frac{Q_h - Q_{ir}}{Q_{ir}} \cdot \alpha \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

t_{sp}	- změřená teplota spalin odcházejících do komína	$^{\circ}\text{C}$
t_{vzd}	- teplota spalovacího vzduchu	$^{\circ}\text{C}$
A_1	- koeficient pro zemní plyn	0,37
A_2	- koeficient pro zemní plyn	0,66
B	- koeficient pro zemní plyn	0,009
CO_2, O_2	- změřené hodnoty složek ve spalinách	%
Q_h	- spalné teplo zemního plynu	10,50 kWh/m ³
Q_{ir}	- výhřevnost zemního plynu	9,46 kWh/m ³
α	- kondenzační číslo (konstanta), udávající kolik z teoretického množství vodní páry ve spalinách skutečně kondenzuje	0 až 1

Příklad stanovení účinnosti kondenzačního kotle :

<u>Zadané hodnoty</u>	- zemní plyn	$Q_{ir} = 9,46 \text{ kWh/m}^3$ $Q_h = 10,50 \text{ kWh/m}^3$
	- spaliny	$t_{sp} = 42^{\circ}\text{C}$, hodnota $\alpha = 0,7$ změřený obsah CO_2 ve spalinách 10,2 %
	- spalovací vzduch	$t_{vzd} = 20^{\circ}\text{C}$

Výpočet účinnosti kotle :

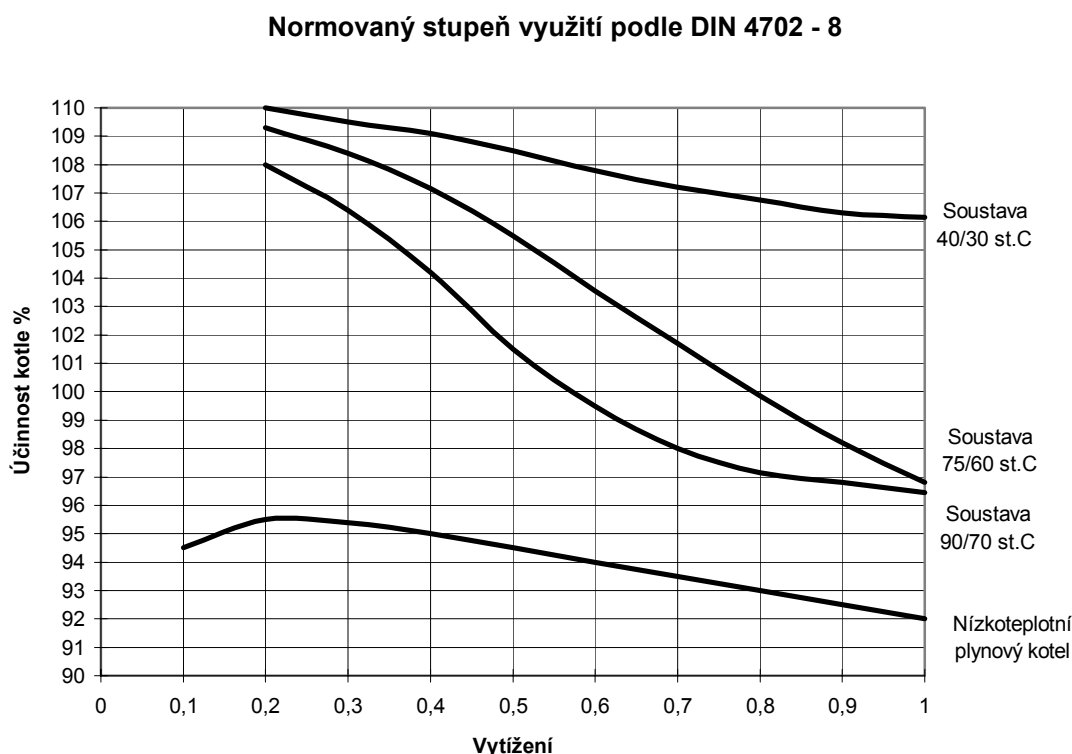
$$\eta = 100 - (42 - 20) \cdot \left(\frac{0,37}{10,2} + 0,009 \right) + 100 \cdot \frac{10,5 - 9,46}{9,46} \cdot 0,7 =$$

$$= 100 - 22 \cdot (0,036 + 0,009) + 10,99 \cdot 0,7 = 100 - 0,99 + 7,69 = 106,7 \%$$

V souvislosti se stanovením účinnosti kondenzačních kotlů se provádí ještě stanovení normovaného stupně využití podle DIN 4072 - 8. Jedná se o charakteristiku kondenzačních kotlů, což je závislost účinnosti na provozním výkonu kotle.

Stupeň využití (účinnost kotle) se stanoví samostatně pro každý teplotní spád příslušné otopné soustavy samostatně.

Podkladem pro stanovení je následující graf :



Vytížení - představuje poměrný podíl provozní doby kotle v režimu kondenzace k celkové provozní době kotle v topném období.

Pro stupeň využití respektive normovanou účinnost kondenzačních kotlů jsou sice uváděny různé výpočetní postupy avšak v podstatě se v praxi vystačí s konečnými hodnotami, které pro různé otopné soustavy jsou následující :

otopná soustava s teplotním spádem : 90/70⁰C $\eta = 103,8 \%$

75/60⁰C $\eta = 106,7 \%$

50/40⁰C $\eta = 107,6 \%$

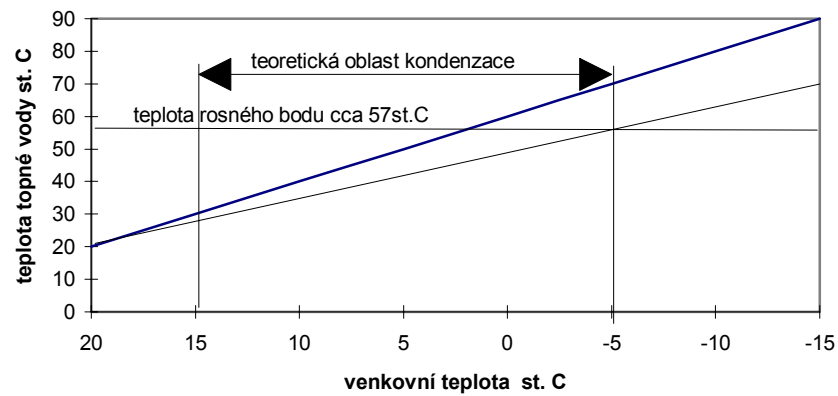
40/30⁰C $\eta = 109,0 \%$

Grafické znázornění bilance plynového kotle s kondenzací spalín je v příloze této práce.

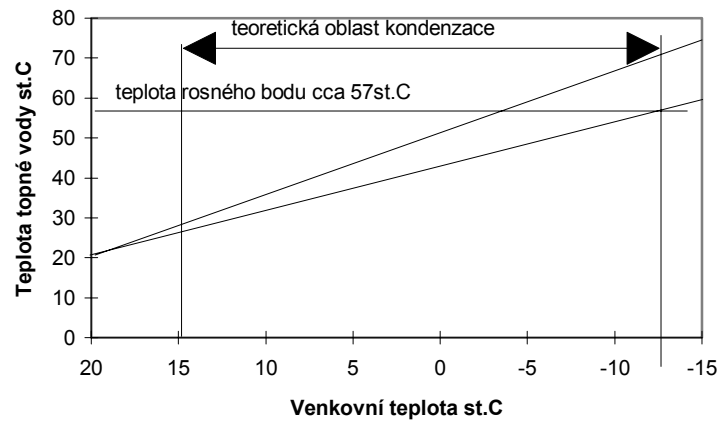
III.6. Množství vznikajícího kondenzátu

Oblast kondenzace spalín a množství vznikajícího kondenzátu je bezprostředně závislé na teplotě vratné vody příslušného topného systému, která vstupuje zpět do kotle. Čím je tato teplota nižší, tím jsou větší možnosti vysokého a efektivního stupně využití kondenzační techniky. Pro názor jsou dále uvedeny v grafické formě otopné soustavy 90/70⁰C, 75/60⁰C a nízkoteplotní soustavu pro podlahové vytápění 40/30⁰C. Z uvedených diagramů jsou zřejmé teoretické oblasti kondenzace a venkovní teploty, při kterých kondenzační proces začíná a končí.

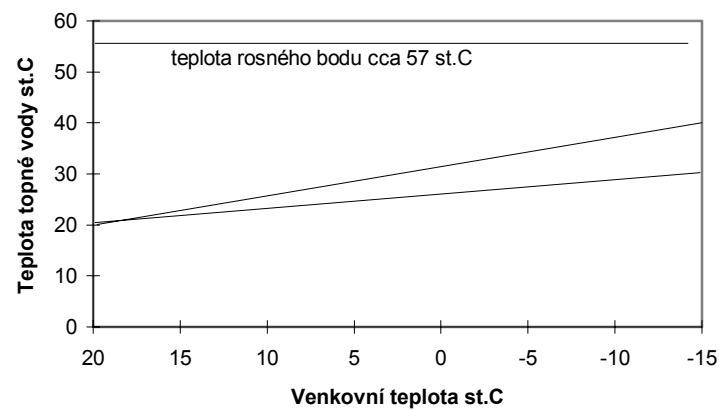
Vliv teplot soustavy 90/70 st.C na kondenzaci



Vliv teploty soustavy 75/60 st.C na kondenzaci



Vliv otopné soustavy 40/30 st.C na kondenzaci



Z uvedených diagramů je zřejmé, že již při dimenzování otopné soustavy na 75/60°C je možno počítat s kondenzací spalin v oblasti venkovních teplot nad -10°C, neboť teplota vratné vody do kotle poklesla pod hodnotu rosného bodu vodní páry.

Dokonce i při otopné soustavě s teplotním spádem 90/70°C jsou podmínky ke kondenzaci při venkovní teplotě nad hodnoty zhruba -5°C.

Ideální podmínky pro kondenzaci vznikají při nízkoteplotní podlahové otopné soustavě s teplotním spádem 40/30°C, kdy je možný po celou dobu otopného období kondenzační provoz a dosahuje se nejvyššího stupně využití. V tomto specifickém případě jsou dokonce celoročně obě teploty topného média hluboko pod kondenzační teplotou vodní páry ve spalinách (teplotou rosného bodu).

III.6.1. Stanovení množství vznikajícího kondenzátu

Množství kondenzátu vzniklé při provozu kondenzačních kotlů je možno orientačně stanovit z maximálního množství vodní páry obsažené ve spalinách, které je vztaženo na m³ spáleného plynu. Pro zemní plyn je tato průměrná hodnota $m_w = 1,56 \text{ kg/m}^3$.

Množství kondenzátu vyloučeného ze spalin m_k se pak určí ze vztahu :

$$m_k = m_w \cdot \alpha = 1,56 \cdot 0,72 = 1,10 \text{ kg/m}^3$$

kde značí : α - kondenzační číslo, které udává kolik z teoretického množství vodní páry skutečně zkondenzuje. Jeho průměrná hodnota je zhruba 0,70 - 0,72.

U stanoveného množství kondenzátu se jedná o přibližné, orientační, provozně se vyskytující hodnoty. Není zde brán zřetel na množství kondenzátu, které vzniká v odtahovém systému. Z odtahového systému se kondenzát odvádí společně s kondenzátem z kotle přes neutralizační zařízení do kanalizace nebo do kondenzační jímky.

Metoda grafického určení kondenzačního čísla α a výpočet množství kondenzátu je uveden v příloze této zprávy.

III.7. Komínová technika u kondenzačních kotlů

Vzhledem ke specifickým jevům kondenzace vodních par z odcházejících spalin a souvisejících problémů je i budování komínů a jejich uspořádání samostatnou technickou disciplínou. Při jejich návrhu je třeba věnovat náležitou pozornost a velmi podrobně analyzovat možný provozní režim kotle nebo kotelny, ověřit stechiometrické a skutečné poměry objemu vznikajících spalin, procesy kondenzace za různých provozních poměrů a zajištění shromažďování a odvodu vzniklých kondenzátů ze spalin.

U všech variantních uspořádání kondenzační techniky, jako je monoblokový kotel s integrovaným výměníkem nebo zařízení dvoudílné se standardním kotlem vysokoteplotním i nízkoteplotním, jsou odváděny spaliny, které mají následující vlastnosti a parametry :

- velmi nízká teplota
- kondenzují v komínovém průduchu
- vlivem nízké teploty je i nižší objem odcházejících spalin a tím je také nižší požadavek na průřez komínového průduchu
- odvodem spalin přetlakovým komínem
- odvodem kondenzátu z komína a kouřovodu

Kategorie komínů a kouřovodů s funkcí komína je kvalifikována a hodnocena jako mokré komíny.

S ohledem na nízkou teplotu spalin, které kondenzují v komíně, je nezbytné používat pro komínový průduch materiál, který odolává korozi kyselého kondenzátu a zároveň umožňuje plynovou nepropustnost komína a dodatečnou zábranu vtékajícímu kondenzátu pronikat do komínového pláště.

V současné době se pro komínové průduchy používají ocelová potrubí z nerezového materiálu (plechu), keramické vložky a nově jsou komíny navrhovány s průduchem z plastového materiálu. Komínové průduchy z plastových materiálů velmi dobře odolávají koroznímu kondenzátu a navíc jsou-li použity spaliny s nízkou teplotou je jejich roztažnost proti plechovým nižší.

Komíny kondenzačních kotlů jsou vesměs komíny přetlakové, tedy od spotřebičů, které mají na výstupním kouřovém hrdle přetlak. Přetlakové komíny a kouřovody, pro připojení plynových spotřebičů musí být pro každý kotel proveden jako samostatný. Společné přetlakové komíny pro více kotlů (spotřebičů) nejsou podle naší technické legislativy povolené.

Přetlakové komínové průduchy musí být vloženy do těsného pláště komína a mezi komínovým průduchem a pláštěm je předepsán vzduchový větraný prostor. Komínový průduch je zkoušen na těsnost.

Ve většině případů nejsou komínové průduchy tepelně izolované a musí být navrženy tak, aby v ústí komína teplota vystupujících spalin nepoklesla pod hodnotu $+5^{\circ}\text{C}$ podle našich pravidel a pod 0°C podle zahraničních předpisů.

U kotlen v podstřešních prostorách nemusí být komínový průduch opatřen těsným pláštěm se vzduchovou mezerou.

Všechny konstrukce na odvod spalin musí mít zařízení na odvod kondenzátu.

III.8. Regulace kondenzačních kotlen a kotlů, příprava TUV

Převážná většina kotlen s kondenzačními kotli se regulují podle stejných zásad, jako kotelný klasické, avšak některé požadavky se zjednodušují.

Regulace kotlového okruhu

Hlavním rozdílem je skutečnost že není nutno regulovat ani průtok a teplotní spád na kotli ani minimální teplotu vratné nebo výstupní vody. Především je nutno respektovat zásadu udržování co nejnížší teploty na výstupu kotle, to znamená neregulovat na konstantní výstup, ale podle potřeb otopné soustavy.

Tato zásada je shodná s klasickými kotelny a potvrzuje základní děj probíhající ve výměnících tepla, kdy při sníženém výkonu proudí teplosměnou plochou menší množství spalin s relativně nižší rychlostí. Z hlediska procesu kondenzace je tento jev výhodný, neboť dochází k relativně vysokému odběru tepla spalinám a tím je i vyšší využití procesu kondenzace.

Z uvedených důvodů je :

- výhodnější provozovat v kaskádě více kotlů se sníženým výkonem než méně kotlů na vysoký výkon a zbytek kotlů udržovat na v provozní odstávce, zvyšuje se tak provozní účinnost kotelny a snižují ztráty z pohotovostního stavu
- výhodnější měnit teplotu výstupní vody podle odběru otopné soustavy a udržovat ji co nejnižší, zvyšuje se tím účinnost kotlů a snižují provozní ztráty v kotelně

Regulace topných okruhů

Jako velmi výhodné se ukazuje provádět regulaci topných okruhů přímo výkonem kotle, čímž se zvýší podmínky pro trvání kondenzačního jevu a zjednoduší se tím technologie kotelny a je nižší cena investice na provedení kotelny

Používané regulátory

Pro speciální kondenzační kotle jsou k dispozici specificky vyvinuté regulátory pro řízení výkonu kotlů a nebo jejich kaskády. Zvláštností je hlavně velký teplotní a regulační rozsah kotle, který je mimo rozsah a možnosti obvyklých algoritmů. Tyto regulátory zpravidla umožňují i kombinaci kaskády kondenzačních kotlů s klasickými kotle.

Příprava TUV

Pro přípravu TUV se používají stejné regulátory. Pro vlastní zařízení se doporučuje používat větších nepřímo ohříváných zásobníků tak, aby bylo možno vodu ohřívát poze jednou až dvakrát denně a v ostatní době mohou kotle pracovat v kondenzačním režimu.

III.9. Úspory energie a ekonomika provozu kotlů v praxi

Dále je provedeno vzájemné srovnání kotlů, které pracují v klasických otopných soustavách a v soustavách tepelně nízkopotenciálních. V této souvislosti jsou hodnoceny úspory energie v primárním palivu, provozní náklady na výrobu tepla, investiční náklady na vybudování zdroje tepla a příslušné otopné soustavy a cena vyrobeného tepla.

Toto srovnání má základní význam pro případy, kdy dochází k rekonstrukcím malých a středních zdrojů tepla z původního paliva na paliva ušlechtilá a nebo k výstavbě zcela nových zdrojů tepla v rámci postupující nové výstavby bytových nebo průmyslových objektů případně k jejich stavebním úpravám. V rámci hodnocení jsou dále porovnány také uhelné ekologizované kotle, kotle klasické plynové, kotle plynové nízkoteplotní a plynové kotle kondenzační. V investičních nákladech se vždy předpokládá pořízení nového kotle a příslušné otopné soustavy.

Pro jednoduchost bude ve všech případech zvažován nízkotlaký teplovodní zdroj s výkonem 300 kW, se třemi stejnými kotle, každý s výkonem cca 100 kW. Teplo je ve zdroji vyráběno pro vytápění a přípravu TUV s celkovým požadovaným příkonem 280 kW.

Pro ekonomické hodnocení jsou uvažovány následující provozní varianty :

Varianta I - provoz kotlů s teplovodní radiátorovou soustavou 90/70°C

Varianta II - provoz kotlů s teplovodní radiátorovou soustavou 75/60°C

Varianta III - provoz kotlů s teplovodní velkoplošnou radiátorovou soustavou 55/40°C

Varianta IV - provoz kotlů s teplovodní soustavou velkoplošnou podlahovou 40/30°C

Srovnání provozu kotlů a jejich ekonomiky je provedeno v následujícím tabelárním přehledu:

	Varianta I	Varianta II	Varianta III	Varianta IV
<u>Kotelna na hnědé uhlí:</u>				
roční výroba tepla	2100GJ/r	2100 GJ/r	2100GJ/r	2100 GJ/r
spotřeba tepla v palivu	2692GJ/r	2692 GJ/r	2692GJ/r	2692 GJ/r
spotřeba paliva za rok	158,4t/r	158,4 t/r	158,4t/r	158,4 t/r
průměrná provozní účinnost	78%	78%	78%	78%

investiční náklady :

na zdroj	660 000Kč	660 000Kč	660 000Kč	660 000Kč
na otopnou soustavu	1 120 000Kč	1 200 000Kč	1 350 000Kč	1 450 000Kč
celkem	1 780 000Kč	1 860 000Kč	2 010 000Kč	2 110 000Kč

náklady na palivo	175 000Kč/r	175 000Kč/r	175 000Kč/r	175 000Kč/r
náklady na mzdy	240 000Kč/r	240 000Kč/r	240 000Kč/r	240 000Kč/r
náklady na elektřinu	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r
náklady na vodu	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r
náklady na opravy a servis	15 000Kč/r	15 000Kč/r	15 000Kč/r	15 000Kč/r
odpisy zařízení	148 000Kč/r	155 000Kč/r	168 000Kč/r	176 000Kč/r
celkem	598 500Kč/r	605 500Kč/r	618 500Kč/r	624 500Kč/r

cena vyráběného tepla	285Kč/GJ	288,3Kč/GJ	294,5Kč/GJ	297,4Kč/GJ
-----------------------	----------	------------	------------	------------

Klasická kotelna na plyn:

roční výroba tepla	2100GJ/r	2100 GJ/r	2100GJ/r	2100 GJ/r
spotřeba tepla v palivu	2415GJ/r	2415 GJ/r	2415GJ/r	2415 GJ/r
spotřeba paliva za rok	71 000 m3/r	71 000 m3/r	71 000 m3/r	71 000 m3/r
průměrná provozní účinnost	87%	87%	87%	87%

investiční náklady :

na zdroj	380 000Kč	380 000Kč	380 000Kč	380 000Kč
na otopnou soustavu	1 120 000Kč	1 200 000Kč	1 350 000Kč	1 450 000Kč
celkem	1 500 000Kč	1 580 000Kč	1 710 000Kč	1 830 000Kč

náklady na palivo	510 000Kč/r	510 000Kč/r	510 000Kč/r	510 000Kč/r
náklady na mzdy	100 000Kč/r	100 000Kč/r	100 000Kč/r	100 000Kč/r
náklady na elektřinu	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r
náklady na vodu	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r
náklady na opravy a servis	30 000Kč/r	30 000Kč/r	30 000Kč/r	30 000Kč/r
odpisy zařízení	125 000Kč/r	132 000Kč/r	143 000Kč/r	153 000Kč/r
celkem	785 500Kč/r	792 500Kč/r	803 500Kč/r	813 500Kč/r
cena vyráběného tepla	374Kč/GJ	377,4Kč/GJ	382,6Kč/GJ	387,4Kč/GJ

Plynová kotelna s nízkoteplotními
kotli bez kondenzace:

roční výroba tepla	2100GJ/r	2100 GJ/r	2100GJ/r	2100 GJ/r
spotřeba tepla v palivu	2283GJ/r	2258 GJ/r	2234GJ/r	2234 GJ/r
spotřeba paliva za rok	67 000 m3/r	66 300 m3/r	65 600 m3/r	65 600 m3/r
průměrná provozní účinnost	92%	93%	94%	94%

investiční náklady :

na zdroj	480 000Kč	480 000Kč	480 000Kč	480 000Kč
na otopnou soustavu	1 120 000Kč	1 200 000Kč	1 350 000Kč	1 450 000Kč
celkem	1 600 000Kč	1 680 000Kč	1 830 000Kč	1 930 000Kč
náklady na palivo	482 500Kč/r	477 500Kč/r	472 500Kč/r	472 500Kč/r
náklady na mzdy	100 000Kč/r	100 000Kč/r	100 000Kč/r	100 000Kč/r
náklady na elektřinu	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r
náklady na vodu	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r
náklady na opravy a servis	30 000Kč/r	30 000Kč/r	30 000Kč/r	30 000Kč/r
odpisy zařízení	133 000Kč/r	140 000Kč/r	152 000Kč/r	161 000Kč/r
celkem	766 000Kč/r	768 000Kč/r	775 000Kč/r	784 000Kč/r
cena vyráběného tepla	364,8Kč/G J	365,7Kč/GJ	369Kč/GJ	373,3Kč/GJ

Plynová kotelna
s kondenzačními kotli:

roční výroba tepla	2100GJ/r	2100GJ/r	2100GJ/r	2100GJ
spotřeba tepla v palivu	2120GJ/r	2019GJ/r	1991GJ/r	1962GJ/r
spotřeba paliva za rok	62 260m3/r	59 300m3/r	58 470 m3/r	57 620 m3/r
průměrná provozní účinnost	99%	104%	105,5%	107%

investiční náklady :

na zdroj	1 100 000Kč	1 100 000Kč	1 100 000Kč	1 100 000Kč
na otopnou soustavu	1 120 000Kč	1 200 000Kč	1 350 000Kč	1 450 000Kč
celkem	2 220 000Kč	2 300 000Kč	2 450 000Kč	2 550 000Kč
náklady na palivo	450 000Kč/r	420 000Kč/r	410 000Kč/r	405 500Kč/r
náklady na mzdy	100 000Kč/r	100 000Kč/r	100 000Kč/r	100 000Kč/r
náklady na elektřinu	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r	15 500 Kč/r

náklady na vodu	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r	5 000 Kč/r
náklady na opravy a servis	30 000Kč/r	30 000Kč/r	30 000Kč/r	30 000Kč/r
odpisy zařízení	185 000Kč/r	192 000Kč/r	204 000Kč/r	213 000Kč/r
celkem	785 500Kč/r	762 500Kč/r	764 500Kč/r	769 000Kč/r
cena vyráběného tepla	374Kč/GJ	363Kč/GJ	364Kč/GJ	366,2Kč/GJ

Rekapitulace vybraných údajů pro roční výrobu tepla na zdroji ve výši 2100 GJ/r :

	Varianta I	Varianta II	Varianta III	Varianta IV
<u>Průměrná provozní účinnost v % :</u>				
Kotelna na hnědé uhlí ($Q_{ir} = 17,5 \text{ MJ/kg}$)	78%	78%	78%	78%
Klasická kotelna na plyn	87%	87%	87%	87%
Nízkoteplotní plynové kotle bez kondenzace	92%	93%	94%	94%
Plynová kotelna s kondenzačními kotli	99%	104%	105,5%	107%
<u>Potřeba tepla v primárním palivu v GJ/r :</u>				
Kotelna na hnědé uhlí ($Q_{ir} = 17,5 \text{ MJ/kg}$)	2692	2692	2692	2692
Klasická kotelna na plyn	2415	2415	2415	2415
Nízkoteplotní plynové kotle bez kondenzace	2283	2258	2234	2234
Plynová kotelna s kondenzačními kotli	2120	2019	1991	1962
<u>Roční spotřeba paliva :</u>				
Kotelna na hnědé uhlí ($Q_{ir} = 17,5 \text{ MJ/kg}$)	158,4 t/r	158,4 t/r	158,4 t/r	158 t/r
Klasická kotelna na plyn	71 000 m3/r	71 000 m3/r	71 000 m3/r	71 000 M3/r
Nízkoteplotní plynové kotle bez kondenzace	67 000 m3/r	66 300 m3/r	65 600 m3/r	65 600 m3/r
Plynová kotelna s kondenzačními kotli	62 260 m3/r	59 300 m3/r	58 470 m3/r	57 620 m3/r
<u>Investiční náklady v tis. Kč :</u>				
Kotelna na hnědé uhlí ($Q_{ir} = 17,5 \text{ MJ/kg}$)	1 780	1 860	2 010	2 110
Klasická kotelna na plyn	1 500	1 580	1 710	1 830
Nízkoteplotní plynové kotle bez kondenzace	1 600	1 680	1 830	1 930
Plynová kotelna s kondenzačními kotli	2 220	2 300	2 450	2 550

Specifický investiční náklad

na zdroj a otop. soustavu celkem / jen kotle v tis. Kč/kW :

Kotelna na hnědé uhlí ($Q_{ir} = 17,5 \text{ MJ/kg}$)	5,9 / 2,2	6,2 / 2,2	6,7 / 2,2	7,0 / 2,2
Klasická kotelna na plyn	5,0 / 1,3	5,3 / 1,3	5,7 / 1,3	6,1 / 1,3
Nízkoteplotní plynové kotle bez kondenzace	5,3 / 1,6	5,6 / 1,6	6,1 / 1,6	6,4 / 1,6
Plynová kotelna s kondenzačními kotli	7,3 / 3,7	7,7 / 3,7	8,2 / 3,7	8,5 / 3,7

Provozní náklady v tis. Kč/r :

Kotelna na hnědé uhlí ($Q_{ir} = 17,5 \text{ MJ/kg}$)	598,5	605,5	618,5	624,5
Klasická kotelna na plyn	785,5	792,5	803,5	813,5
Nízkoteplotní plynové kotle bez kondenzace	766	768	775	784
Plynová kotelna s kondenzačními kotli	785,5	762,5	764,5	769

Cena vyrobeného tepla v Kč/GJ :

Kotelna na hnědé uhlí ($Q_{ir} = 17,5 \text{ MJ/kg}$)	285	288,3	294,5	297,4
Klasická kotelna na plyn	374	377,4	382,6	387,4
Nízkoteplotní plynové kotle bez kondenzace	364,8	365,7	369	373,3
Plynová kotelna s kondenzačními kotli	374	363	364	366,2

III.10. Praktické poznatky s technickým provedením kondenzačních kotlů a jejich provozem

Praxi se velmi často stává, že řada kotelních zařízení s kondenzačními kotli je provedena v rozporu se zásadami kondenzační techniky, čímž je značně omezeno využití procesu kondenzace a tím snížena provozní ekonomika kotlů, z důvodů jejich nižší účinnosti.

Dále jsou uvedeny zdroje chybného provedení, které se v praxi vyskytují nejčastěji. Popisná část je následně doplněna názornými obrázky.

Jde o tyto případy :

1. Vratná kotlová voda se musí vracet s pokud možno co nejnižší teplotou přímo do kondenzační ho výměníku kotle. Je třeba se vyhnout všem technickým opatřením, které způsobují jakékoli zvýšení teploty vratné vody.

a) Zde se především jedná o naprosto nevhodné používání čtyřcestných směšovačů, které regulují výstupní teplotu topného okruhu a současně směšují výstupní horkou vodu se

vstupní vodou do kotle. Zvýšení teploty zpětné vracející se vody do kotle, které tím vzniká snižuje možnost procesu kondenzace v kotli.

Pokud je nezbytné použít směšování vratné vody do topné větve, pak je výhodné použít směšovače třícestné, při kterých je zpětná voda z topného okruhu vedena přímo do kondenzačního výměníku kotle bez zvýšení její teploty. Tím jsou dány předpoklady pro nejvyšší možnosti kondenzace a je možno využívat pozitivních vlastností směšovače v topném okruhu i u kondenzačních kotlů.

b) Podobně platí o často praktikovaném nevhodném použití přepouštěcího ventilu v topném okruhu nebo přímo v kondenzačním kotli. Aplikace přepouštěcích ventilů (bypassu), které mají za účel odstranění hlučného proudění vody v uzavíracích termostatických ventilech a dodržení minimálního množství oběhové vody v soustavě. Použití kondenzační techniky a její zásady aplikaci těchto ventilů vylučují.

Jestliže je nutné zabránit hlučnému proudění vody v uzavíracích termostatických ventilech, mohou se zabudovat oběhová čerpadla s vlastní elektronickou regulací otáček. Použitím těchto čerpadel navíc ještě dochází pro uživatele k úsporám elektrické energie na pohon čerpadla.

c) Nedoporučuje se používání rozdělovačů bez diferenčního tlaku, hydraulických přerušovačů s primárním čerpadlem, případně s vyrovnávacím zásobníkem. Zařízení s kondenzačním kotlem by mělo být řešeno jak bez rozdělovače bez diferenčního tlaku, tak i bez vyrovnávacího zásobníku.

Hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků HVDT (tak se také tato zařízení nazývají) sice výhodně v otopné soustavě zajišťuje :

- vyrušení (anulování) přebytku dynamického tlaku oběhových čerpadel kotlového okruhu přenášeného do otopné soustavy
- oddělí otopnou soustavu bez zásahu do hydraulické stability kotlového okruhu
- průtok vody kotlovým okruhem není ovlivňován otopnou soustavou

Pokud však konstrukční řešení konkrétního případu vyžaduje minimální, nezbytně nutné množství oběhové vody v topném okruhu, musí se provozovatel zařízení smířit s tím, že účinnost kondenzačního zařízení bude nižší a nebude plně využito možného efektu kondenzace spalin. Mimo to dochází ještě ke zvýšení provozních nákladů na elektrickou energii pro čerpadlo kotlového okruhu. Stejně se také zvyšují investiční náklady na instalaci hydraulického oddělovače nebo na vyrovnávací zásobník.

d) Pokud je otopná soustava provedena s několika topnými okruhy s velmi rozdílnými teplotami topné vody a pouze jen jedním hrdlem vstupní zpětné vody do kondenzačního výměníku kotle, musí být vratné větve topných okruhů svedeny do jednoho přívodu (do jedné přívodní trubky). V tomto případě má vstup kotlové vody vyšší teplotu, alespoň po určitou dobu, což způsobují topné okruhy s vyššími teplotami, čímž se snižuje oblast kondenzace vodní páry ze spalin kotle.

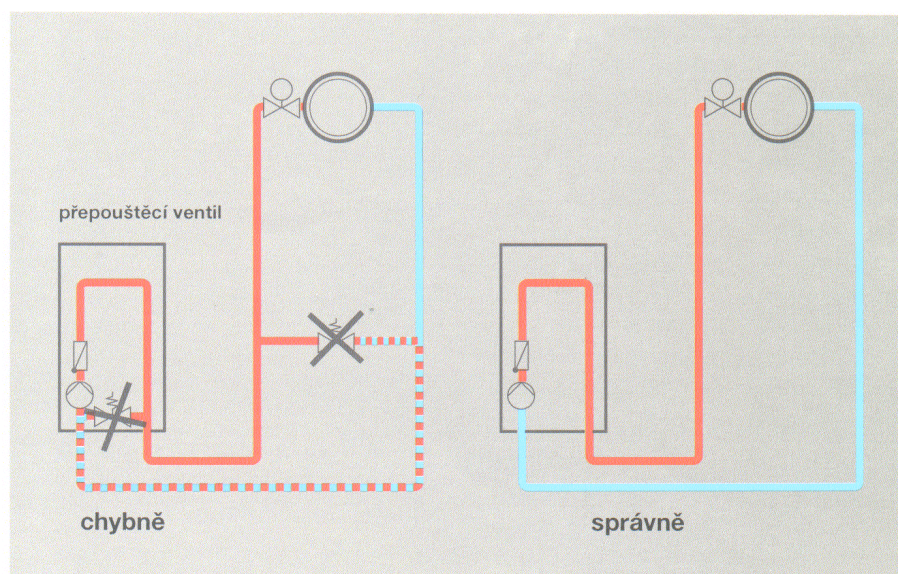
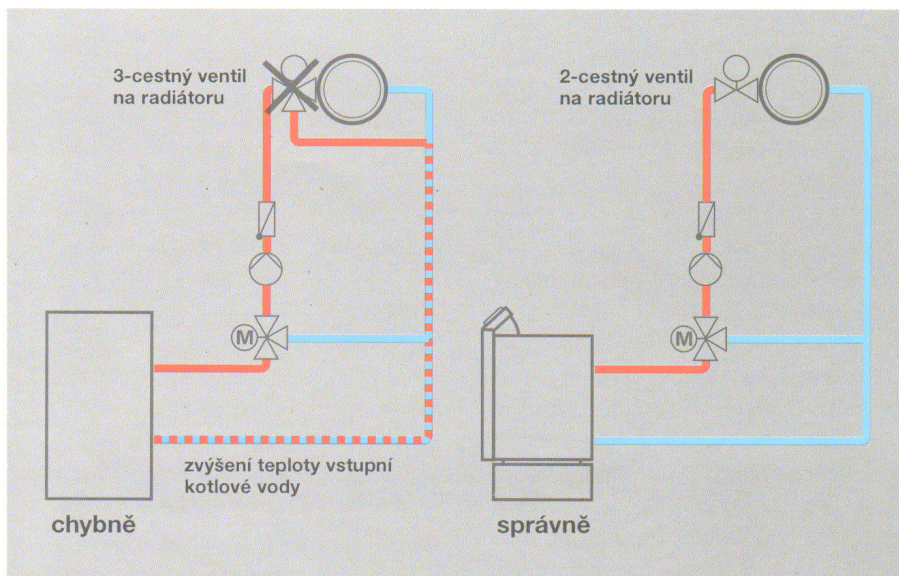
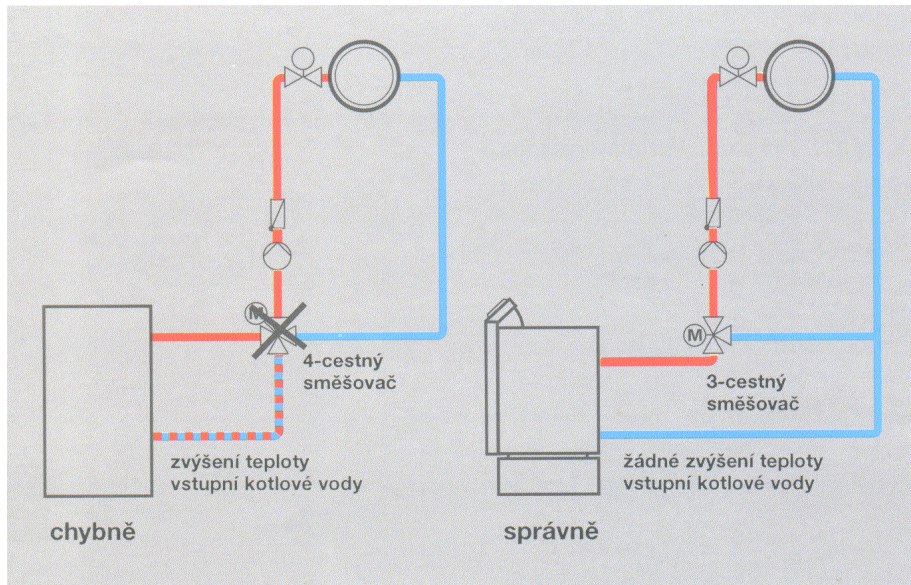
V případech několika topných okruhů s rozdílnými teplotami je vhodné instalovat kondenzační kotel, který je vybaven dvěma vstupními hrdly v různé výšce. Rozdělením vstupů topného okruhu na vysoko a nízkoteplotní okruhy je možno dosáhnout optimálního stupně využití kondenzačního procesu v kotli. Moderní kotle jsou konstruovány tak, že jejich bezvadná funkce je zajištěna i v případech, kdy poklesne průtok ve spodním hrdle vstupní vody na nulovou hodnotu.

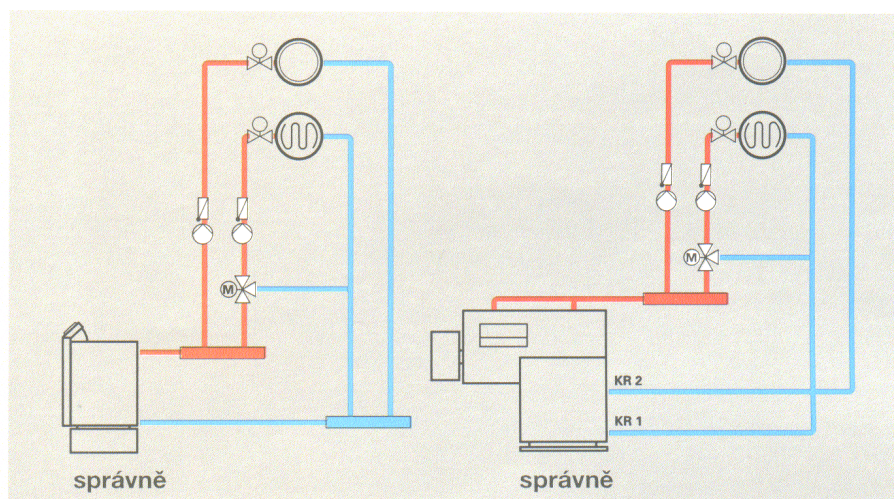
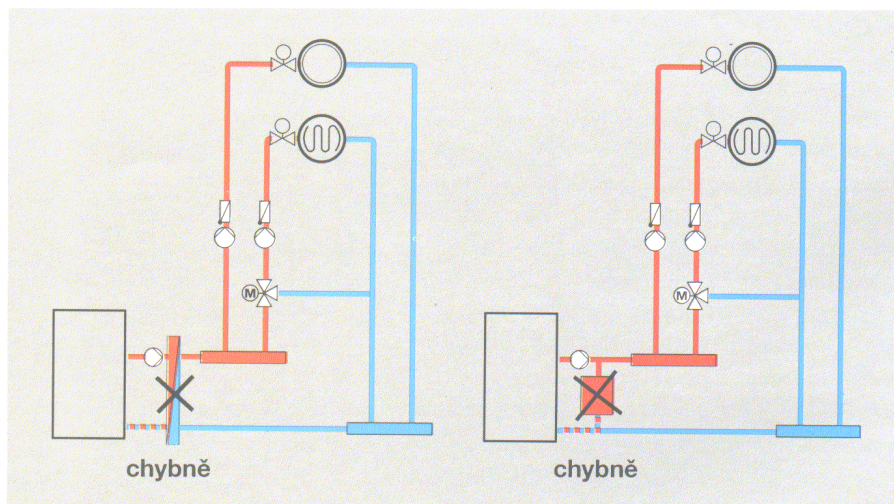
e) Teplotu vratné vody zvyšují i často používané třícestné termostatické ventily na topných tělesech. Ventily mění průtok vody procházející topnou plochou, v topném okruhu však zůstává průtok konstantní. Výstupní kotlová voda se přimíchává do okruhu vratné vody, čímž dochází ke zvýšení teploty vstupní vody do kondenzační části kotle. To má opět za následek snížené možnosti využití kondenzace. Proto je nezbytné používat na otopných tělesech pouze termostatické ventily ve dvojcestném provedení, které provádí škrcení průtoku vody otopným tělesem.

Negativně ovlivňují proces kondenzace spalin ještě :

2. Použití čerpadla kotlového okruhu, případně neregulovaného přimíchávacího čerpadla.
3. Předimenzování oběhového čerpadla při ohřevu zásobníkového ohřivače vody.

Názorně jsou některé výše uvedené případy zobrazeny na následujících schematických obrázcích :





III.11. Konstrukce a provedení kotlů s kondenzací spalin

Ve většině případů jsou kondenzační kotle konstrukčně provedeny jako dokonalé protiproudé výměníky tepla, které svou velikostí a uspořádáním zabezpečují ochlazení výstupních spalin z kotle až na teplotu, která je zpravidla 5 až 10⁰C nad teplotou vody, která jako zpátečka vstupuje z topného okruhu zpět do kotle. Teplota spalin je tak velmi úzce svázána s teplotou zpětné vracející se vody.

Kotle jsou nejčastěji vybaveny tlakovými hořáky s progresivním plynulým způsobem regulace výkonu kotle. U kotlů malých výkonů pro domovní kotelny jsou mimo hořáky tlakové používány také i hořáky atmosférické. U atmosférických hořáků se provádí předsměšování spalovací směsi plyn - vzduch. Kotle s tlakovými hořáky mají přetlaková topeniště a kotle s atmosférickými hořáky jsou zpravidla provozovány s odtahovým ventilátorem.

Výkony kotlů malých výkonů jsou zpravidla řízeny stupňovitě ve dvou až třech stupních. Výkony kotlů vyšších výkonů jsou řízeny obvykle plynule.

Konstrukční provedení kondenzační techniky :

Zdroje pro kondenzační techniku lze principiálně rozdělit na :

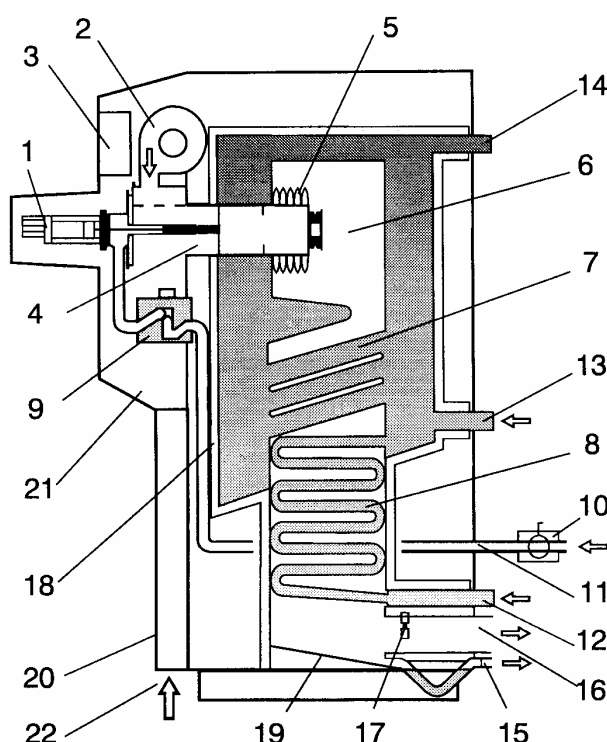
- kondenzační kotle, kde je buď celý výměník nebo jeho část uspůsoben na kondenzační provoz
- kotle s odděleným kondenzačním výměníkem od kotle a kotel je provozován na bezkondenzační provoz

Vlastní kotle jsou prováděny jako :

- kondenzační kotel integrovaný s jedním výměníkem
- kondenzační kotel integrovaný s odděleným kondenzačním výměníkem s připojením na jeden okruh
- kondenzační kotel integrovaný s odděleným kondenzačním výměníkem s možností připojení na dva okruhy
- kondenzační kotel a oddělený kondenzační výměník

Pro názor je dále uvedeno konstrukční schema kotle s kondenzací spalin. Jedná se o kotel moderní konstrukce s menším výkonem. Obrázek představuje charakteristickou konstrukci kondenzačních kotlů s výkonem převážně do 50 kW.

Schematický řez kondenzačním kotlem soudobé konstrukce



Legenda:

- | | |
|----|-----------------------------|
| 1 | modulovaný přetlakový hořák |
| 2 | vzduchový ventilátor |
| 3 | řídící skříňka |
| 4 | směšovací komora |
| 5 | aktivní povrch hořáku |
| 6 | nerezová spalovací komora |
| 7 | nerezový výměník |
| 8 | nerezový kondenzátor |
| 9 | plynová regulační armatura |
| 10 | plynový kohout |
| 11 | připojení plynu |
| 12 | nízkoteplotní vratka |
| 13 | vysokoteplotní vratka |
| 14 | výstup |
| 15 | odvod kondenzátu se sifonem |
| 16 | kouřové hrdlo |
| 17 | λ -sonda |
| 18 | tepelná izolace |
| 19 | kondenzátní vana |
| 20 | opláštění |
| 21 | kryt tlumící hluk |
| 22 | vstup spalovacího vzduchu |

Vzhledem k tomu, že ekonomiku provozu kotlů a tedy jejich účinnost bezprostředně ovlivňuje velikost součinitele přebytku spalovacího vzduchu je u kvalitních výrobků věnována výrobci kotlů této otázce značná pozornost. Kotle jsou vybaveny spojitě řízeným výkonem a s přímou regulací a řízením směšovacího poměru a navíc je pro zpětnovazební kontrolu ještě instalována λ sonda. Tyto kotle jsou však poměrně velmi drahé, avšak jejich provozní ekonomika dosahuje ve všech provozních situacích nejvyšších výsledků, které odpovídají katalogovým hodnotám výrobců. Vzhledem k vysoké ceně jsou proto vyráběny i kotle jednodušší s nižší úrovní regulační techniky.

Horší provozní výsledky jsou dosahovány u kotlů se stupňovou regulací výkonu i když jsou vybaveny automatikou řízení směšovacích poměrů. Proti údajům výrobců jsou praktické provozní hodnoty účinnosti o 5 - 10% nižší.

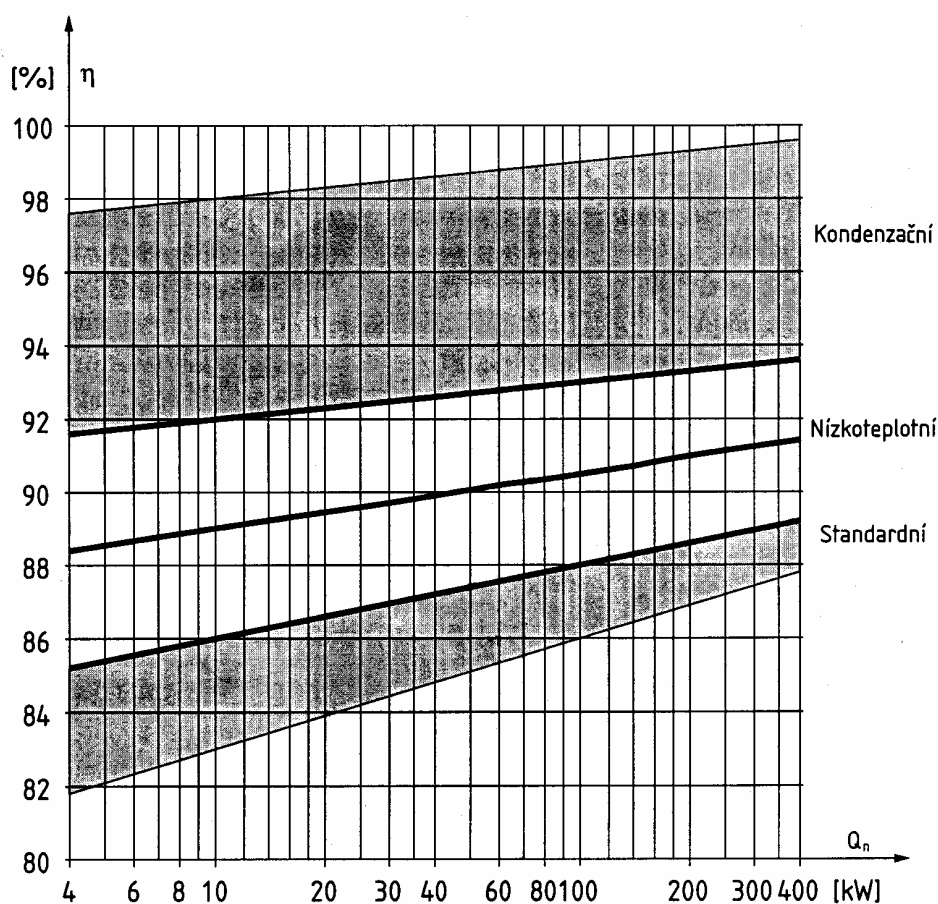
Nejhorší provozní výsledky vykazují kotle se spojitým i stupňovitým řízením výkonu, ale bez řízení směšovacího poměru. Zde je dosahováno provozních hodnot až o 20% nižších než je deklarováno výrobcem zařízení. U těchto kotlů jsou, vlivem regulačního nesouladu v provozních režimech, hodnoty součinitele přebytku spalovacího vzduchu velmi vysoké a dosahují hodnot 3,0 a více. Navíc servisní služba provádí často seřízení hořáků a spalovacích procesů s určitou rezervou přebytku spalovacího vzduchu, což opět přispívá k dalšímu zhoršování provozní ekonomiky kotlů.

Provozně vyšší až vysoké hodnoty součinitele přebytku spalovacího vzduchu, ať již z jakéhokoli důvodu vedou jednak ke zvýšení komínové ztráty kotle a snížení jeho účinnosti a

dále také k výraznému snížení hodnoty rosného bodu vodních par ve spalínách a tím je žádoucí proces kondenzace buď úplně vyloučen nebo omezen na podstatně kratší dobu. To opět má za následek zbytečné energetické ztráty nevyužíváním kondenzačního tepla.

V této souvislosti je třeba konstatovat, že praktické poznatky s provozem plynových kotlů a to nejen kondenzačních ukazují, že výroba tepla se provádí s relativně nízkou účinností. Odborným odhadem je možno ji odhadnout v rozmezí cca 75 až 85%. Valná většina plynových kotlen vykazuje hodnoty, které jsou na spodní úrovni provozního rozsahu i přesto, že jsou často instalovány kvalitní kotle s vysokými katalogovými hodnotami účinnosti nad 90%. Jedná se o velmi závažnou situaci, kdy je třeba, aby ze strany nejen servisních techniků, ale i projektantů tepelné techniky a regulační techniky byla otázce návrhu plynových zdrojů tepla, zejména s kondenzací spalín věnována maximální pozornost a péče.

Nejnižší hodnoty účinnosti plynových kotlů, které jsou a nebo budou aplikovány v našich podmínkách předepisuje nařízení vlády ČR č. 180/1999. Údaje jsou zřejmé z následujícího grafu.



Silné přímký platí pro jmenovité výkony Q_n , slabé pro 30 % příkony

III.12. Obecné zásady při posuzování a hodnocení kondenzačních kotlů

Jedná se hlavně o následující oblasti, kam je vhodné zaměřit pozornost :

- Kotel a kondenzační výměník mají různé tepelné výkony, tepelný výkon kondenzačního výměníku bývá 6 až 10% výkonu kotle
- Tepelný zisk v kondenzačním výměníku je závislý na vstupní teplotě spalin a teplotě zpětné vody. Při teplotě spalin 160°C a teplotě zpětné vody 40°C se získá přibližně $0,9 \text{ kW/m}^3$ spáleného plynu. Se stoupající teplotou spalin a klesající teplotou zpětné vody lze docílit až $1,3 \text{ kW/m}^3$ spáleného plynu, při $\text{CO}_2 = 10,8 \%$.
- Teplotní spád v kondenzačním výměníku je zpravidla ve výši $4 - 5^{\circ}\text{C}$.
- Teplota spalin za výměníkem by měla být cca o $10 - 15^{\circ}\text{C}$ vyšší než teplota vstupní vody do kotle.
- Teplota zpětné vody z otopné soustavy do kotle má být minimálně o 10°C nižší než je teplota rosného bodu vodní páry ve spalinách.
- Nejvyšší teoretickou účinnost při spalování zemního plynu 111% lze získat ochlazením spalin až na referenční teplotu 20°C .
- Spalování při nejnižším součiniteli přebytku spalovacího vzduchu.
- Při spalování zemního plynu se součiniteli přebytku spalovacího vzduchu $n = 1,2$ je teplota rosného bodu spalin 56°C .
- Spálením 1 m^3 zemního plynu vznikne teoreticky $1,63 \text{ kg}$ kondenzátu.
- Ke kondenzačním kotlům by měla být přiřazována otopná soustava s konvenční otopnou plochou s parametry topné vody $55/40^{\circ}\text{C}$ a nebo nejlépe velkoplošná soustava podlahová s parametry otopné vody $40/30^{\circ}\text{C}$.
- Kondenzační kotle musí být připojeny na otopnou soustavu tak, aby zpětná voda do kotle měla co nejnižší teplotu. Z toho důvodu je umisťování čtyřcestných ventilů a klapek do kotlového okruhu zcela nasprávné.
- Topný výkon kotle se musí řídit v závislosti na venkovní teplotě a teplotě vratné vody z otopné soustavy.
- Předností kondenzační techniky je nejen vysoká účinnost, ale i snižování množství škodlivin. Obsah CO_2 se snižuje i při chemické vazbě na kondenzát.

III.13. Kontrola provozního režimu a účinnosti kotlů

Každý tepelný zdroj, kde je spalován plyn je poměrně velmi dobře vybaven nejen regulací vlastního provozu, ale i sledováním důležitých provozních údajů, jak samotného kotle, tak i otopné soustavy. I přes tyto okolnosti je ze strany provozovatele kladenena velká důvěra na servisní služby, které se hlavní měrou podílejí na ekonomice provozu kotle a jeho účinnosti vlivem dokonalosti a kvality seřízení spalovacího procesu.

Mimo pravidelné servisní prohlídky je však vhodné provádět i krátkodobá, namátková, informativní měření za účelem ověřování účinnosti spalování a účinnosti celkové. Pro tyto případy je na našem trhu několik dodavatelů měřicí techniky jak zahraniční, tak i tuzemské. Vesměs jde o přístrojová zařízení, která jsou vybavena především pro stanovení hodnot emisí jednotlivých složek a zároveň i ke stanovení hodnot komínové ztráty. Cena těchto přístrojů je poměrně značná a jejich pořízení se vyplatí pouze u provozovaných zařízení větších výkonů.

III.14. Dostupnost kotlů s kondenzací spalín na našem trhu

Na našem trhu je k dispozici celá řada kotlů s kondenzací spalín a to jak od našich, tak i zahraničních výrobců. Dále je uveden stručný přehled dodávaných kotlů podle jednotlivých dostupných výrobců. Uváděn je výkon kotle, provedení a specifický ukazatel investic na pořízení kotle.

Dále uvedený přehled představuje nejčastěji v praxi používané kotle.

Jsou zde sledovány výkonové řady :

10 - 50 kW	pro rodinné domky
50 - 100 kW	pro bytové domy
100 - 500 kW	pro pro blokové a malé průmyslové zdroje
500 - 1000 kW	pro centrální zdroje a průmyslová použití
nad 1000 kW	pro speciální průmyslové případy použití

Kategorie malých výkonů 10 - 50 kW

Výrobce	Dodávané výkony	Specifický ukazatel investic
Junkers Pod višňovkou 25/1661 Praha 4	12 kW, závěsný kotel 25 kW, závěsný kotel 42 kW, závěsný kotel	5,00 tis.Kč/kW 2,80 tis.Kč/kW 1,95 tis.Kč/kW
Protherm s.r.o. Jablonského 4, Praha 4	25 kW, závěsný kotel	2,35 tis.Kč/kW
Dakon s.r.o. Ve Vrbíně 3, Krnov	24 kW, závěsný kotel 25 kW, závěs. a stac. kotel 28 kW, závěs. a stac. kotel	2,33 tis.Kč/kW 2,36 tis.Kč/kW 2,50 tis.Kč/kW
Vaillant s.r.o. Plzeňská 221/130, Praha 5	20 kW, závěsný kotel 22 kW, závěsný kotel 24 kW, závěsný kotel 49 kW, závěsný kotel	3,50 tis.Kč/kW 2,64 tis.Kč/kW 3,08 tis.Kč/kW 2,35 tis.Kč/kW
Buderus s.r.o. Průmyslová 372/1, Praha 10	11 kW, závěsný kotel 24 kW, závěsný kotel 29 kW, závěsný kotel 43 kW, závěsný kotel	5,01 tis.Kč/kW 2,42 tis.Kč/kW 2,07 tis.Kč/kW 1,66 tis.Kč/kW
(Nefit) H&I Trading Company s.r.o. Karlická 9/37, Praha 5	22 kW, závěsný kotel 29 kW, závěsný kotel 40 kW, závěsný kotel	

Viessmann s.r.o. Chrástany 140, Rudná u Prahy	11 kW, závěsný kotel	6,27 tis.Kč/kW
	24 kW, závěsný kotel	3,46 tis.Kč/kW
	32 kW, závěsný kotel	2,91 tis.Kč/kW
	44 kW, závěsný kotel	2,66 tis.Kč/kW
(Geminox) Procom Bohemia s.r.o. Na dolíku 53 Stará Boleslav	10 kW, závěsný kotel	6,20 tis.Kč/kW
	13 kW, závěsný kotel	4,85 tis.Kč/kW
	23 kW, závěsný kotel	3,35 tis.Kč/kW
	47 kW, závěsný kotel	3,41 tis.Kč/kW
(MicromatEC),ETS-Homotec Ludmanova 537, Poděbrady	32 kW, stacionární kotel	
	48 kW, stacionární kotel	

Kategorie výkonů 50 - 100 kW

Buderus s.r.o. Průmyslová 372/1, Praha 10	50 kW, stacionární kotel	5,21 tis.Kč/kW
	70 kW, stacionární kotel	4,03 tis.Kč/kW
	90 kW, stacionární kotel	3,46 tis.Kč/kW
Dakon s.r.o. Ve Vrbíně 3, Krnov	80 kW, stacionární kotel	2,13 tis.Kč/kW
(Nefit) H&I Trading Company s.r.o. Karlická 9/37, Praha 5	65 kW, stacionární kotel	
Viessmann s.r.o. Chrástany 140, Rudná u Prahy	60 kW, závěsný kotel	2,13 tis.Kč/kW
(Geminox) Procom Bohemia s.r.o. Na dolíku 53 Stará Boleslav	94 kW, závěsný kotel	2,18 tis.Kč/kW
(MicromatEC),ETS-Homotec Ludmanova 537, Poděbrady	64 kW, stacionární kotel	

Kategorie výkonů 100 - 500 kW

Buderus s.r.o. Průmyslová 372/1, Praha 10	115 kW, stacionární kotel	2,88 tis.Kč/kW
	145 kW, stacionární kotel	2,30 tis.Kč/kW
	185 kW, stacionární kotel	1,95 tis.Kč/kW
	240 kW, stacionární kotel	1,85 tis.Kč/kW
	295 kW, stacionární kotel	1,56 tis.Kč/kW
	310 kW, stacionární kotel	1,63 tis.Kč/kW
	350 kW, stacionární kotel	1,40 tis.Kč/kW
	400 kW, stacionární kotel	1,20 tis.Kč/kW
	410 kW, stacionární kotel	1,46 tis.Kč/kW
	455 kW, stacionární kotel	
Dakon s.r.o. Ve Vrbíně 3, Krnov	120 kW, stacionární kotel	1,72 tis.Kč/kW
	160 kW, stacionární kotel	1,51 tis.Kč/kW
	200 kW, stacionární kotel	1,36 tis.Kč/kW
	240 kW, stacionární kotel	1,29 tis.Kč/kW
	280 kW, stacionární kotel	1,25 tis.Kč/kW
Loos s.r.o. Bezová 1658, Praha 4	195 kW, stacionární kotel	
	350 kW, stacionární kotel	
(MicromatEC),ETS-Homotec Ludmanova 537, Poděbrady	200 kW, stacionární kotel	
	300 kW, stacionární kotel	

Kategorie výkonů 500 - 1000 kW

Buderus s.r.o. Průmyslová 372/1, Praha 10	510 kW, stacionární kotel	1,37 tis.Kč/kW
	530 kW, stacionární kotel	1,39 tis.Kč/kW
	690 kW, stacionární kotel	1,28 tis.Kč/kW
	870 kW, stacionární kotel	1,10 tis.Kč/kW
Loos s.r.o. Bezová 1658, Praha 4	650 kW, stacionární kotel	
	1 000 kW, stacionární kotel	

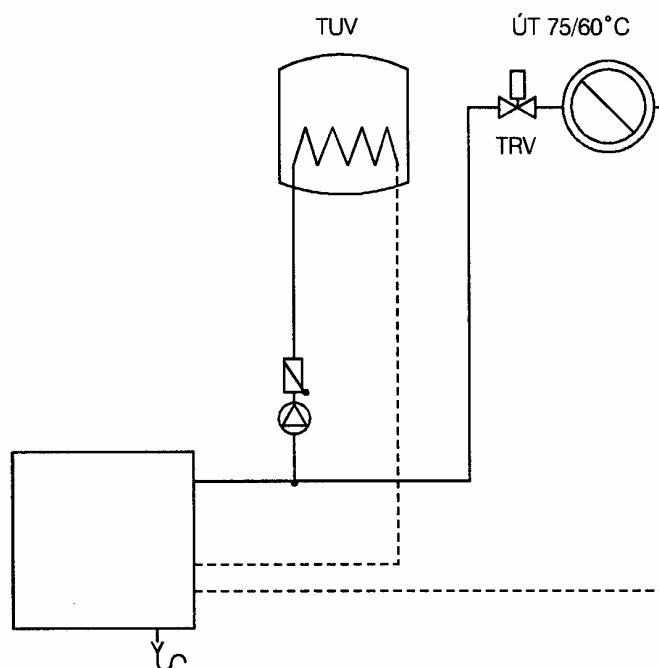
Kategorie výkonů nad 1000 kW

Buderus s.r.o. Průmyslová 372/1, Praha 10	1 070 kW, stacionární kotel	0,91 tis.Kč/kW
	1 320 kW, stacionární kotel	0,80 tis.Kč/kW
	1 600 kW, stacionární kotel	0,78 tis.Kč/kW
Loos s.r.o. Bezová 1658, Praha 4	1 350 kW, stacionární kotel	
	až 19 200 kW, stacionární kotel	

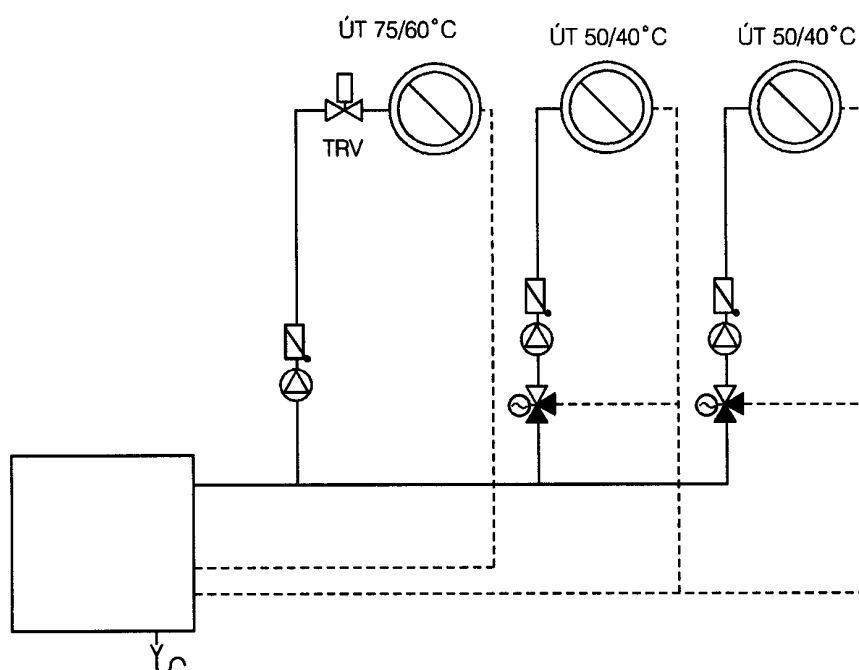
III. 15. Schemata doporučených zapojení kondenzačních kotlů

Přehled doporučených zapojení a uspořádání kondenzačních kotlů ve spojení s otopnou soustavou, vzduchotechnickým zařízením a soustavou pro ohřev TUV je zřejmý na následujících schematických obrázcích, které vystihují většinu případů použití kondenzačních kotlů v praxi.

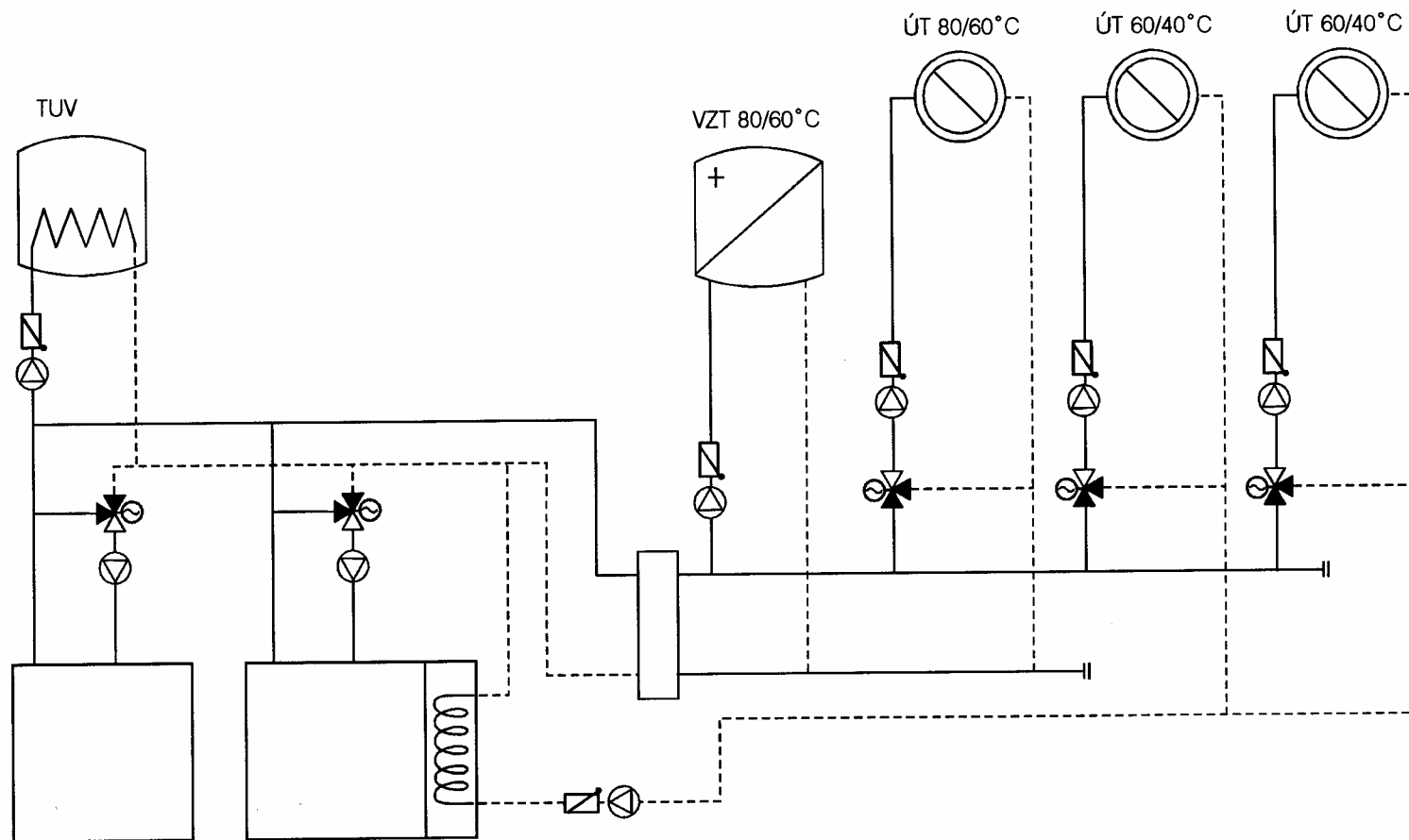
Funkční schéma zapojení kondenzačních kotlů



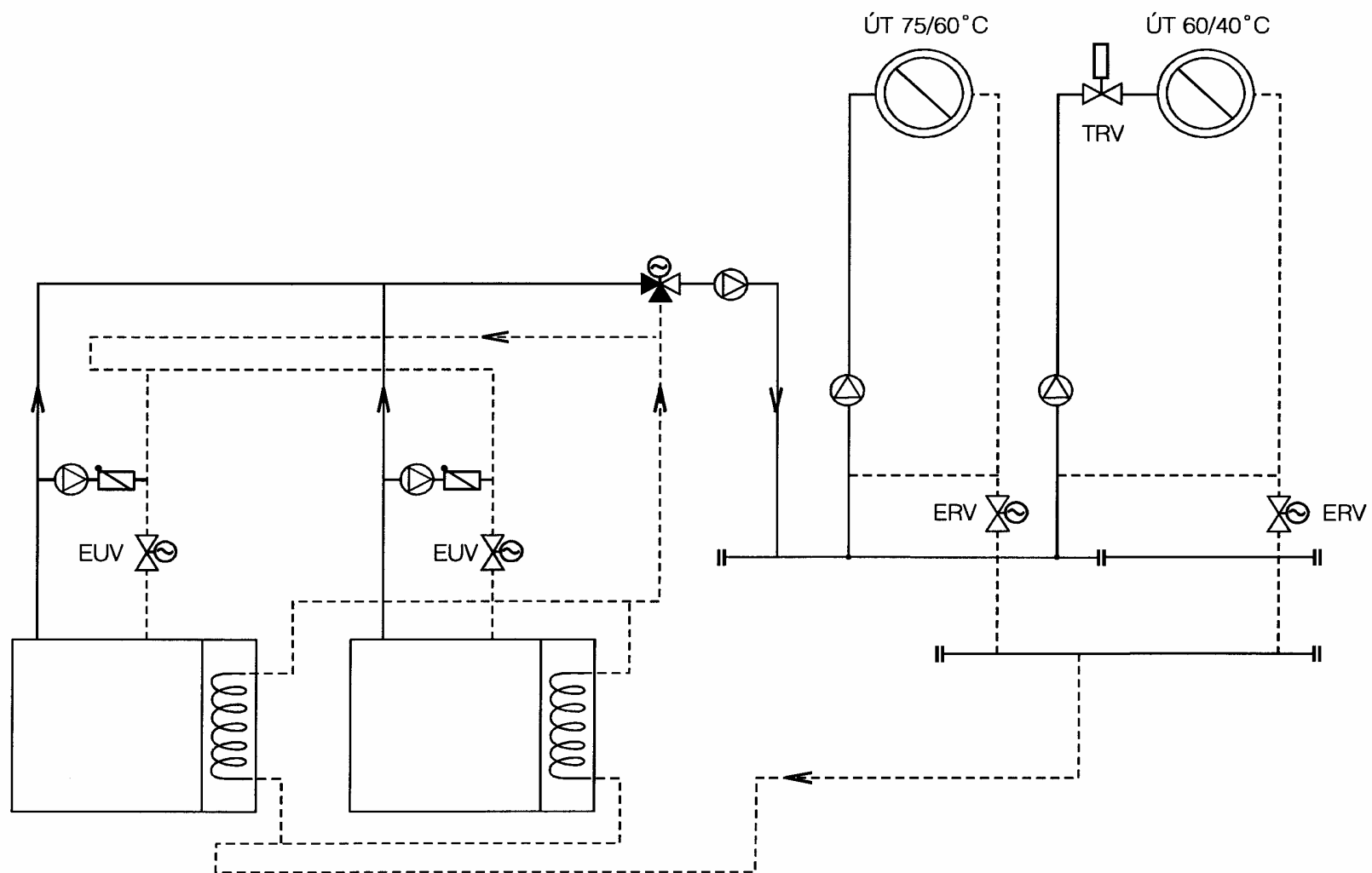
Schema zapojení kotle s nízkoteplotním okruhem a ohřevem TUV



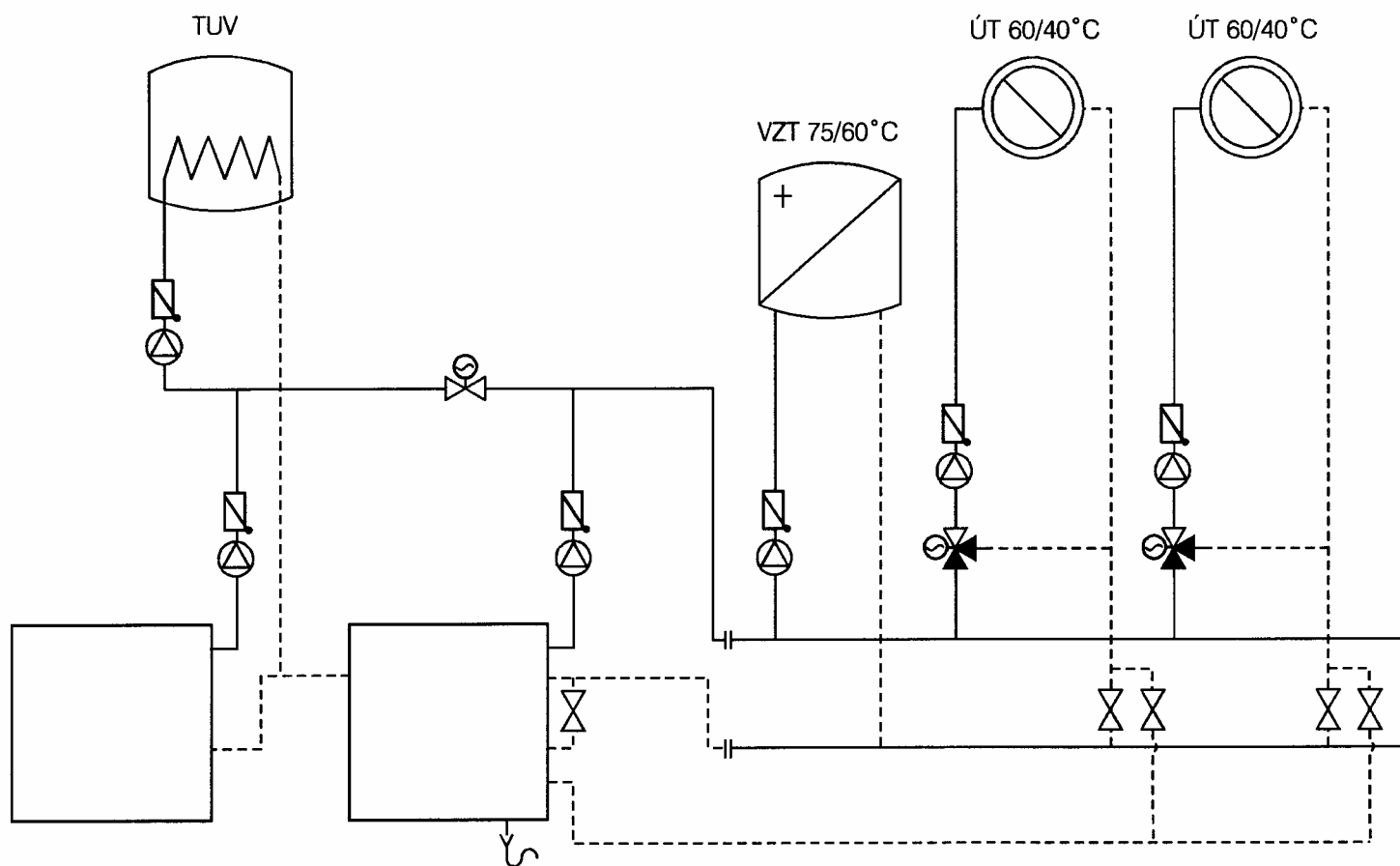
Schema zapojení kotle s nízkoteplotními okruhy bez ohřevu TUV



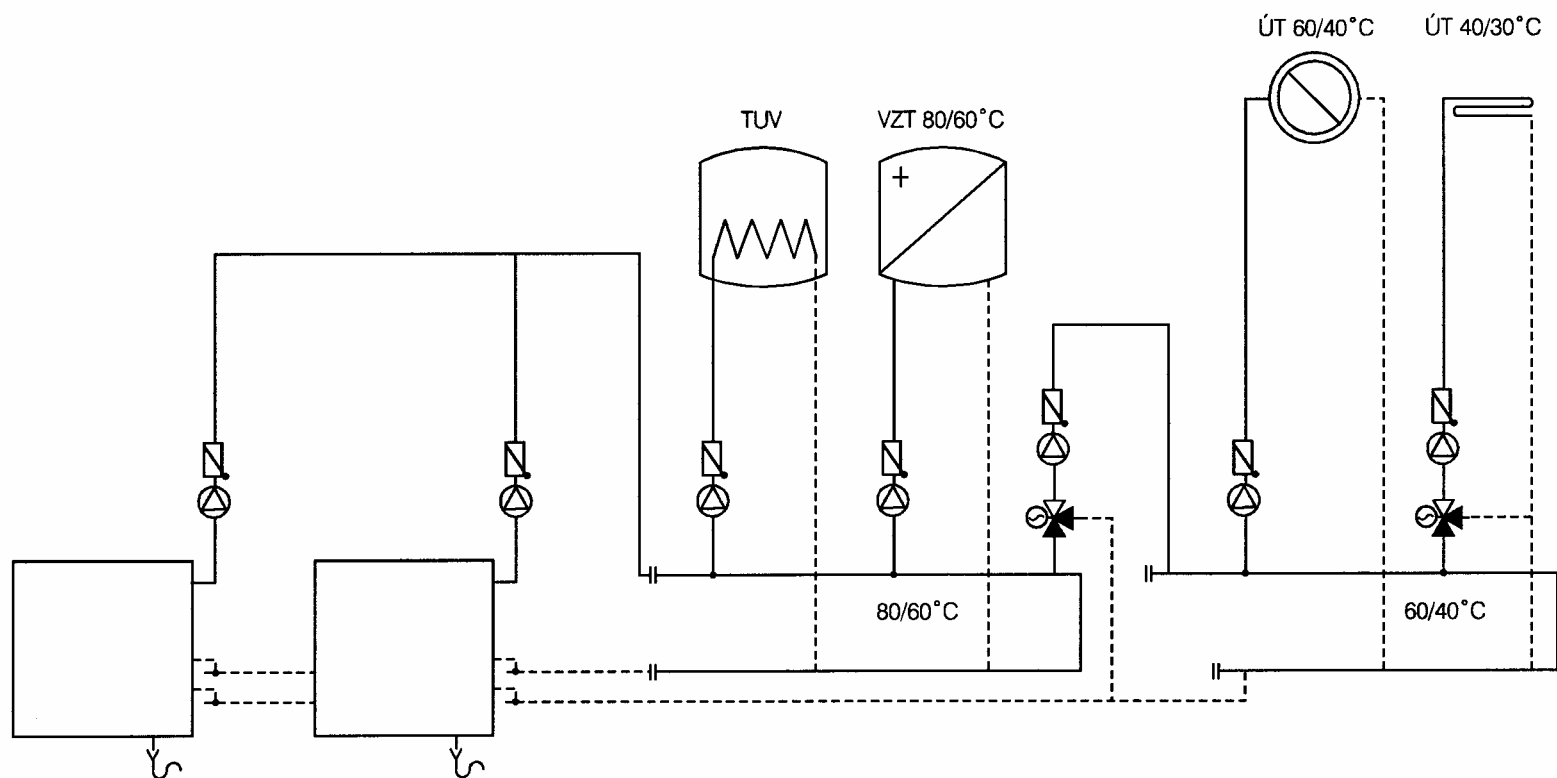
Schema zapojení kotlů, jeden bez kondenzačního výměníku a jeden s kondenzačním výměníkem s ohřevem TUV, VZT a ÚT



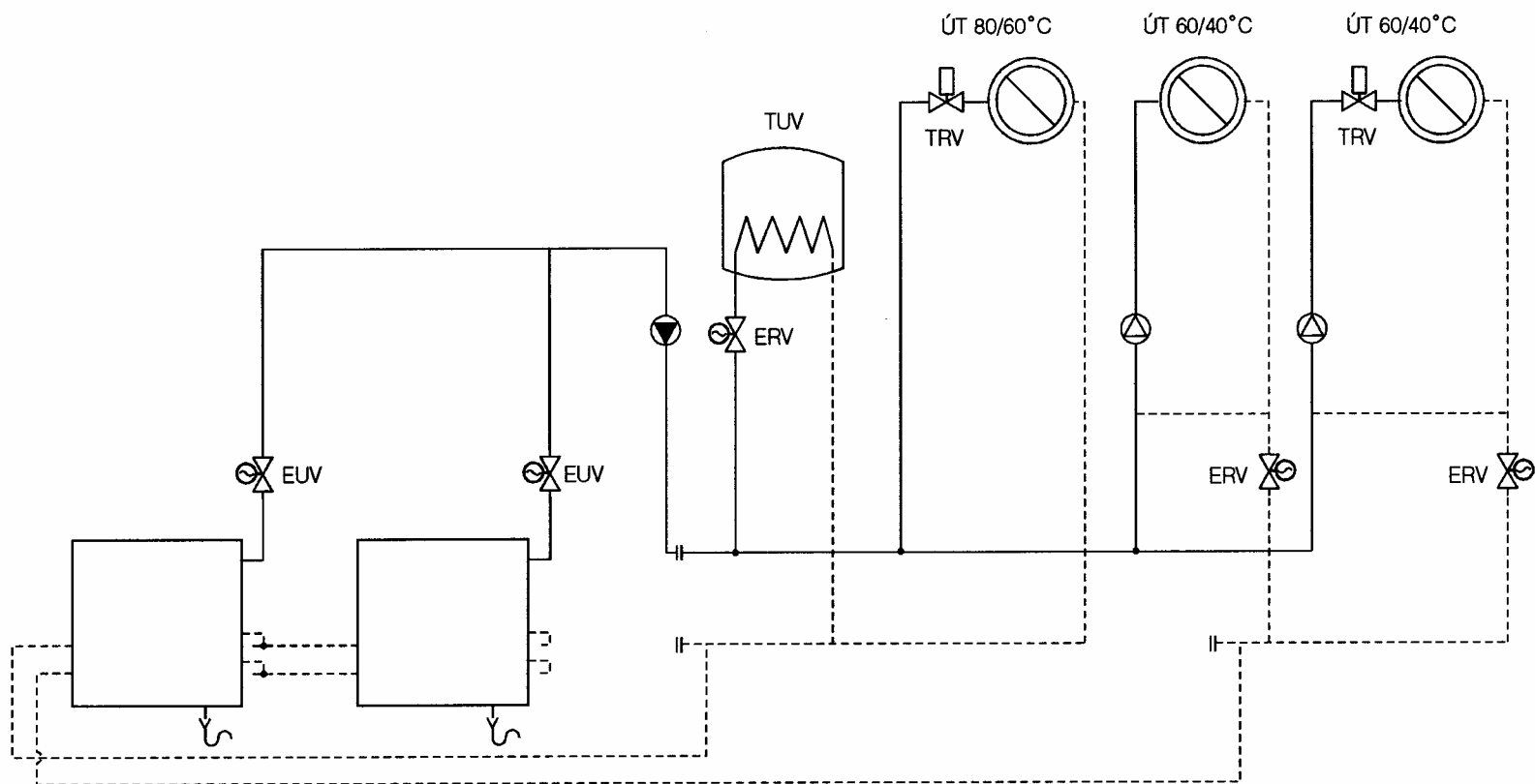
Schema zapojení dvou kotlů s čerpadlem v kotlovém okruhu



Schema zapojení nízkoteplotního a kondenzačního kotle s ohřevem TUV, VZT a ÚT



Schema zapojení dvou kotlů s kotlovými čerpadly s ohřevem TUV, vzduchotechnickým zařízením, nízkoteplotním a podlahovým vytápěním



Schema zapojení dvou kotlů s čerpadlem v kotlovém okruhu s ohřevem TUV a okruhy ÚT

Použitá a doporučená literatura

1. Firemní podklady a dokumentace firmy Viessmann
2. Firemní podklady a dokumentace firmy Buderus
3. Firemní podklady a dokumentace firmy Junkers
4. Firemní podklady a dokumentace firmy Protherm
5. Vlastní podkladové materiály z kontrol, analýz a provedených šetření firmy RAEN s.r.o., Praha

P Ř Í L O H Y