

NÁVRH MODELOVÝCH VÝPOČTŮ

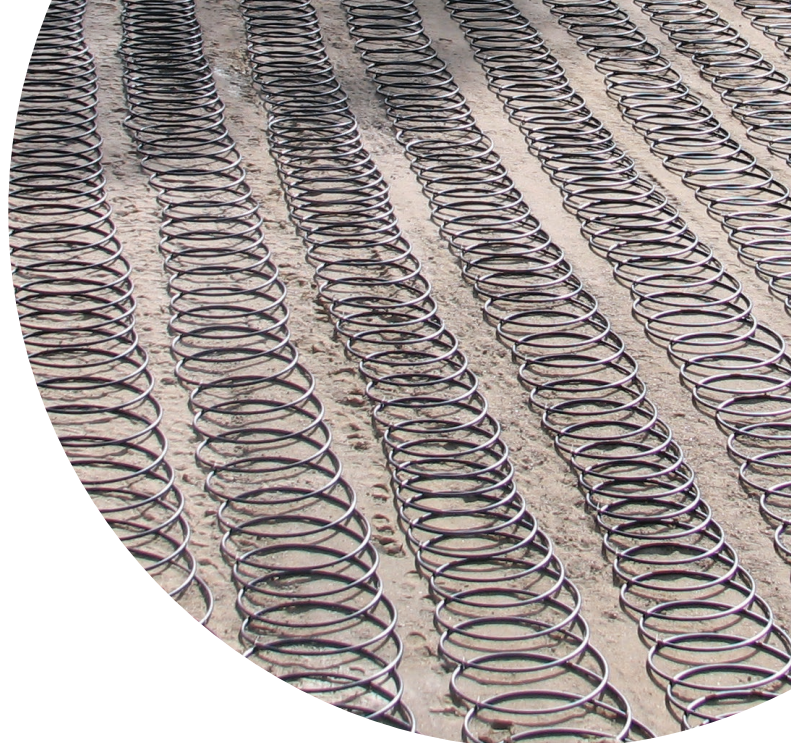


LOKÁLNÍCH
ENERGETICKÝCH
ZDROJŮ

Obsah

Úvod	3
Lokální energetické zdroje – popis technologie	4
Kotle	4
Základní rozdělení	4
Kotle na kapalná a plynná paliva	4
Kotle na pevná paliva	5
Kogenerační jednotky (KGJ)	6
Základní přehled technologií kogenerace	6
Pístové spalovací motory	8
Tepelná čerpadla	10
Základní rozdělení	10
Rozdělení pracovních látek – chladiv	10
Typy primárních zdrojů energie	11
Vymezení referenční varianty	13
Legislativní rámec referenční varianty	13
Referenční zdroje energie	13
Vymezení měrných investičních nákladů na tepelné zdroje	14
Kondenzační kotle	14
Nízkoteplotní a klasické kotle	15
Kotle na tuhá paliva	15
Přehled měrných investičních nákladů	16
Vymezení měrných investičních nákladů na technologie kotelen dle nabídkových cen skutečných projektů	16
Metodika výpočtu zdroje	17
Metodika výpočtu kogenerační jednotky	17
Metodika výpočtu tepelného čerpadla	20
Příklad náhrady plynového kotle plynovým absorpčním tepelným čerpadlem	21
Příklad náhrady oddělené výroby tepla a chladu plynovým TČ s přímým pohonem spalovacím motorem	24
Metodika výpočtu kotle	25
Vhodné užití jednotlivých technologií	27
Kotle	27
Kondenzační kotle	27
Kotle na pevná paliva	27
Kogenerační jednotky	28
Tepelná čerpadla	29
Příloha:	
Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny a tepla dle Nařízení Komise (EU) 2015/2402	30
Literatura	32





Úvod

Cílem této studie je návrh modelových výpočtů zdrojů tepla pro potřeby energetických auditů a posudků: kotlů, kogeneračních jednotek a tepelných čerpadel. Práce reaguje na časté chyby v energetických auditech, kdy např. při záměně fosilního zdroje za tepelné čerpadlo není uvažován nárůst spotřeby elektrické energie, případně při instalaci kogeneračních jednotek (KGJ) není uvažován nárůst spotřeby plynu apod. Studie vychází z novely vyhlášky č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a posudku, na které se v současné době pracuje. Dále studie uvádí výtah z aktuálních zákonů a norem vymezujících parametry referenční varianty úsporného projektu (srovnávací investice, která by byla pravděpodobně realizována), které budou energetičtí specialisté muset zohlednit například při stanovení způsobilých výdajů podle článku 38 Investiční podpora na opatření ke zvýšení energetické účinnosti bod 3) b) oddílu 7 – Podpora na ochranu životního prostředí Nařízení Komise (EU) č. 651/2014 ze dne 17. června 2014.

Lokální energetické zdroje – popis technologie

Kotle

Základní rozdělení

V současnosti užívané lokální zdroje tepla lze rozdělit dle druhu paliva na zdroje používající paliva pevná (uhlí, koks, biomasa, ad.), kapalná (LTO, ELTO) a plynná (zemní plyn). Výkladem dle evropské legislativy o ekodesignu [1] se za lokální zdroje tepla považují kotle nebo kombinované kotle, které slouží pro vytápění vnitřních prostorů a dodávají teplo do teplovodního systému ústředního topení za účelem dosažení a udržení požadované vnitřní teploty uzavřených prostor jako jsou budovy, bytové jednotky nebo místnosti.

Kotle na kapalná a plynná paliva

Úvodem je třeba zmínit, že vytápění kapalnými palivy (zejména ELTO) se dnes využívá zřídka především u stávajících instalací. U nových instalací pro hlavně pokrytí výkonových špiček z důvodu snížení rezervovaných kapacit plyných paliv. Spalování kapalných paliv probíhá ve speciálně upravených hořácích, kotle však mají obdobnou konstrukci jako pro spalování plyných paliv. Nevýhodou, kterou si tento způsob vytápění nese, je nutnost instalace zásobníků na palivo.

Kotle na plynná paliva lze dělit na standardní, nízkoteplotní a kondenzační. Standardní kotel je konstruován na takový provoz, při kterém spaliny z kotle odcházejí i se složkou latentního tepla ve vlhkosti, tedy bez kondenzace. Při jeho provozování by tedy neměla poklesnout teplota vratné vody ze soustavy pod 60 °C, aby nedocházelo ke kondenzaci vlhkosti ze spalin, jejichž teplota se v těchto provozních podmínkách pohybuje v rozmezí 120–180 °C.

Nízkoteplotní kotle již umožňují provoz kotle s teplotou vratné vody ze soustavy pod hranici kondenzace vlhkosti ve spalinách, tedy pod cca 57 °C. Materiál teplosměnných ploch výměníku je již vyroben z materiálů odolných vůči korozi, avšak nevyhovuje zcela provozu výhradně v kondenzačním režimu. Teplota spalin se pohybuje v rozmezí 90–150 °C.

Naopak kondenzační kotle jsou konstruovány pro trvalý provoz v režimu kondenzace, který je v co největší míře za provozu žádoucí. Teplota spalin se pohybuje trvale pod 100 °C a pro zajištění správného tahu komínu je zejména při velmi nízkých teplotách spalin nutný spalinový ventilátor, který potřebný odtah zajistí. Využití kondenzačního tepla je ve velké míře závislé na míře vychlazení spalin a na součiniteli





přebytku vzduchu ve spalínách. (Součinitel přebytku vzduchu je poměr množství vzduchu, který se účastní spalovacího procesu ku množství vzduchu teoretickému a označuje se písmenem lambda λ .) Spaliny bez přebytku vzduchu mají součinitel $\lambda = 1$. Obvyklé hodnoty součinitele přebytku vzduchu bývají pro kotle na plynná paliva v rozmezí 1,1 až 1,4, pro případ atmosférických kotlů mohou hodnoty vystoupat i přes 2.

Kotle na pevná paliva

Kotle na pevná paliva procházejí v posledních letech rychlým vývojem v souvislosti se zpřísněním požadavků legislativy zejména v oblasti emisí znečišťujících látek. S rostoucím počtem způsobů/technologií spalování roste také počet kategorií v rozdělení jednotlivých kotlů. Hlavním dělením které má vliv zejména na účinnost spalovacího procesu, tedy i výroby tepla, je dělení podle způsobu obsluhy kotle:

- S ruční dodávkou paliva
- Se samočinnou dodávkou paliva

Z hlediska technologie spalování lze rozdělit kotle na:

- Prohořivací kotle (spaliny prochází vrstvou paliva)
- Odhořivací kotle (spaliny neprocházejí přes doplňovanou vrstvu paliva)

Výkon je u těchto kotlů dán pouze množstvím a kvalitou paliva a spalovací proces lze řídit zejména regulací přísunu spalovacího vzduchu obsluhou nebo regulátorem tahu. Technologický vývoj dále rozšířil toto rozdělení kotlů na:

- Zplyňovací kotle (odhořivací kotel se spalnovým ventilátorem)
- Automatické kotle (samočinná dodávka paliva, spalínový ventilátor)

Doplnění spalínového ventilátoru do odhořivacího kotle umožní přesnější regulaci výkonu v průběhu spalování a vyšší míru využití prchavých hořavin, které se při spalování uvolňují. U automatických kotlů je navíc zajištěno automatické podávání paliva podle aktuální potřeby výkonu.

V souvislosti se zavedením evropské normy ČSN EN 303-5 a požadavků na ekodesign kotlů na pevná paliva do výkonu 500 kW (nařízení komise 2015/1189) jsou kotle zařazeny dle účinnosti a emisních parametrů do emisních tříd č. 1 až č. 5 (dle aktuální verze uvedené normy, před novelizací byly třídy pouze tři). Tuto kategorizaci přejímá také zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Pro jednotlivé skupiny platí požadavky na prodej a provoz dle údajů v následující přehledové tabulce.

PŘEHLED TERMÍNŮ
S POŽADAVKY
NA PROVOZ
A UVÁDĚNÍ NA TRH
PRO KOTLE NA PEVNÁ
PALIVA DLE NK EU
2015/1189

TABULKA 1

Termín požadavku	Nařízení směrnice o ekodesignu 2009/125/ES
1. 1. 2014	Zákaz prodeje kotlů 1. a 2. emisní třídy
1. 1. 2017	Povinnost předložit revizi kotle (včetně označení emisní třídy)
1. 1. 2018	Zákaz prodeje kotlů 3. emisní třídy
1. 1. 2020	Zákaz prodeje kotlů 4. emisní třídy
1. 9. 2022	Zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy

V 1. emisní třídě se zpravidla nacházejí litinové prohořivací kotle, 2. třídě odpovídají kotle ocelové odhořivací. Pro splnění požadavků 3. emisní třídy už se téměř výlučně jedná o odhořivací kotle, které musí mít spalování řízeno alespoň spalínovým ventilaátorem. Kotle vyšších tříd č. 4 a 5 už musí mít sofistikovaněji řešenou spalovací komoru a současně musí být vybaveny automatickým řízením výkonu přísunem paliva a spalovacího vzduchu.

Kogenerační jednotky (KGJ)

Základní přehled technologií kogenerace

Kogenerace (z angl. co-generation, resp. CHP unit – combined heat and power) znamená kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (dále také jen „KVET“). O kogeneraci však můžeme mluvit až tehdy, pokud dokážeme tepelnou energii, vyprodukovanou při výrobě elektrické energie, smysluplně využít. Výroba elektřiny v konvenční elektrárnách není v současnosti příliš efektivní. Průměrná hodnota účinnosti výroby elektřiny v EU je v současnosti cca 40%. Elektrárny přemění na elektřinu pouze tento podíl energie v palivu, zbytek tvoří odpadní teplo, pro které většinou není využití. Zatím co se velká část tepelné energie v centralizovaném systému výroby elektřiny maří, na jiných místech se tepelná energie z paliva lokálně vyrábí v kotlích o účinnosti 80–90% podle druhu kotle.

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla v decentralizovaných KGJ umístěných v blízkosti potřeby tepelné energie dokáže právě odpadní tepelnou energii využít a umožní tak dosáhnout účinnosti přeměny primárního paliva v okamžitě vyšší až 90% nebo více než 75% v sezónním průměru. Decentrální výroba elektrické energie proto jednak zvyšuje průměrnou efektivitu energetiky a jednak snižuje s výrobou energie spojené emise CO₂, což je důležitým aspektem podpory KVET v zemích Evropské unie.

Princip technologie KGJ

Všechny technologie využívají principu přeměny chemického paliva na elektrickou energii. Energie v palivu, která není přeměněna na mechanickou energii

a elektřinu, z procesu vystupuje jako energie tepelná. Technologie KGJ fungují na principu spalování paliva pro vývin tepelné a mechanické energie, která je využita k výrobě elektřiny; malá část energie v palivu zůstává nevyužita. Dále jsou stručně popsány hlavní technologie využívané ke kombinované výrobě elektřiny a tepla.

Pístové spalovací motory

Pístové spalovací motory, které se nejvíce používají, zahrnují jak dieslové/vznětové, tak zážehové motory. Jejich výkonové kapacity se pohybují řádově od jednotek kW po desítky MW. Dlouhá historie vývoje pístových motorů z nich dělá robustní, spolehlivé a ekonomické volby pro aplikace KVET.

Základ KGJ tvoří spalovací motor, který je upraven pro spalování (většinou) zemního plynu, eventuálně bioplynu, jiných odpadních plynů či nafty. Motor roztočí připojený generátor, který vyrábí elektřinu s účinností procesu v rozsahu 30–40%. Elektřina je nejčastěji využita pro vlastní spotřebu provozu, ve kterém je jednotka umístěna. Její přebytek je ale možno dodávat do sítě a tím si díky



výkupu elektřiny vylepšit ekonomickou bilanci. Teplo z chlazení motoru a spalin se přes soustavu tepelných výměníků využívá k vytápění objektů a přípravě teplé vody.

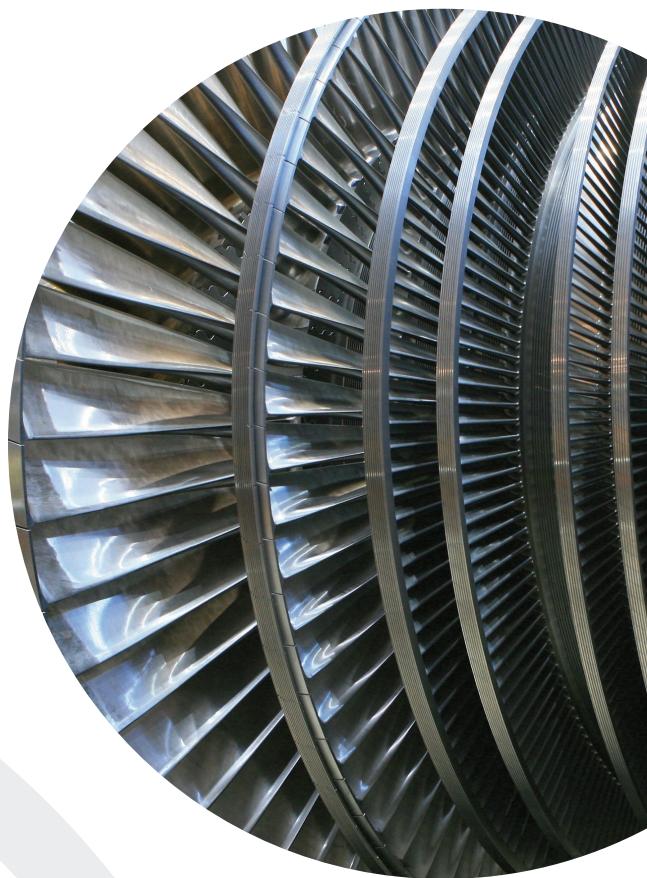
Parní turbíny

Parní turbíny jsou jedním z nejstarších iniciátorů vývoje technologie a velmi všestranným zařízením pro pohon generátorů elektrické energie. Historicky nahrazovaly pístové parní stroje pro svoji vyšší účinnost a nižší náklady. Parní turbíny mohou výkonově dosahovat až stovky MW a proto jsou využívány zejména ve velkých zařízeních centrální výroby elektřiny a tepla. Parní turbíny se od pístových spalovacích motorů nebo plynových turbín liší tím, že využívají samostatného zdroje tepla pro výrobu vysokotlaké páry (tepelné energie), která je následně ze zdroje tepla dopravena do turbíny, kde svou energii přemění na kinetickou, kterou předá turbíně a generátoru, vyrábějícímu elektřinu při účinnosti dosahující až 40% zatímco u pístových spalovacích motorů nebo plynových turbín je tepelná energie především vedlejším produktem výroby elektřiny. Rozdělení výroby tepelné energie a produkce elektrické energie umožňuje parním turbínám pohon z různých druhů paliv od uhlí po zemní plyn včetně druhotných zdrojů energie. Pára o nižší tlaku vystupující z turbíny je dále využívána v systémech CZT, kde předává svou energii například do rozvodu horké vody.

Plynové (spalovací) turbíny

Princip plynových turbín spočívá v přeměně tepelné energie paliva (plynu) na mechanickou energii pohánějící turbínu a generátor. Spalovací vzduch je nasáván kompresorem a pod tlakem vháněn do spalovací komory, kde smícháním s plynným palivem a spálením vzniknou horké spaliny, které expandují a proudí do turbíny, kterou pohání. Plynové turbíny pro výrobu elektřiny a druhotně tepla jsou obvykle konstruovány ve výkonech od stovek kW po stovky MW. Z hlediska účinnosti procesu výroby elektřiny

je plynová turbína ve spojení s parní turbínou v tzv. kombinovaném paroplynovém cyklu jednou z nejefektivnějších technologií s účinností přesahující 50%. Dlouho byla tato technologie pro schopnost rychlého náběhu využívána pouze pro pokrytí špičkových výkonů nebo výpadku jiného zdroje. V souvislosti se změnami v sektoru energetiky a s pokrokem technologie jsou často využívány jako hlavní zdroj výroby elektrické energie. Spaliny vystupující z procesu plynových turbín dosahují vysokých teplot, čehož může být s výhodou využito k výrobě páry nebo jiné formy tepelné energie pro další procesní využití například pro systémy CZT.



Mikroturbíny

Mikroturbíny jsou malé spalovací turbíny, poháněné plynnými i kapalnými palivy. Oproti pístovým spalovacím motorům je jejich výhodou jednoduchost, protože obsahují prakticky jeden hlavní pohyblivý díl, kterým je rotor s lopatkovými koly turbíny i kompresoru, a generátor. Díky tomu má mikroturbína nižší požadavky na množství náhradních dílů a údržbu. V posledních desetiletích prošla technologií dalším vývojem a došlo k úpravám zvyšujícím

účinnost výroby elektřiny u těchto turbín menších rozměrů, např. využití rekuperace tepla spalin pro předehřev spalovacího vzduchu. Spaliny vystupující z turbíny dosahují teplot přes 300 °C, což je činí využitelnými zdroji energie pro různé aplikace a nevýmáje výrobu technologické páry. Výkonový rozsah mikroturbín je od desítek po stovky kW s účinností výroby elektrické energie až 30 %.

Protože nejrozšířenější technologií na našem trhu jsou zejména KGJ s pístovými spalovacími motory, bude dále ve zpracované metodice věnována pozornost právě jim. Výpočtová metodika je však aplikovatelná i na ostatní popisované technologie.

Pístové spalovací motory

Bylo řečeno, že dominantní postavení KGJ reprezentuje výroba elektřiny ve spalovacích motorech, rovněž nazývaných plynovými motory. Vzhledem k tomu, že přeměna energie v těchto motorech je provázena produkcí tepla, jsou všechny tyto motory nazývány kogenerační jednotky, ačkoliv teplo nemusí být nutně využito. Existuje několik různých plynových motorů, které jsou typově řazeny do kategorií Ottova motoru a motoru se zážehovým paprskem (plynových zážehových a dvoupalivových vznětových motorů). Podrobnosti o těchto motorech jsou rozebírány v následujícím popisu a přehled některých charakteristik uvádí Tab. 2. V plynovém motoru je energie konvertována na využitelnou a nevyužitelnou energii. Následující údaje ukazují, že celkově může být využito až 90 % energie (jedná se o orientační hodnoty, které lze uvažovat pro stroje s výkonem v řádu desítek až stovek kW):

- 10 % ztráty
- 35 % mechanická energie (elektřina)
- 55 % užitečné teplo

Celkové vyrobené teplo lze rozdělit podle původu, přičemž největší podíl tepla připadá na výfukové plyny a okruh chlazení motoru:

- 1–3 % chlazení oleje: 80–90 °C
- 3–5 % ztráty sáláním
- 30–40 % chlazení motoru (chladičí kapalina): 80–90 °C
- 50–60 % výfukové plyny: 460–550 °C

Médium chlazení motoru a oleje má obvykle konstantní teplotu (< 100 °C). Teplo bývá obvykle využito k ohřevu vody pro různé účely a vzhledem k média teplotě zde nejsou žádné speciální požadavky na odolnost potrubí.

Využití disponibilního tepla z výfukových plynů je ovlivněno mírou znečištění povrchu výměníku. V proudu výfukových plynů lze naměřit teploty až do 550 °C. Tak vysoké teploty vyžadují vysokotlaké potrubí v důsledku tvorby par. Proto jsou často využívány tzv. termické oleje, které zůstávají i za takto vysokých teplot kapalné. Na druhou stranu jsou nutné větší výměníky tepla, protože termické oleje mají nižší vodivost. Snížení teploty spalin může vést ke vzniku kondenzátu ve výfukovém systému a následně i ke korozi. Je tedy důležité zohlednit specifikace výrobce motoru.

Jmenovitý elektrický výkon kogenerační jednotky je definován výrobcem jako maximální výkon dosažený zařízením. Tento limit bývá obvykle nastaven nižší, než je technické maximum motoru, aby nedošlo ke zbytečnému poškození zařízení. Je však možné, že stárnutím kogenerační jednotky se maximální výkon bude snižovat. Skutečný elektrický výkon se tak od jmenovitého výkonu výrobce obvykle mírně liší.





● **Motory typu Otto** **(plynové zážehové motory)**

Motory typu Otto – jsou zážehové motory specificky navržené pro spalování plynů.

Dodržují Ottův princip a obvykle pracují s vysokým tlakem, aby byly minimalizovány emise oxidu uhelnatého. Elektrický výkon motorů typu Otto se obvykle pohybuje od desítek kWel až jednotek MWel, výjimkou nejsou ani výkony ve výši 20 MW.

Elektrická účinnost u nižšího výkonového rozsahu dosahuje hodnot mezi 34 a 40% a průměrná životnost 60 000 hodin. Každou

generální opravou lze životnost prodloužit o dalších 60 000 hodin. Skutečná životnost

závisí na provozních charakteristikách a intervalech údržby.

● **Motory se vstřikováním –** **zápalným paprskem (vznětové motory)**

Vznětové motory se zápalným vstřikovacím paprskem nebo na dvojí palivo (angl. Pilot Injection Engine nebo Dual Fuel Engine), jsou založeny na principech vznětových motorů. Tento typ motoru také pracuje ve vysokotlakých podmínkách. Pro provoz je potřeba určitého podílu zapalovacího oleje (4–9% celkového tepelného příkonu dle druhu zápalného paliva), který bývá společně s plynem přímo vstřikován do spalovací komory. Typické užití tohoto typu motoru se orientuje na instalované kapacity nad 250 kWel. Elektrická účinnost se pohybuje v rozmezí 30% a 40%, průměrná životnost dosahuje zhruba 35 000 hodin. Po této době bývá levnější motor vyměnit za nový než jej opravovat.

VYBRANÉ CHARAKTERISTIKY MOTORŮ
 GAS-OTTO A GAS-PILOT INJECTION
 (PŘEVZATY Z FNR 2010)

TABULKA 2

	Motory zážehové (Otto)	Motory se zápalným paprskem
Instalovaná elektrická kapacita	Může být vyšší než 1 MW, i nižší než 100 kW	< 340 kW
Obsah metanu	> 45 %	Rovněž vhodné pro bioplyn s velmi nízkým obsahem CH ₄
Elektrický výkon	34–42 %	30–44 %
Životnost	60 000 hodin	35 000 hodin
Doplňkové palivo	žádné	4–9 % zápalného paliva
+ Výhody	+ navržené speciálně pro plyny + dobré hodnoty emise výfukových plynů + nízké nároky na údržbu + celková účinnost je vyšší než u vznětových motorů	+ nižší investiční náklady + vyšší el. účinnost než u zážehových motorů + nižší nároky na kvalitu plynu
- Nevýhody	- investiční náklady jsou mírně vyšší než u motorů vznětových - nižší el. účinnost než u vznětových motorů	- vyšší nároky na údržbu - celková účinnost nižší než u zážehových motorů - je nutné doplňkové palivo - vyšší emise výfukových plynů (NO_x)

Tepelná čerpadla

Základní rozdělení

Tepelné čerpadlo je zařízení, které přečerpává teplo na nízké energetické úrovni na teplo s vyšší energetickou úrovní, které již lze využít např. pro vytápění. V tepelném čerpadle probíhají tepelné děje dle II. zákona termodynamiky, v oběhu dochází k přečerpávání tepla (oběh je levotočivý). Pro vytápění se používají nejčastěji tepelná čerpadla s oběhem s vypařováním chladiva, konkrétně:

- s oběhem parním – typicky tepelná čerpadla s mechanickým pohonem
 - s elektromotorem – EHP
 - se spalovacím motorem – GMHP
- s oběhem sorpčním – typicky tepelná čerpadla s tepelným pohonem
 - absorpční tepelná čerpadla – GAHP

Parní oběhy jsou u levných tepelných čerpadel nejčastěji v základním jednostupňovém uspořádání. Jedná se o základní cyklus, kde je topného účinku dosaženo kondenzací par chladiva v kondenzátoru. Větší účinnosti lze dosáhnout např. zařazením chladíče přehřátých par do chladicího okruhu, případně instalací dochlazovače či realizací vnitřní výměny tepla. Efektivnější zapojení okruhu je s ekonomizérem (s přímým vstřikováním části chladiva do hlavy kompresoru). Při tomto zapojení dojde ke snížení teploty po kompresi, což významně prodlužuje životnost kompresoru a umožňuje využívat větší tlakový poměr a tedy dosahovat vyšších teplot kondenzace. Pokud je třeba dosahovat ještě vyšších kondenzačních teplot, na trhu jsou dostupná TČ s kaskádním zapojením dvou okruhů, která jsou schopná ohřívat vodu až na 80 °C.

Z hlediska koncové spotřeby energie je nejúčinnějším a též nejrozšířenějším způsobem strojního chlazení **kompresorová jednotka poháněná elektromotorem**. Její chladicí faktor je poměrně vysoký a provozní náklady za energii jsou tedy příznivé. Alternativou je **použití kompresorových jednotek poháněných zemním plynem (GMHP)**. V principu se může jednat o kompresorový chladicí stroj s přímým pohonem plynovým motorem nebo o kompresorový

chladicí stroj s klasickým elektrickým pohonem se současnou instalací plynového motorgenerátoru.

Z **oběhů sorpčních** jsou rozšířené výhradně jednostupňové absorpční oběhy. Základní rozdíl proti parním oběhům je v tom, že pro dopravu chladiva v okruhu není použit kompresor. Stejně je pak to, že se ve výparníku vypařuje chladivo při vypařovacím tlaku a teplotě. Páry chladiva pak proudí díky rozdílu tlaku do absorberu, do něhož je přiváděn z vypuzovače roztok s nízkou koncentrací chladiva (chudý roztok). Při pohlcování chladiva v roztoku se vyvíjí teplo, které je nutné odvádět a je dále v oběhu využíváno. Po nasycení chladivem je tento roztok čerpán do vypuzovače, kde je přívodem tepla chladivo z roztoku vypuzeno. Plyné chladivo je pak vedeno do kondenzátoru, kde stejně jako v parním oběhu zkondenzuje, odevzdá kondenzační teplo a přes škrťací ventil přechází do výparníku. Roztok je mezi absorberem a vypuzovačem dopravován čerpadlem.

Rozdělení pracovních látek – chladiv

Pracovní látkou v tepelných čerpadlech je chladivo, kterým se v tepelném čerpadle uskutečňuje tepelný oběh. Chladivo při oběhu obvykle mění skupenství a přijímá a odvádí teplo. Chladiva se skládají z jedné látky (jednosložkové chladivo), nebo z jejich směsí. Směsi pak mohou být zeotropické a azeotropické, případně blízké azeotropické. U chladiv jednosložkových a azeotropních směsí látek probíhá látková změna za konstantní teploty závislé pouze na tlaku. U směsí zeotropické se fázová přeměna odehrává při proměnné teplotě. Na počátku varu je tak např. jiná teplota než na jeho konci (tzv. teplotní skluz).

● Rozdělení chladiv dle původu:

- Přírodní** – vzduch, voda, oxid uhličitý (CO_2) a čpavek, látky volně se vyskytující v prostředí
 - V tepelných čerpadlech se můžeme setkat s vodou (u nenulových vypařovacích teplot absorpčních oběhů) a s CO_2 (nové technologie, v ČR bez rozšíření, CO_2 se stává znovuo-bjeveným chladivem)





Uhlovodíky – nasycené i nenasycené uhlovodíky, jedná se zejména o ethan, propan, butan a izobutan, uhlovodíky jsou hořlavé

- V TČ se dříve omezeně používal např. propan (R290), např. izobutan se nejčastěji používá v domácích ledničkách (pod označením R600a)

Halogenované uhlovodíky – plně halogenované uhlovodíky (tj. všechny atomy vodíku v molekule jsou nahrazeny atomy prvků ze skupiny halogenidů (Cl, F, Br) – CFC), částečně halogenované (mají v molekule i atomy vodíku – HCFC) a fluorované uhlovodíky (nemají v molekule atomy chloru, jen fluor HFC)

- CFC – např. R11, R12 – tvrdé freony – již zakázané
- HCFC – např. R22, R401 – měkké freony – přechodná do 1. 1. 2015
- HCF – např. R134a, R410a – současná náhrada za chladiva s chlorem

U tepelných čerpadel je chladivo znečišťující látka, u kterého se hodnotí řada parametrů: **ODP** – *Ozone Depletion Potential* (vliv na ozónovou vrstvu), **GWP** – *Global Warming Potential* (vliv na oteplování země) a „nově“ byl zavedený faktor **TEWI** – *Total equivalent warming impact*. Důvodem pro zavedení TEWI je skutečnost, že nelze hodnotit energetické

a ekologické parametry chladiv odděleně, neboť chladivo s dobrým GWP může mít v okruhu horší provozní parametry (horší chladicí a topný faktor), v důsledku toho vzroste spotřeba el. energie na pohon TČ a výsledný skleníkový efekt tohoto chladiva bude horší.

TEWI vyjadřuje celkovou ekvivalentní produkci CO₂ během životnosti zařízení. Je dán součtem přímých a nepřímých vlivů:

$$TEWI = \text{přímé vlivy} + \text{nepřímé vlivy}$$

Přímé vlivy

- $GWP_{\text{chladiva}} \times \text{únik}_{\text{chladiva}} \text{ (kg/rok)} \times \text{životnost}_{\text{zařízení}} \text{ [rok]}$
- $GWP_{\text{chladiva}} \times \text{náplň}_{\text{chladiva}} \text{ (kg)} \times (1 - \text{faktor}_{\text{recyklace}}) \text{ [kg CO}_2\text{]}$
(faktor = 1 při úplné zpětné recyklaci)

Nepřímý vliv

- $\text{životnost}_{\text{zařízení}} \text{ [rok]} \times \text{roční spotřeba energie [kWh/rok]} \times \text{emisní faktor CO}_2 \text{ [kg CO}_2\text{/kWh]}$

Faktor TEWI poskytuje pohled na celé zařízení, nehodnotí pouze chladivo. Parametr TEWI je absolutní, je vždy vypočten pro konkrétní zařízení, jeho velikost a provoz. Neslouží tedy pro obecné hodnocení, neboť větší zařízení (nebo s větším provozem) bude mít vždy větší TEWI než zařízení menší, je však vhodné pro porovnání různých řešení či koncepcí pro danou instalaci.

Zařízení typu domácích chladniček mají díky hermetickému provedení a malé náplni chladiva malý přímý vliv, díky trvalému provozu jednoznačně převažuje nepřímý (provozní) vliv, poměr tak může být cca 6/94%. U automobilové klimatizace, kde k únikům dochází a provoz není tak častý (navíc není na el.) je poměr cca 30/70%. U TČ je uváděn obvyklý poměr 10/90%.

Typy primárních zdrojů energie

Tepelné čerpadlo využívá nízkopotenciální teplo, které přečerpává na vyšší energetickou úroveň využitelnou například pro vytápění objektů. Zdrojů nízkopotenciálního tepla je celá řada – jednak jsou to zdroje přírodní, jednak zdroje umělé (odpadní teplo).

K zemskému povrchu proniká energie ze dvou zdrojů. Prvním je sluneční energi, která ohřívá zemi,

vodu i vzduch, druhým energie ze zemského jádra, plynoucí pravděpodobně z radioaktivních reakcí v jádře. Podrobněji je sluneční energie dělena na energii přímo využitelnou fototermickými kolektory a na sluneční energii přeměněnou na tepelnou energii vzduchu, vody a země. Energii jádra reprezentuje geotermální energie. Samostatně je uvedena odpadní energie, která pochází z lidské činnosti; nejčastěji se jedná o odpadní teplo z technologických procesů.

Přírodní zdroje energie

Vzduch

Vzduch je prakticky všude dostupný zdroj energie, avšak „hustota“ tepelné energie ve vzduchu je malá a její využitelné množství s venkovní teplotou klesá. Navíc od cca 4 °C (výparná teplota již kolem či pod 0 °C) dochází k zamrznutí teplosměnných ploch zhoršující efektivitu provozu. Parametry venkovního vzduchu, při kterých je stanoven nominální výkon TČ a COP se označují „A“ (Air) a teplotou, např. A2, A7.

Voda (povrchová, podpovrchová)

Vodu jako zdroj tepla lze čerpat z povrchových toků či nádrží (umělých, přírodních), nebo z podpovrchových zdrojů (studen). Výměník (výparník) se zpravidla neumísťuje přímo do zdroje vody kvůli případné kontaminaci vody chladivem při jeho porušení, ale voda je např. vedena ze studny k výměníku, případně se do okruhu vloží pomocná ekologicky nezávadná teplotonosná kapalina. Parametry vody se označují písmenem „W“ (Water) a teplotou, např. W10.

Země (plošné kolektory, vrtů)

Pro čerpání energie ze země se využívají dva základní typy zemních výměníků: vrtů (vertikální vrt do hloubky cca 70–140 m) a plošné zemní kolektory (horizontální výměník pod zámraznou hloubkou). Alternativou vrtů mohou být koaxiální sondy, spirálové sondy či energetické piloty, alternativou plošných výměníků mohou být instalace do výkopu (jednoduché či spirálové smyčky). Zemní výměník je relativně stabilním zdrojem nízkopotenciální energie a je dostupnější než voda. Výměník je však třeba vždy dobře dimenzovat, aby nedošlo k jeho vyčerpání či dokonce

zamrznutí. Zejména u vrtů je pak vhodná kombinace např. s fototermickými kolektory či s chladicí funkcí TČ, kdy je přebytečné teplo vraceno do vrtu a slouží k jeho regeneraci. Parametry země se pak označují písmenem „B“ a teplotou, např. B0, pro případy, kdy je v kolektoru jako teplosměnná kapalina např. solanka (Brine – solný roztok). Pokud je v zemním kolektoru přímo chladivo – přímý odpar, označují se podmínky jako „E“ (Earth) a teplotou, např. E4.

Geotermální energie

Hlubinné vrtů na využití geotermální energie jsou hluboké v řádu kilometrů, a využívají energii jádra v suchých horninách (HDR – Hot Dry Rock). Obecně platí, že teplota roste s hloubkou o cca 30 °C/1 km, avšak tato hodnota je silně závislá na geologické skladbě hlubokých vrstev podloží. Geotermální energii vody pak využívají hlubinné vrtů, ze kterých je čerpána voda o vyšší teplotě než z povrchových toků. Např. v oblasti Děčína se nachází v hloubce cca 500 m podzemní jezero s teplotou vody cca 30 °C.

Sluneční energie (solární systémy)

Zdrojem nízkopotenciální energie pro tepelná čerpadla mohou být i solární kolektory. V podmínkách ČR lze dimenzovat kolektory tak, aby po určitou dobu v roce dosahovaly dostatečně vysokých teplot a výkonů a mohly sloužit jako samostatný zdroj tepla. U solárních soustav běžně navrhovaných pro přípravu TV a vytápění obvykle dochází k letnímu přebytku tepla, v zimě pak k nedostatku dostatečně ohřáté vody (nedostatek výkonu). Zde se nabízí prostor pro instalaci TČ, které dokáže dohřát vodu z kolektoru na požadované teplotní parametry při zohlednění ekonomické efektivity.

Zdroje odpadní energie

Typicky jsou zdrojem odpadní energie technologické procesy. Zdrojem tepla mohou být např. chladicí kapalina při řezání, chlazení forem od odlitků, kompresory stlačeného vzduchu a další procesy a zařízení, ale např. také odváděný vzduch VZT jednotkami. Ve VZT aplikacích jsou TČ rozšířena zejména u bazénových jednotek.

Vymezení referenční varianty

Legislativní rámec referenční varianty

Při poskytování investiční podpory k ochraně životního prostředí vlivem zvýšení energetické účinnosti musí být mimo jiné splněny podmínky Nařízení Komise (EU) č. 651/2014 ze dne 17. června 2014, které určují tzv. způsobilé výdaje záměru. Za ty je možné považovat dodatečné investiční náklady nezbytně vynaložené k dosažení vyšší úrovně energetické účinnosti ve srovnání s podobnou tzv. referenční investicí, která nedosahuje stejné energetické účinnosti, a která by bez poskytnutí podpory byla pravděpodobně realizována. Jedná se o vícenáklady vynaložené na efektivnější nadstandardní řešení.

Metodika výpočtu způsobilých výdajů byla navržena na základě aktuálního Metodického rámce vycházejícího z oddílu 7 – Podpora na ochranu životního prostředí podle Nařízení Komise (EU) 651/2014, kterým se v souladu s články 107 a 108 Smlouvy prohlašují určité kategorie podpory za slučitelné s vnitřním trhem včetně článku 40 a článku 41.

Způsobilé výdaje se dle metodiky vypočítávají vztahem:

$$ZV = IN_c - IN_z$$

kde:

IN_c celkové investiční náklady na nový zdroj

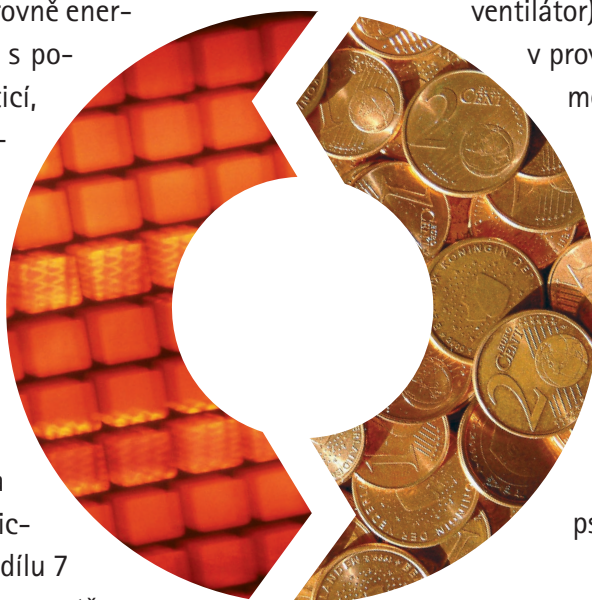
IN_z celkové investiční náklady na referenční variantu

Pro stanovení měrných investičních nákladů referenční varianty daného projektu jsou stanoveny měrné náklady pro jednotlivé zdroje, viz. tab. 3. Měrné náklady jsou stanoveny pro dva výkonové rozsahy a příslušné typy kotlů, které jsou uvedeny

na straně 25 v části *Metodika výpočtu kotle*.

Náklady byly stanoveny dle ceníkových cen výrobců/dodavatelů kotlů dostupných v ČR. Rozptyl hodnot je dán jak různou cenovou politikou jednotlivých výrobců/dodavatelů tak odlišným technologickým vybavením, příslušenstvím a konstrukcí kotle. Zejména u malých kotlů velmi záleží na tom, zda je kotel závěsný či stacionární, zda a jakým způsobem připravuje TV, z jakého materiálu má spalínový výměník, jak je napojen na odvod spalin (má/nemá spalínový ventilátor) atd. U větších výkonů je výběr

v provedení menší, menší je i rozptyl měrných nákladů. Pro výpočet investičních nákladů referenční varianty by energetický specialista měl použít měrné náklady odpovídající jejich výše uvedenému rozptylu. Pokud energetický specialista použije měrné náklady mimo příslušný rozptyl, musí jejich užití zdůvodnit a poslat konkrétní nabídkou.



Referenční zdroje energie

Referenční variantou pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (KVET) z plynu standardní kogenerační technologií je plynový kondenzační kotel, v případě výtopny na OZE (biomasa) je referenční variantou kotel na původně používané palivo. Byla-li kotelná původně uhelná, pak je to kotel na uhlí, pokud byla plynová, tak je referenční variantou plynový kondenzační kotel. Pokud je nahrazovaný plynový zdroj větší než 2 MWt, referenční variantou je nízkoteplotní či standardní kotel.

Pro případy instalace obnovitelných zdrojů tepla (např. solárních systémů nebo tepelných čerpadel) jsou způsobilé náklady představovány rozdílem mezi

náklady na investici do výroby energie z obnovitelných zdrojů a náklady na podobnou investici, která je méně šetrná k životnímu prostředí a která by byla pravděpodobně realizována, kdyby nedošlo k poskytnutí podpory. To za podmínky, jestliže lze tímto srovnáním podle odst. 6. b) článku 41 náklady na investici do výroby tepla z OZE určit.

Jako referenční varianta je tak pro instalace například solárních systémů nebo tepelných čerpadel

aplikován plynový kondenzační kotel, stejně jako pro KVET. Předpokládaný instalovaný tepelný výkon referenční jednotky je stejný jako instalovaný tepelný výkon nového zdroje.

Konkrétní příklady viz „MPO: Obnovitelné zdroje energie Výzva I. – Příručka způsobilých výdajů“.

Vymezení měrných investičních nákladů na tepelné zdroje

Při aplikaci srovnávací varianty může energetický specialista vycházet ze skutečných cen příslušné referenční varianty nebo může využít níže stanovené měrné ukazatele.

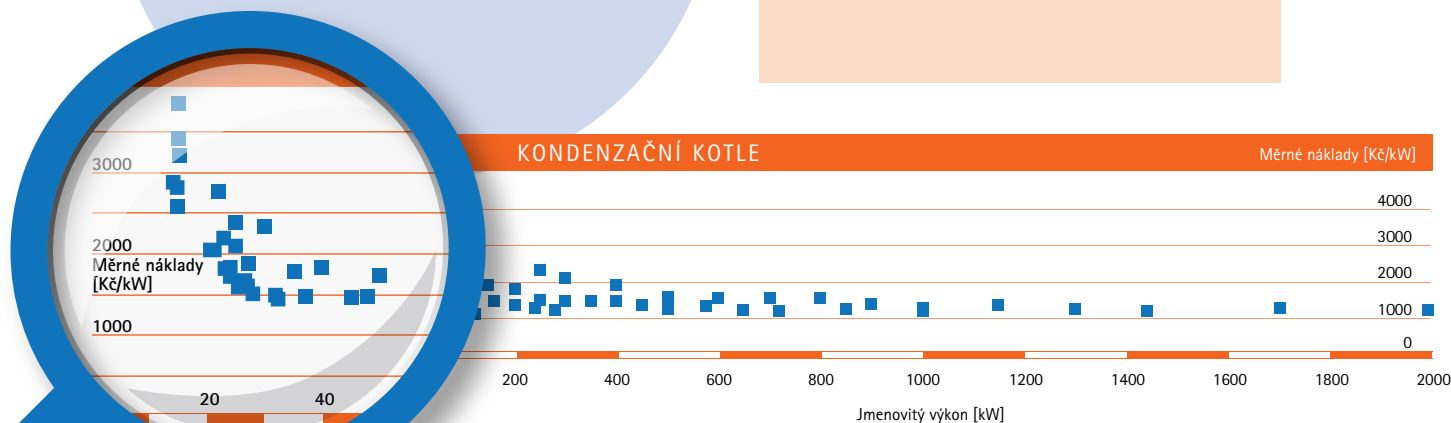
Kondenzační kotle

GRAF 1: MĚRNÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY KONDENZAČNÍCH KOTLŮ



Ze zvětšené části grafu (do 100 kW) je patrné, že náklady na kotel se i pro stejný výkon značně liší. To je dáno jednak různými cenovými úrovněmi výrobců kotlů, dále pak technickými parametry (nerezový/hliníkový výměník atd.) a rovněž provedením (pouze ÚT, akumulární/průtoková příprava TV, vestavěný zásobník, kvalita regulace, závěsný/stacionární atd.).

Graf ukazuje na relativně stálé měrné náklady u kotlů od výkonu cca 400 kW. Důvodem je „užší“ sortiment kondenzačních kotlů větší výkonů a menší rozmanitost provedení.



Nízkooteplotní a klasické kotle

GRAF 2: MĚRNÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY NE-KONDENZAČNÍCH KOTLŮ

Ze zvětšené části grafu je opět patrný značný cenový rozptyl (u kotlů do 60 kW) závislý – stejně jako u kondenzačních kotlů – na výrobci, provedení a vybavení kotle. U ne-kondenzačních kotlů dále záleží na provedení buď s nuceným odtahem spalin či přívodem spalovacího vzduchu nebo k napojení do komína (bez spalínového ventilátoru).

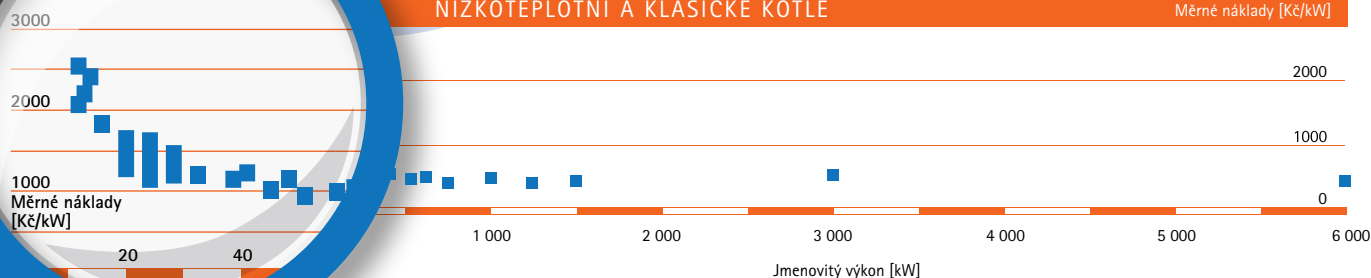
Graf opět ukazuje na relativně stálé měrné náklady na kotle od výkonu cca 400 kW (s ne příliš výstižnou spojnicí trendu). Důvody jsou obdobné jako u kondenzačních kotlů.

Poznámka ke grafu: ceny kotlů jsou včetně hořáků



NÍZKOTEPLNÍ A KLASICKÉ KOTLE

Měrné náklady [Kč/kW]

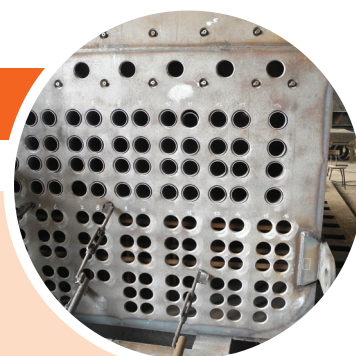


Kotle na tuhá paliva

GRAF 3: MĚRNÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY KOTLŮ NA TUHÁ PALIVA

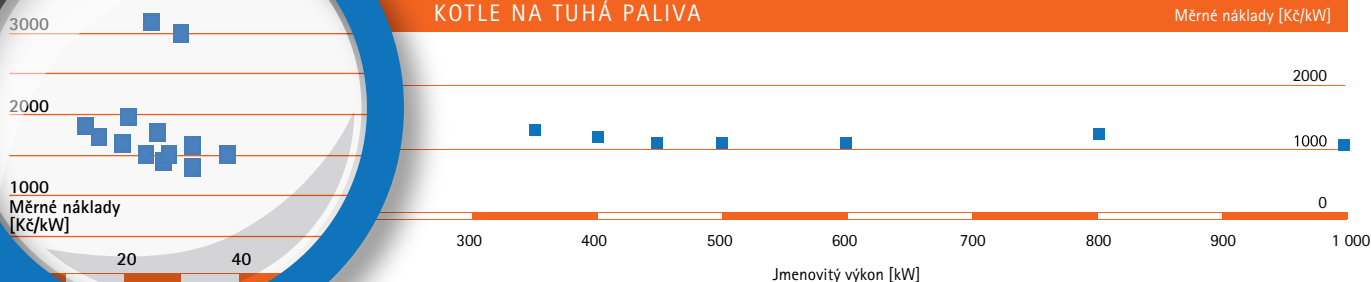
Náklady opět souvisejí se značkou, provedením, výbavou, způsobu příkladání (ručně, automaticky, na velikosti zásobníku atd.) a rovněž na spalovaném palivu; nejdražší jsou vícepalivové kotle (např. uhlí/peletky).

Měrné náklady na kotle jsou relativně stálé v celé výkonové škále.



KOTLE NA TUHÁ PALIVA

Měrné náklady [Kč/kW]



Přehled měrných investičních nákladů

Z grafů je patrné, že k největšímu rozptylu cen dochází u kotlů menších výkonů. Pro zjednodušení stanovení nákladů referenční varianty je uveden rozptyl nákladů pro dva výkonové rozsahy.

PŘEHLED MĚRNÝCH
INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ
[Kč/kW]

TABULKA 3

Typ kotle	výkon	
	0–200 kW	>200 kW
Kondenzační	1300–3500	900–1700
Nízkoteplotní a klasické	900–2500	300–500
Kotle na tuhá paliva	700–3000	1000–1300

Vymezení měrných investičních nákladů na technologie kotelen dle nabídkových cen skutečných projektů

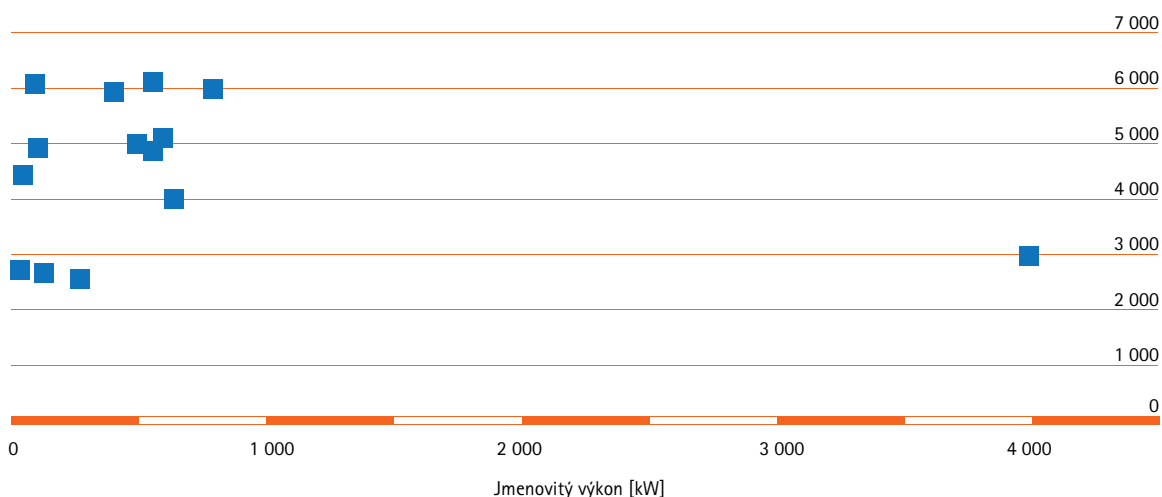
Rozptyl měrných nákladů je značný stejně jako ve studii „Metodika stanovení oprávněných nákladů akcí hodnocených v opatření 2.3 OPPP, 10/2004“ značný. Důvodem je rozmanitost jednotlivých realizací. Menší měrné náklady představují instalaci

samotného zdroje pro ÚT pouze s napojením na otopnou soustavu, větší měrné náklady představují instalaci kotle včetně přípravy TV, zabezpečovacích a havarijních prvků atd.

GRAF 4:
ROZPTYL
MĚRNÝCH
NÁKLADŮ

MĚRNÉ INVESTICE REALIZOVANÝCH PLYNOVÝCH KOTELN

Měrné náklady [Kč/kW]



Metodika výpočtu zdroje

Metodika výpočtu kogenerační jednotky

Výrobní tzv. vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla jsou od roku 2013 v ČR předmětem nového systému podpory reflektujícího jednotný harmonizovaný postup zavedený novou evropskou legislativou (Směrnice č. 2012/27/EU, Rozhodnutí EK č. 2008/952/ES a Prováděcí rozhodnutí EK č. 2011/877/EU).

V současnosti jsou aktuální dotační programy zaměřeny na podporu energetické účinnosti. Energetická účinnost je tedy brána jako klíčový parametr při návrhu opatření. Dle metodiky zaváděné evropské legislativy je stanovení úspor primární energie založeno na výpočtu množství paliva potřebného pro výrobu stejného množství elektřiny a užitečného tepla odděleně při daných „referenčních“ účinnostech odpovídajících úrovni BAT. Ty jsou do české legislativy aktuálně transponovány vyhláškou č. 37/2016 Sb., která používá harmonizované referenční hodnoty účinnosti uvedené v Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2015/2402. Tímto nařízením se přezkoumávají harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny a tepla. Uvedené hodnoty referenčních účinností jsou uvedeny v příloze na konci dokumentu.

Při posuzování nových zdrojů kombinované výroby elektřiny a tepla se ve výpočtu úspory primární energie a úspory emisí CO_2 musí uvažovat referenční účinnosti (oddělené) výroby elektřiny a tepla v souladu s vyhláškou č. 37/2016. Vzhledem k tomu, že tepelná a elektrická energie produkovaná KGJ má jinou cenu, jiné emisní faktory atd., a je v energetickém auditu (EA) či posudku (EP) vyčíslována samostatně, je výhodnější provádět výpočty s dílčí účinností výroby tepla a elektrické energie. Zároveň se v EA či EP počítá s roční (sezónní) účinností. Stanovení roční účinnosti je u KGJ relativně snazší než u kotlů či tepelných čerpadel, neboť KGJ se dimenzují na provoz

při maximálním výkonu. Hodnoty jsou pak blízké katalogovým hodnotám. Důvodem je mimo jiné optimalizace počtu motohodin, pro které jsou stanoveny servisní intervaly (nejsou vztaženy k množství vyrobeného tepla či elektřiny).

Účelem samostatného výpočtu referenční výroby elektřiny a tepla dle Směrnice je především zamezit nepřiměřeně vysokému zvýhodňování nových zdrojů KVET. Pokud by žadatel při posuzování nové plynové KGJ nesprávně deklaroval úspory vůči oddělené výrobě elektřiny z uhelných elektráren s nízkou účinností a vysokým emisním faktorem, vedl by výpočet k mnohem větší úspoře a tedy neoprávněnému investičnímu zvýhodnění plynové kogenerace, která by navíc pobírala provozní podporu, i když krácenou v závislosti na investiční podpoře.



Tabulka níže obsahuje příklad výpočtu KGJ při náhradě stávajícího kotle na vytápění, včetně instalace špičkovacího kotle. Výpočet je založen na tepelné a elektrické účinnosti KGJ (vztaženo k výhřevnosti). Výpočet je třeba provádět vždy dle aktuálního cenového rozhodnutí, a to jak pro stanovení výše zeleného bonusu, tak i pro stanovení

plateb za rezervovanou kapacitu při dodávce plynu, či výši plateb za použití sítí při dodávce elektrické energie.

VÝPOČET PŘÍNOSŮ
INSTALACE KGJ DLE METODIKY STANOVENÍ ÚSPOR
PRIMÁRNÍ ENERGIE

TABULKA 4

Parametr	Jednotka	Výchozí stav – kotel	KGJ + špičkovací kotel
Návrhové hodnoty			
Elektrický výkon	MWe	–	0,52
Tepelný výkon	MWt	2,00	0,60
Příkon ZP pro KGJ	MW	–	1,333
Elektrická účinnost KGJ	%		39
Tepelná účinnost KGJ	%		45
Účinnost (špičkovacího) kotle	%	85	90
Celková potřeba tepla	MWh/r	3 000	3 000
Roční využití instal. výkonu KGJ	h/r		3 000
Zvýšení kapacity denního odběru oproti současnosti	m ³ /den		1 592
Výroba tepla na KGJ	MWh/r		1 800
Výroba na kotli	MWh/r	3 000	1 200
Spotřeba zemního plynu	MWh/r	3 529	5 333
Zvýšení spotřeby ZP	MWh/r		1 804
Výroba elektrické energie brutto	MWh/r		1 560
Dodávka elektrické energie do sítě	MWh/r		1 529
Výpočet úspor			
Cena ZP	kč/MWh	875,0	875,0
Cena za kapacitu	Kč/m ³	206,7	199,7
Vícenáklady na odebraný ZP	tis. Kč/rok		1 578,4
Vícenáklady za rezervovanou kapacitu	tis. Kč/rok		317,9
Oprava a údržba	tis. Kč/rok	100,0	417,9
Celkové provozní vícenáklady pro KGJ	tis. Kč/rok		2 214,2
Cena použití VN sítí distributora	Kč/MWh	94,7	0,0
Cena silové elektřiny	Kč/MWh		1 000,0
Zelený bonus za KVET (do 3000 h/rok)	Kč/MWh		1 595,0
Výnos z výroby elektrické energie	tis. Kč/rok		4 112,0
Náklady snížené o výnosy za elektřinu	tis. Kč/rok	0,0	-1 897,8
Úspora vůči referenční variantě	tis. Kč/rok		1 897,8
Investiční náklady	tis. Kč		13 500
KGJ	tis. Kč		11 000
Špičkovací kotel	tis. Kč		2 500
Prostá doba návratnosti	let		7,11

TABULKA 4 – POKRAČOVÁNÍ

Parametr	Jednotka	Výchozí stav – kotel	KGJ + špičkový kotel
Stanovení lokální úspory energie			
Lokální spotřeba zemního plynu	MWh/r	3 529	5 333
Lokální úspora energie	MWh/r		-1 804
Stanovení globální úspory primární energie (ÚPE)			
Referenční účinnost oddělené výroby tepla	%	92	
Referenční účinnost oddělené výroby elektrické energie	%	53,0	
Korekční koeficient referenční účinnosti oddělené výroby elektrické energie dle klimatických podmínek	%	0,7	
Kor. koeficient dodávky elektřiny do DS 12–50 kV	–	0,935	
Kor. koeficient dodávky elektřiny pro vl. spotřebu do 0,45 kV	–	0,851	
Vážený průměr knap	–	0,935	
Výsledná referenční účinnost výroby elektřiny	–	0,502	
Referenční spotřeba energie oddělené výroby elektrické energie	MWh/r	3 045	
Vytěsněná elektrická energie	MWh/r		1 529
Spotřeba primárního paliva na oddělenou výrobu elektrické energie	MWh/r	3 045	
Spotřeba primárního paliva na oddělenou výrobu tepla	MWh/r	3 261	
Spotřeba primární energie celkem	MWh/r	6 306	5 333
ÚPE celkem	MWh/r		972
	%		15,4

SROVNÁVACÍ VARIANTA,
STANOVENÍ ZV

TABULKA 4

Parametr	KGJ + špičkový kotel
Investiční náklady – KGJ	13 500 tis. Kč
Referenční varianta – plynový kotel	900 tis. Kč
Způsobilé výdaje	12 600 tis. Kč

Metodika výpočtu tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je ve srovnání s přímým využitím primární energie (např. přímotopné el. vytápění) velmi efektivní zdroj. Jeho účinnost nově definuje např. Nařízení komise č. 813/2013 – ekodesign ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů a kombinovaných ohřivačů.

Charakteristická veličina popisující energetickou efektivitu TČ se nazývá topný faktor (Coefficient of Performance, COP) a vyjadřuje se jako poměr deklarovaného topného výkonu v kW k energetickému příkonu TČ vyjádřeného v kW. Hodnota COP pro daný typ TČ závisí podstatnou měrou na obou teplotách, mezi nimiž TČ pracuje, a vždy se uvádí pro jaké hodnoty je stanovena.

Tepelná čerpadla za ustálených podmínek odpovídajících jmenovitým parametrům v praxi nepracují. Během roku, případně topné sezony, se mění parametry jak na primární, tak sekundární straně TČ. Mění se např. teplota venkovního vzduchu (u TČ vzduch-voda), ovlivňující poměry na výparníku, i teplota výstupní a vstupní vody (pro ÚT a ohřev TV), ovlivňující kondenzační teplotu. Během roku se mění rovněž požadovaný výkon TČ. Pro hodnocení TČ během celého roku je třeba stanovit sezónní účinnost – **SCOP (el. TČ)** nebo **SPER (palivová TČ)**. Ta je definována jako poměr celkového dodaného užitečného tepla ke spotřebě energie nutné na jeho výrobu.

Sezonní účinnost, která je pro posuzování zdroje tepla za otopnou sezonu rozhodující, se dle tohoto Nařízení vypočte následovně:

- pro palivová tepelná čerpadla:

$$\eta_s = SPER - F(i),$$

- pro tepelná čerpadla s elektrickým pohonem:

$$\eta_s = \frac{SCOP}{CC} - F(i).$$

Kde:

CC je převodní koeficient elektrické energie na energii primární. Jeho předepsaná



hodnota je $CC = 2,5$; odpovídající průměrné účinnosti výroby elektřiny v EU 40%.

SPER sezonní koeficient primární energie (Seasonal Primary Energy Ratio)

SCOP sezonní topný faktor (Seasonal Coefficient of Performance)

F(i) jsou opravné členy na různé vlivy snižující celkovou účinnost soustavy, viz Nařízení

V rámci nařízení je tedy i u elektrických TČ vztaženo hodnocení účinnosti k primární energii a lze tedy porovnávat účinnost elektrických i plynových TČ. Elektrická TČ jsou však v porovnání mírně zvýhodněna, neboť účinnost výroby el. energie není v ČR 40%, jak uvádí nařízení, ale dle „Možnosti úspor energie ve velkých výrobnách elektřiny a tepla a možné náhrady uhlí, MPO, prosinec 2013“ je celková energetická účinnost monovýroby elektřiny (kondenzační výroby elektřiny) 33,5% (v roce 2011).

Zásadním bodem pro auditorský výpočet přínosů opatření je správné stanovení sezónní účinnosti tepelného čerpadla (SPER, SCOP). Vhodné je vyjít z ČSN EN 14825 – „Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a klasifikace za podmínek částečného zatížení a výpočet při sezónním nasazení“ nebo z nařízení o ekodesignu č. 206/2012 a sdělení komise k nařízení č. 206/2012.

Metodika obsahuje jak výpočetní vztahy, tak teplotní četnosti pro otopné období. V nařízení jsou tři teplotní období: průměrné, teplejší a chladnější, přičemž pro přesné výpočty je vhodné provést výpočet s příslušným klimatem dané oblasti předmětu energetického auditu či posudku.

Průměrný sezonní topný faktor, v aktivním režimu včetně dodatkového zdroje, se dle nařízení

počítá na základě statistických teplotních intervalů a počtu hodin v daném intervalu.

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times P_h(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j \times \left\{ \frac{P_h(T_j) - Elbu(T_j)}{COP_{bin}(T_j)} + Elbu(T_j) \right\}}$$

Kde:

h_j doba v daném teplotním intervalu [hodiny]

T_j venkovní teplota (teplota suchého teploměru) [°C]

$Elbu(T_j)$ výkon záložního (bivalentního) zdroje [kW]

$COP_{bin}(T_j)$ topný faktor specifický pro daný statistický topný interval [-]

$P_h(T_j)$ potřeba tepla na vytápění (tepelná ztráta objektu) pro daný teplotní interval (venkovní teplotu), kde $P_h(T_j) = P_{design} \times p_l(T_j)$, jedná se tedy o návrhový výkon přepočtený na výkon v daném teplotním intervalu [kW]

$$p_l(T_j) = \frac{T_j - 16}{T_{design} - 16}$$

Kde:

T_{design} teplota odpovídající referenčním podmínkám pro vytápění (-10 °C) [°C]

$COP_{bin}(T_j)$ lze stanovit dle naměřených hodnot, případně dle dopočtených hodnot k naměřeným referenčním bodům, způsob dopočtu je uveden v metodice. Pro detailní energetické hodnocení zdrojů je třeba v souladu s metodikou ve výpočtech rovněž zahrnout spotřebu energie ve vypnutém stavu a v pohotovostním režimu a spotřebu „pomocné“ energie.

Tato energie je u palivového TČ elektrická, pro stanovení $SPER$ je ji třeba vynásobit faktorem přeměny CC, pro výpočet úspor dle vyhlášky o EA (viz dále) je však spotřebu pomocné elektrické energie řešit odděleně od spotřeby plynu, neboť obě formy energie mají jiné emisní faktory, jinou cenu atd.

Součástí výpočtu efektů tepelných čerpadel je rovněž vyčíslení podílu využití obnovitelné energie. Výpočet množství obnovitelné energie uvádí např. nařízení Komise 2013/114/EU, kterým se stanoví pokyny pro členské státy pro výpočet energie z obnovitelných zdrojů (ERES) z tepelných čerpadel využívajících různé technologie podle článku 5

směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES. Výpočet je dán vztahem:

$$E_{RES} = Q_{usable} \left(1 - \frac{1}{SPF} \right)$$

Kde:

Q_{usable} odhadované celkové využitelné teplo dodané tepelnými čerpadly [GWh],

$Q_{usable} = H_{HP} \times P_{rated}$, je to tedy součin počtu ekvivalentních hodin plného zatížení v provozu [h] a výkonu instalovaných tepelných čerpadel s přihlédnutím k životnosti různých typů tepelných čerpadel [GW]

SPF odhadovaný faktor průměrné sezónní účinnosti ($SCOP_{net}$ nebo $SPER_{net}$)

Příklad náhrady plynového kotle plynovým absorpčním tepelným čerpadlem

V následujícím textu a tabulkách na následující dvoustraně je znázorněn příklad výpočtu přínosů náhrady plynového kotle se sezónní účinností 88% plynovým tepelným čerpadlem. Při výpočtu OZE v SC 3.1 je třeba rovněž stanovit odpovídající způsobilé výdaje:

$$ZV = IN_C - IN_R$$

V příkladu je ukázán možný způsob výpočtu palivového tepelného čerpadla na základě potřeby tepla na vytápění a potřeby paliva na vytápění při různých sezónních účinnostech (sezónních topných faktorech) zdroje. Rovněž je v příkladu vyčísleno množství obnovitelné energie a do výpočtu je zahrnut rovněž nárůst vlastní spotřeby el. energie a náklady na opravu a údržbu, které jsou proti kotlům u TČ vyšší.

Výstupem celkové energetické bilance dle vyhlášky o EA je pak upravená energetická bilance. Upravená bilance má vyhláškou jasně danou podobu, do které nelze samostatně uvést obnovitelnou složku energie. Energetickou bilanci tepelného čerpadla lze v zásadě vyjádřit dvěma způsoby.

V prvním případě se obnovitelná energie v tabulce „projeví“ v řádku „Vstupy paliv a energie“. Sečtením vstupu paliv a obnovitelné energie však dojde k výsledné úspoře energie (dle tabulky) pouze na ztrátách původního zdroje tepla a přínos

TECHNICKO-EKONOMICKÉ
PŘÍNOSY NÁHRADY
PLYNOVÉHO KOTLE
PLYNOVÝM ABSORPČNÍM
TEPELNÝM ČERPADLEM

SROVNÁVACÍ VARIANTA
PRO GAHP

TABULKA 7

Parametr

Investiční náklady – GAHP	2 500 tis. Kč
Refer. varianta – plynový kotel	400 tis. Kč
Způsobilé výdaje	2 100 tis. Kč

Pozn.: účinnost a efekty jsou stanoveny vzhledem k výhřevnosti paliva, v souladu s tabulkou „základních údajů o energetických vstupech“ z vyhlášky o EA! Nařízení o ekodesignu hodnotí účinnost vzhledem ke spalnému teplu!

TABULKA 6

Instalace GAHP

Energie v palivu na výrobu tepla (ZP)	1 931,1 GJ/r
Sezonní účinnost původního zdroje	88,0 %
Potřeba tepla na vytápění (výroba)	1 699,4 GJ/r
Sezonní účinnost TČ pro výrobu tepla (SPER)	140,0 %
Nová spotřeba energie v palivu	1 213,9 GJ/r
Obnovitelná energie dle 2013/114/EU (ERES)	485,5 GJ/r
Úspora v palivu na výrobu tepla	717,3 GJ/r
Úspora nákladů na výrobu tepla	227,1 tis. Kč
Jmenovitý el. příkon TČ	0,9 kW
Roční využití el. příkonu	2 000,0 h
Nárůst spotřeby el. energie	1 800,0 kWh
Zvýšení nákladů	4,3 tis. Kč
Opravy a údržba	12,0 tis. Kč/r
Celková úspora nákladů	210,8 tis. Kč
Investiční náklady	2 500,0 tis. Kč
Prostá doba návratnosti	11,9 let

PŘÍKLAD UPRAVENÉ
ROČNÍ ENERGETICKÉ BILANCE –
VARIANTA 1 S DOPLŇUJÍCÍ TABULKOU

TABULKA 8

Ukazatel	Před realizací			Po realizaci projektu		
	Energie		Náklady	Energie		Náklady
	[GJ]	[MWh]	[tis. Kč]	[GJ]	[MWh]	[tis. Kč]
Vstupy paliv a energie	3047,0	846,4	1354,9	2336,2	648,9	1132,2
Změna zásob paliv						
Spotřeba paliv a energie	3047,0	846,4	1354,9	2336,2	648,9	1132,2
Prodej energie cizím						
Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	3047,0	846,4	1354,9	2336,2	648,9	1132,2
Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech	231,7	64,4	73,4	0,0	0,0	0,0
Spotřeba energie na vytápění	1699,4	472,1	538,0	1699,4	472,1	538,0
Spotřeba energie na chlazení						
Spotřeba energie na přípravu teplé vody						
Spotřeba energie na větrání						
Spotřeba energie na úpravu vlhkosti						
Spotřeba energie na osvětlení						
Spotřeba energie na tech. a ostatní procesy	1115,8	310,0	743,6	1122,3	311,8	747,9

TABULKA 8 – DOPLŇUJÍCÍ TABULKA

Obnovitelná složka energie	0,0	0,0	0,0	-485,5	-134,9	-153,7
----------------------------	-----	-----	-----	--------	--------	--------

v EA (zároveň referenční úspora pro dotační programy) přitom vychází právě z rozdílu vstupů paliv a energie v upravené energetické bilanci.

Aby upravená bilance ukazovala skutečnou

úsporu paliva (v energetickém a finančním vyjádření) musí se „Vstupy paliv“ rovnat „Konečné spotřebě energie“ snížené o obnovitelnou složku energie (bez uvažování změny zásob a prodeje). Pokud by to tak nebylo, úspora energie daného opatření či varianty, daná rozdílem spotřeby energie „před“ a „po“ v prvním řádku tabulky by neodpovídala skutečně dosaženým úsporám na nakupovaném palivu a následně by neodpovídaly ani hodnoty úspor energie v evidenčním listu EA. Díky tomu však součet spotřeb energie a ztrát není v souladu s konečnou spotřebou paliv a energie v objektu. Tabulku je tedy třeba doplnit „pomocnou“ či „vysvětlující“ tabulkou, kde je obnovitelná složka energie samostatně vyčíslena.

Druhý způsob vyjádření vychází rovněž z požadavku vyhlášky o EA, konkrétně z požadavku

na zpracování výchozí a upravené energetické bilance. Tabulka říká, že pokud nedochází ke změně zásob paliv a k prodeji energie musí se „Konečná spotřeba paliv a energie“ rovnat „Vstupu paliv a energie“. „Ztráty ve vlastním zdroji“ a „Spotřeba energie na vytápění“ atd. pak vycházejí z řádku „Konečná spotřeba paliv a energie (z ř. 5)“, jejich součet tedy musí „Konečné spotřebě“ odpovídat a je tedy nutné obnovitelnou složku do některého z řádků zahrnout. Obnovitelná energie je v rámci bilance „Zisk“, žádný z řádků „Spotřeba“ či „Ztráta“ není pro tyto účely vhodný. Pokud je účinnost zdroje menší než 100 %, uvádí se rozdíl do řádku „Ztráta ve vlastním zdroji“, pokud je účinnost vyšší než 100 %, nabízí se tuto hodnotu uvést do stejného řádku, avšak se záporným znaménkem. Stejný princip (záporného znaménka) je rovněž užít v Příloze 5 – Výsledky ekonomického hodnocení, kde je úspora provozních nákladů uvedena s „-“.

To, jakou variantu vyjádření úspor energeticky auditor zvolí, je na jeho uvážení a odpovědnosti.

PŘÍKLAD UPRAVENÉ
ROČNÍ ENERGETICKÉ BILANCE –
VARIANTA DRUHÁ

TABULKA 9

Ukazatel	Před realizací			Po realizaci projektu		
	Energie		Náklady	Energie		Náklady
	[GJ]	[MWh]	[tis. Kč]	[GJ]	[MWh]	[tis. Kč]
Vstupy paliv a energie	3047,0	846,4	1354,9	2336,2	648,9	1132,2
Změna zásob paliv						
Spotřeba paliv a energie	3047,0	846,4	1354,9	2336,2	648,9	1132,2
Prodej energie cizím						
Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	3047,0	846,4	1354,9	2336,2	648,9	1132,2
Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech	231,7	64,4	73,4	-485,5	-134,9	-153,7
Spotřeba energie na vytápění	1699,4	472,1	538,0	1699,4	472,1	538,0
Spotřeba energie na chlazení						
Spotřeba energie na přípravu teplé vody						
Spotřeba energie na větrání						
Spotřeba energie na úpravu vlhkosti						
Spotřeba energie na osvětlení						
Spotřeba energie na tech. a ostatní procesy	1115,8	310,0	743,6	1122,3	311,8	747,9

Důležité z pravidla je, aby rozdíl „Vstupu paliva a energie“ před a po realizaci odpovídal vypočtené úspoře včetně obnovitelné složky energie, neboť tento rozdíl je při monitoringu např. u dotačních programů brán jako výchozí údaj úspory energie.

Příklad náhrady oddělené výroby tepla a chladu plynovým TČ s přímým pohonem spalovacím motorem

V mnohých případech dochází v objektech kromě výroby tepelné energie také k výrobě chladu. Zařízením, které dokáže uspokojit v určitých proporcích obě tyto potřeby, může být tepelné čerpadlo s přímým pohonem plynovým spalovacím motorem (tzv. GMHP). Zařízení lze nasadit do různých aplikací s kontinuální výrobou tepla i chladu (výroba chladu jako zdroj odpadního tepla) a také jako výroba tepla s využitím energie prostředí. Jeho nasazení uvažujeme v případě, kdy se využívá nejen teplo z motoru

(chlazení bloku i teplo spalín) ale též částečně i teplo z kondenzátoru okruhu výroby chladu na teplotní úrovni až 60 °C. Z uvedeného vyplývá, že ekonomicky nejefektivnější je nasazení stroje pro kontinuální výrobu tepla a chladu, ale jeho využití může být i v prosté výrobě tepla s využitím obnovitelné energie z okolního prostředí nebo jako doplnění stávajícího odděleného systému vytápění a chlazení.

Pro poslední uvedenou variantu je obdobně jako v předchozím vyobrazeném příkladu zobrazeno vyčíslení přínosů takovéto typické instalace, kde výchozím předpokladem je opět stávající plynový kotel se sezonní účinností 88 % a konvenční chladicí stroj (chiller) pro výrobu chladicí vody se SEER ve výši 4,0.

Výsledkem hodnocení by dle vyhlášky o EA byla analogicky k předchozímu příkladu tabulka upravené energetické bilance včetně jednoho z nabízených způsobů zahrnutí složky obnovitelné energie, dle uvážení energetického specialisty.

TECHNICKO-EKONOMICKÉ PŘÍNOSY NÁHRADY PLYNOVÉHO KOTLE PLYNOVÝM TEPELNÝM ČERPADLEM S PŘÍMÝM POHONEM SPALOVACÍM MOTOREM

TABULKA 10

Instalace GMHP

Energie v palivu na výrobu tepla (HHV)	2 075,3 MWh/rok
Energie v palivu na výrobu tepla (LHV)	1 867,7 MWh/rok
Sezonní účinnost původního zdroje (vůči LHV)	88,0 %
Potřeba tepla na vytápění (užité teplo)	1 643,6 MWh/rok
Dodané teplo z TČ (na úrovni 60 °C)	577,0 MWh/rok
Spotřeba energie v palivu v TČ (LHV)	390,9 MWh/rok
Sezonní účinnost TČ (k LHV)	147,6 %
Potřeba tepla ve stávajícím zdroji (LHV)	1 066,6 MWh/rok
Nová spotřeba energie v palivu (HHV)	1 781,1 MWh/rok
Obnovitelná energie	186,1 MWh/rok
Úspora paliva (HHV)	294,2 MWh/rok
Úspora nákladů na palivo	264,8 tis. Kč/rok
Úspora elektřiny pro výrobu chladu v chilleru (při EER 4,0)	20,2 MWh/rok
Úspora nákladů na výrobu chladu v chilleru	48,5 tis. Kč/rok
Průměrný elektrický příkon TČ	4,0 kW
Roční využití instalovaného výkonu	4 970,0 hod/rok
Nárůst spotřeby elektrické energie	19,9 MWh/rok
Náklady na elektrickou energii	47,7 tis. Kč/rok
Údržba	89,5 tis. Kč/rok
Celková úspora nákladů	176,1 tis. Kč/rok
Investiční náklady	2 100,0 tis. Kč
Prostá doba návratnosti	11,9 let

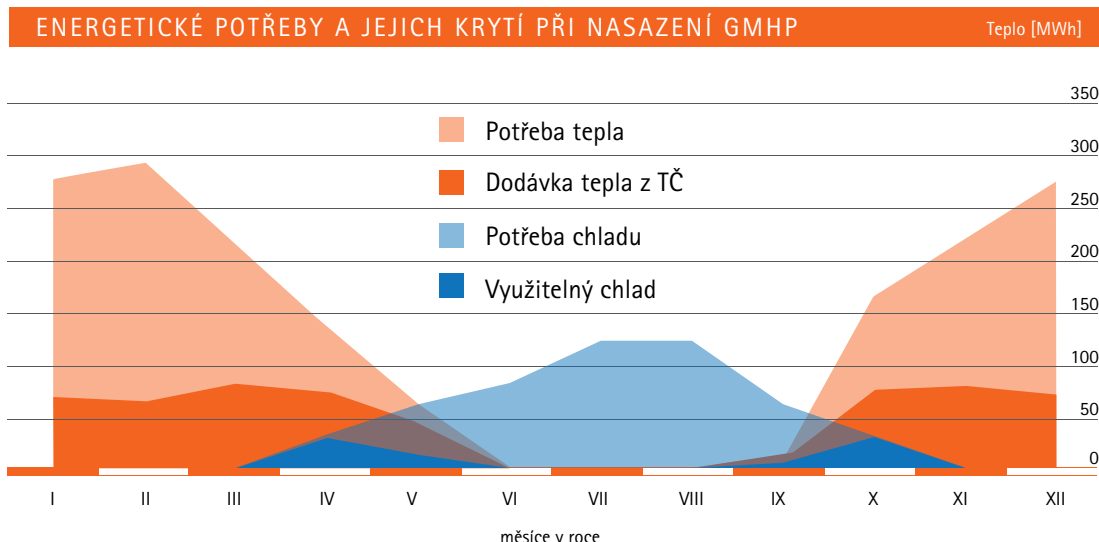
SROVNÁVACÍ VARIANTA PRO GMHP

TABULKA 11

Parametr

Investiční náklady – GAHP	2 100 tis. Kč
Refer. varianta – plyn. kond. kotel	280 tis. Kč
Způsobilé výdaje	1 820 tis. Kč

GRAF 5:
PRŮBĚH
ENERGETICKÝCH
POTŘEB
A JEJICH KRYTÍ
PŘI NAsAZENÍ
GMHP
V ADMINISTRAT-
IVNÍ BUDOVĚ



Metodika výpočtu kotle

Stejně jako u TČ, i u kotlů lze vyjít při stanovení sezónní účinnosti kotle z metodiky ekodesignu ohřevů. To je vhodné i z toho důvodu, že požadavek minimální účinnosti dle ekodesignu je kritérium i v dotačních programech (např. OPPIK). Opět je pro energetické výpočty důležitá sezónní účinnost kotle. Účinnost se dle Nařízení o Ekodesignu č. 813/2013 stanoví jako:

$$\eta_s = \eta_{son} - \sum F(i)$$

Kde:

$$\eta_{son} = 0,85 \times \eta_1 + 0,15 \times \eta_4$$

η_1 účinnost kotle při 30% zatížení

η_4 účinnost kotle při 100% zatížení

Případně je možné účinnost (roční stupeň využití) stanovit i dle VDI 2067 pro klasické kotle (konstantní teplota vody), nebo dle DIN 4702 (normovaný stupeň využití) pro kondenzační a nízkoteplotní kotle:

$$\eta_n = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_i}}$$

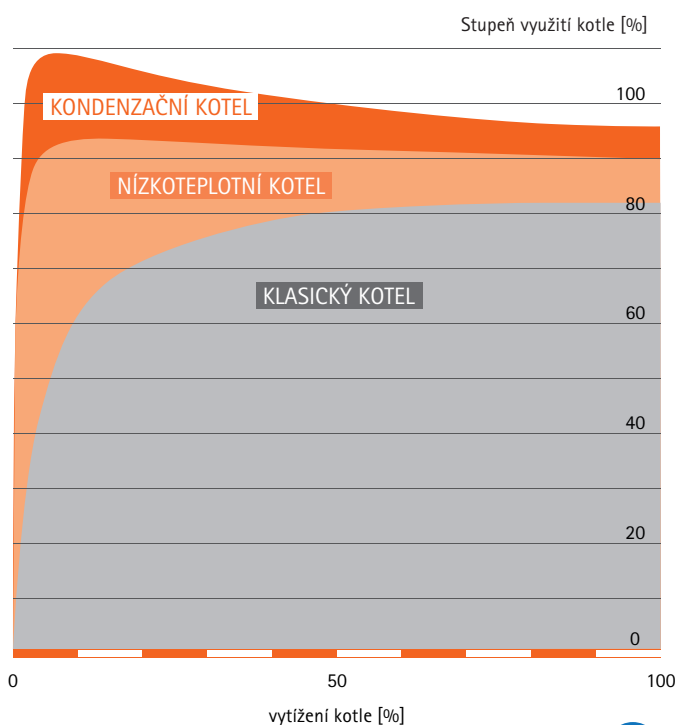
GRAF 6:
ZÁVISLOST ÚČINNOSTI NA ZATÍŽENÍ

ZDROJ: VAVŘIČKA, R.: ZTRÁTY TEPELNÝCH ZAŘÍZENÍ, TEPELNÝCH ROZVODŮ A VYHODNOCOVÁNÍ ÚČINNOSTI OTOPNÝCH SYSTÉMŮ, PREZENTACE

Rozdíl je v tom, že Nařízení hodnotí účinnost na základě dvou provozních stavů s důrazem na dílčí zatížení. Německá legislativa, která se v ČR pro stanovení normovaného stupně využití běžně používá, hodnotí kotel při pěti zatíženích bez důrazu na jedno z nich.

Jak ukazuje graf 6, účinnost je závislá na vytížení kotle. Během otopného období je pak výsledná sezónní účinnost výrazně jiná, než jmenovitá účinnost uvedená výrobcem (při jmenovitých podmínkách). Na sezónní účinnost má mimo jiné vliv dimenzování

ZÁVISLOST ÚČINNOSTI NA ZATÍŽENÍ



(předimenzování) kotle, zda připravuje TV, teplotní spád otopné soustavy, regulace teploty vody do soustavy, parametry spalovacího vzduchu (seřízení kotle), znečištění spalovací komory, konstrukční řešení kotle, regulační chování kotle (spínací difference, doby chodu hořáku...) atd.

V praxi nelze často stanovit sezonní účinnost kotle na základě měřených dat přímou metodou, nezbyvá než vyjít z měření nepřímou metodou či údajů výrobce a tyto hodnoty korigovat dle vlivů zmíněných výše. Vodítkem pro stanovení účinnosti kotle může být rovněž TNI 73 0331, Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet.

Příklad ukazuje možný způsob výpočtu přínosů náhrady kotle na základě potřeby tepla na vytápění a potřeby paliva na vytápění při různých sezónních účinnostech zdroje. Podmínkou dosažení účinnosti 100% je správné dimenzování výkonu zdroje, otopné soustavy a teplot vody do soustavy. Aby ke kondenzaci vůbec docházelo, musí být teplota zpátečky (vratné vody ze soustavy) nižší než teplota rosného bodu spalín, v praxi u dobře seřízených kotlů obvykle pod 50 °C. Avšak i v soustavách se jmenovitým topným spádem 75/60 °C a s dobře nastavenou ekvitemní křivkou ke kondenzaci dochází po více než 80% topné sezóny, v důsledku toho, že extrémní návrhové stavy nastávají v topné sezóně pouze po omezenou dobu.

**PŘÍKLAD NÁHRADY PLYNOVÉHO KOTLE
SE SEZONNÍ ÚČINNOSTÍ 88 %
ZA NOVÝ KONDENZAČNÍ –
TECHNICKO-EKONOMICKÉ PŘÍNOSY**

TABULKA 12

Výměna klasického kotle za kondenzační

Energie v palivu na výrobu tepla	1931,1 GJ/rok
Sezonní účinnost původního zdroje	88,0 %
Potřeba tepla na vytápění (výroba)	1699,4 GJ/rok
Sezonní účinnost kond. kotle	100 %
Nová spotřeba energie v palivu	1699,4 GJ/rok
Úspora tepla	231,7 GJ/rok
Úspora nákladů na teplo	73,4 tis. Kč
Investiční náklady	900,0 tis. Kč
Prostá doba návratnosti	12,3 let

Pozn.: účinnosti jsou vztaženy k výhřevnosti paliva!



Vhodné užití jednotlivých technologií

Kotle

Provoz zdroje tepla má své zvláštnosti v závislosti na druhu paliva. Provozní postupy by měly být zohledněny při návrhu a při provozu dodržovány, aby zdroj správně fungoval a byly tak naplněny stanovené energetické, ekologické a ekonomické cíle. Zdroj tepla je součástí otopné soustavy, do které teplo dodává, a je tedy potřeba při výběru zdroje zohlednit i tuto vazbu. Následující kapitoly pojednávají o nejdůležitějších zásadách provozu pro obě nejrozšířenější kategorie kotlů – na pevná a plynná paliva. Pro kotle na plynná paliva bude věnována pozornost pouze kondenzačním kotlům s ohledem na jejich téměř výlučné budoucí používání.

Kondenzační kotle

Hořením paliv obsahujících vodík vzniká voda v podobě vodní páry. Vychlazením spalin pod rosný bod lze část vody zkondenzovat a získat tak navíc latentní teplo spojené se změnou skupenství. Podstatou účinného provozu kondenzačních kotlů je využití latentního tepla obsaženého ve vodní páře spalin, přičemž k využití (kondenzaci) musí dojít ve výměníku kotle ve spalovací komoře. Vyššího využití tepla se dosahuje vychlazením vratné vody na nižší teplotu.

Míru využití latentního tepla a výslednou účinnost kotle kondenzačního typu přitom ovlivňuje **míra vychlazení spalin a z toho vyplývající množství zkondenzované vlhkosti**. Pro započítání kondenzace musí být vodní pára ochlazena pod rovnovážnou teplotu změny skupenství při daném tlaku – rozhodující je při tom její parciální tlak, odpovídající podílu vodních par v celkovém složení spalin. Ten závisí na přebytku vzduchu: při teoretickém čistě stechiometrickém spalování (součiniteli přebytku vzduchu $\lambda = 1$) se jedná o teplotu těsně pod 60 °C, ve skutečnosti je mezní teplota kondenzace nižší, a to 55–50 °C, pro $\lambda \approx 1,2$ –1,6 (odpovídající koncentraci O_2 ve spalinách 4–8 % obj.).

Nižší teplota spalin má přitom na množství vzniknuvšího kondenzátu významný vliv a za ideálních podmínek je možné ze spalin 1 Nm³ zemního plynu získat i více než 1,5 litru kondenzátu. Naopak docílit tepelné účinnosti 98 % a více v poměru k výhřevnosti plynu je podmíněno alespoň částečnou kondenzací vlhkosti ve spalinách. Vedle latentního tepla ke zvyšování účinnosti samozřejmě při ochlazování spalin pomáhá i lepší získávání jejich citelného tepla. Přibližně lze počítat se ziskem 0,5–0,7 procentního bodu účinnosti na každých 10 K teploty spalin.

Pro využití latentního tepla spalin musí otopná soustava pokrýt potřebu tepla vytápěného prostoru při nižším návrhovém teplotním spádu (např. alespoň 70/50 °C, optimálně však 40/30 °C), než bylo dříve obvyklé (80/60 °C), a musí se přizpůsobit teplotě topné vody řízené dle ekvitemní křivky.

Z hlediska hydraulického zapojení by se v soustavě neměly vyskytovat armatury/prvky, které by zvýšily teplotu vratné vody, např. přepouštěcí armatury, čtyřcestné směšovací ventily, aj. Nutné je také elektronicky řízené oběhové čerpadlo topné vody zajišťující v soustavách s proměnným průtokem (s termostatickými regulačními ventily) dostatečné vychlazení vratné vody pro zajištění kondenzace.

Kotle na pevná paliva

Ve velké míře jsou dnes instalovány kotle na pevná paliva zejména v nejmenších výkonových řadách v řadách 10–50 kW, určených pro objekty s menší potřebou tepla. Jejich konstrukční řešení, technické parametry, výbava, ad. se u jednotlivých výrobců liší, je však třeba u jejich návrhů a následného používání dodržovat některé společné zásady.

Mezi nejdůležitější požadavek výrobců patří dodržování minimální teploty vratné vody na úrovni zpravidla 50–60 °C z důvodu ochrany kotle před nízkoteplotní korozí. Regulaci teploty vratné vody lze řešit vícero způsoby od instalace čtyřcestné armatury či třicestné se servopohonem nebo řízené termostaticky. Způsobů je více a při návrhu

hydraulického zapojení se stačí řídit doporučenými schémata zapojení výrobce zařízení. Vždy je však nutné řešit každé zapojení individuálně podle výkonu otopné soustavy vůči disponibilnímu výkonu zdroje tepla. Některé zdroje nedokáží výkon regulovat a výkonová schémata jsou obvykle uzpůsobena ekvitermní regulaci. Při zachování minimální teploty vratné vody tak teplotní spád kotlového okruhu bývá optimálně 75/60 °C, přičemž požadovaná teplota přívodní vody dle ekvitermní regulace může být po většinu otopné sezóny výrazně pod těmito hodnotami s teplotou topné vody i pod 50 °C. Kromě dalšího směřovacího uzlu pro regulaci teploty topné vody dle ekvitermní křivky je tak vhodné, a pokud je výkon zdroje výrazně větší než potřeba tepla v otopné soustavě tak i nutné, instalovat akumulární nádobu pro zajištění větší hospodárnosti a plynulosti provozu.

Kotle na pevná paliva tak mohou být využity téměř ve všech aplikacích, ale je nutné při tom dodržet jak požadavky výrobce, tak jistě projekční zásady.

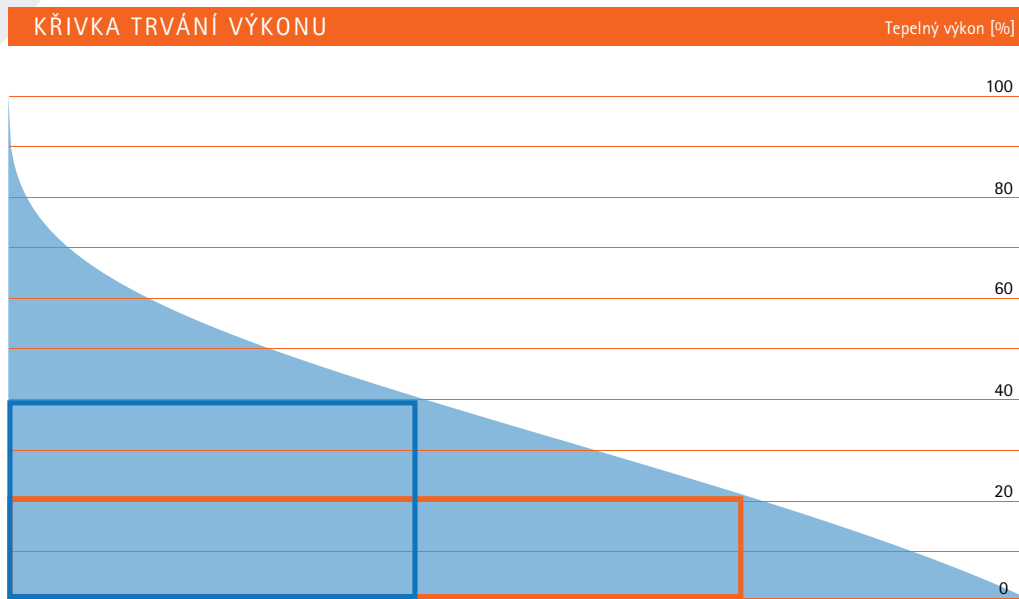
Kogenerační jednotky

Pro ekonomicky efektivní instalaci kogenerační jednotky (KGJ) je třeba dostatečný a nejlépe současný odběr elektřiny a tepla. Stávající možnosti akumulace elektrické energie jsou omezené, proto je výše odběru el. energie většinou řídicím údajem pro dimenzování a provoz KGJ. Akumulace tepla je pak omezena zejména prostorovými možnostmi (obvykle min. 100 l/kW, dle instalace). Typickým vhodným objektem pro instalaci KGJ je např. bazén, kde je téměř celoroční potřeba tepla při trvalé spotřebě el. energie na pohon čerpadel, bazénové VZT, osvětlení atd. Dalšími vhodnými objekty jsou např. nemocnice, domovy s pečovatelskou službou (menší instalace) a průmyslové objekty.

Specifickou oblastí jsou objekty se střídavou potřebou tepla a chladu (zima/léto), kde lze KGJ doplnit o absorpční chlazení využívající pro pohon teplo z KGJ. Pak se hovoří o tri-generaci. Ekonomická efektivnost těchto řešení je zpravidla velmi problematická a instalací v ČR není mnoho.

Výše provozní podpory (zeleného bonusu) je závislá na předpokládané délce provozu během roku. Tepelný výkon KGJ je tedy třeba optimalizovat dle diagramu trvání výkonu podle kterého se instaluje větší KGJ na kratší provoz, či menší KGJ na delší provoz (viz obrázek níže, příklad pro tepelný výkon). Jedná se o velmi zjednodušený způsob návrhu zachycující pouze základní přístup.

GRAF 7:
KŘIVKA TRVÁNÍ
TEPELNÉHO VÝKONU
ZDROJE
ZA OTOPNÉ OBDOBÍ
(BEZ TV)



délka trvání otopného období, resp. délka trvání potřeby výkonu

Tepelná čerpadla

Statistika MPO [17] ukazuje, že nejčastější aplikace tepelného čerpadla je v domácnostech. Přitom tepelné čerpadlo je typu vzduch-voda s elektrickým pohonem. Domácnostmi jsou obvykle rodinné domy v pasivním či nízkoenergetickém standardu případně malé bytové domy s průměrným instalovaným výkonem cca 14 kW (do roku 2006 byl průměrný výkon cca 16 kW, od roku 2007 cca 13 kW). Čerpadla byla instalována zpravidla tam, kde nebyl k dispozici zemní plyn (u novostaveb), nebo kde byl jako zdroj tepla použit např. elektrokotel (cca 3x vyšší provozní náklady) a zároveň došlo k úpravě tepelně-technických parametrů obálky budovy – zateplení. Zateplení (komplexní – celá obálka budovy včetně výplní) přináší pro instalaci TČ důležitý efekt a to ve snížení potřebného výkonu dodávaného otopnou soustavou do prostoru.



Nový, nižší výkon jsou pak schopna přenést stávající otopná tělesa i při snížení teploty topné vody dodávané ze zdroje do otopné soustavy, která je u běžných TČ do 50 °C (55 °C). Pokud výkon OS nebyl při snížené teplotě dostatečný, bylo vždy nutné přestavět OS s vynaložením dalších investic, zhoršujících celkovou ekonomickou bilanci.

U starších staveb byla otopná soustava většinou projektována jako teplovodní ($t_1 > 65\text{ °C}$) a tomu odpovídaly výkony těles. Otopné soustavy se zdrojem TČ se projektují jako nízkoteplotní ($t_1 < 65\text{ °C}$, spíše však $< 50(35)\text{ °C}$). Rozvoj instalací TČ je proto u rekonstrukcí svázán se zateplením a tedy např. s programem ZU, jak je uvedeno v předchozí kapitole.

Plynová TČ nacházejí uplatnění nejčastěji v bytových domech, školách apod., tedy na objektech se střední tepelnou ztrátou v řádu desítek kW až do 200 kW s dostupnou přípojkou zemního plynu.



Příloha:

Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny a tepla dle Nařízení Komise (EU) 2015/2402

HARMONIZOVANÉ REFERENČNÍ HODNOTY ÚČINNOSTI
PRO ODDĚLENOU VÝROBU ELEKTŘINY V PROCENTECH

TABULKA 13

Kategorie	Druh paliva	Rok výstavby		
		před 2012	2012–15	po 2016
PEVNÉ	S1 Černé uhlí včetně antracitu, bituminózního uhlí, subbituminózního uhlí, koks, polokoks a petrolejový koks	44,2	44,2	44,2
	S2 Lignit, lignitové brikety, břidlicová ropa	41,8	41,8	41,8
	S3 Rašelina, rašelinové brikety	39	39	39
	S4 Suchá biomasa včetně dřeva a jiné pevné biomasy včetně dřevěných pelet a briket, suché dřevní štěpky, čistého a suchého odpadního dřeva, ořechových skořápek a olivových či jiných pecek	33	33	37
	S5 Jiná pevná biomasa včetně veškerého dřeva nezahrnutého do kategorie S4 a černý a hnědý louh	25	25	30
	S6 Komunální a průmyslový odpad (neobnovitelný) a obnovitelný/biologicky rozložitelný odpad	25	25	25
KAPALNÉ	L7 Těžký topný olej, plynový olej/motorová nafta, ostatní ropné produkty	44,2	44,2	44,2
	L8 Biokapaliny včetně biomethanolu, bioethanolu, biobutanolu, bionafty a jiných	44,2	44,2	44,2
	L9 Odpadní kapaliny včetně biologicky rozložitelného a neobnovitelného odpadu (včetně loje, tuku a kalu)	25	25	29
PLYNNÉ	G10 Zemní plyn, LPG, LNG a biomethan	52,5	52,5	53
	G11 Plyny z rafinace, vodíkový a syntézní plyn	44,2	44,2	44,2
	G12 Bioplyn z anaerobní digesce, skládkování a čištění odpadních vod	42	42	42
	G13 Koksárenský plyn, vysokopecní plyn, důlní plyn a jiné získávané plyny (mimo rafinérského plynu)	35	35	35
JINÉ	O14 Odpadní teplo (včetně výfukových plynů z vysokoteplotních procesů, produktu exotermických chemických reakcí)			30
	O15 Jaderné palivo			33
	O16 Solární termální energie			30
	O17 Geotermální energie			19,5
	O18 Jiná paliva výše neuvedená			30

%

KOREKČNÍ FAKTORY
PRO VYHNUTELNÉ SÍTOVÉ ZTRÁTY PRO POUŽITÍ
HARMONIZOVANÝCH REFERENČNÍCH HODNOT
ÚČINNOSTI PRO ODDĚLENOU VÝROBU ELEKTŘINY

TABULKA 14

Napěťová hladina připojení	Korekční faktor	
	pro dodávku do sítě	pro spotřebu na místě
≥ 345 kV	1	0,976
≥ 200 – < 345 kV	0,972	0,963
≥ 100 – < 200 kV	0,963	0,951
≥ 50 – < 100 kV	0,952	0,936
≥ 12 – < 50 kV	0,935	0,914
≥ 0,45 – < 12 kV	0,918	0,891
< 0,45 kV	0,888	0,851

HARMONIZOVANÉ REFERENČNÍ
HODNOTY ÚČINNOSTI PRO
ODDĚLENOU VÝROBU TEPLA
V PROCENTECH

TABULKA 15

Kategorie	Druh paliva	Rok výstavby					
		před rokem 2016			po roce 2016		
		Horká voda	Pára*	Výfuk. plyny**	Horká voda	Pára*	Výfuk. plyny**
PEVNÉ	S1 Černé uhlí včetně antracitu, bituminózního uhlí, subbituminózního uhlí, koks, polokoks a petrolejový koks	88	83	80	88	83	80
	S2 Lignit, lignitové brikety, břidlicová ropa	86	81	78	86	81	78
	S3 Rašelina, rašelinové brikety	86	81	78	86	81	78
	S4 Suchá biomasa včetně dřeva a jiné pevné biomasy včetně dřevěných pelet a briket, suché dřevní štěpky, čistého a suchého odpadního dřeva, ořechových skořápek a olivových či jiných pecek	86	81	78	86	81	78
	S5 Jiná pevná biomasa včetně veškerého dřeva nezahrnutého do kategorie S4 a černý a hnědý louh	80	75	72	80	75	72
	S6 Komunální a průmyslový odpad (neobnovitelný) a obnovitelný/biologicky rozložitelný odpad	80	75	72	80	75	72
KAPALNÉ	L7 Těžký topný olej, plynový olej/motorová nafta, ostatní ropné produkty	89	84	81	85	80	77
	L8 Biokapaliny včetně biomethanolu, bioethanolu, biobutanolu, bionafty a jiných	89	84	81	85	80	77
	L9 Odpadní kapaliny včetně biologicky rozložitelného a neobnovitelného odpadu (včetně loje, tuku a kalu)	80	75	72	75	70	67
PLYNNÉ	G10 Zemní plyn, LPG, LNG a biomethan	90	85	82	92	87	84
	G11 Plyny z rafinace, vodíkový a syntézní plyn	89	84	81	90	85	82
	G12 Bioplyn z anaerobní digesce, skládkování a čištění odpadních vod	70	65	62	80	75	72
	G13 Koksárenský plyn, vysokopecní plyn, důlní plyn a jiné získávané plyny (mimo rafinérského plynu)	80	75	72	80	75	72
JINÉ	O14 Odpadní teplo (včetně výfukových plynů z vysokoteplotních procesů, produktu exotermických chemických reakcí)	—	—	—	92	87	—
	O15 Jaderné palivo	—	—	—	92	87	—
	O16 Solární termální energie	—	—	—	92	87	—
	O17 Geotermální energie	—	—	—	92	87	—
	O18 Jiná paliva výše neuvedená	—	—	—	92	87	—

%

*) Pokud parní zařízení nezohledňují ve výpočtu účinnosti tepla v rámci kogenerace návratnost kondenzátu, měly by se hodnoty účinnosti pro páru uvedené v tabulce zvýšit o 5 procentních bodů.

**) Přímé využití výfukových plynů – hodnoty pro ně by se měly používat při teplotě 250 °C nebo vyšší.

Literatura

- [1] Nařízení komise č. 813/2013 o ekodesignu ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů a kombinovaných ohřivačů
- [2] Nařízení komise č. 811/2013 o štítcích ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů
- [3] Nařízení komise č. 626/2011 o energetickém štítkování pro klimatizace
- [4] Nařízení komise č. 206/2012 o ekodesignu pro klimatizační jednotky (i s funkcí TČ)
- [5] Petrák J., Petrák M.: Tepelná čerpadla. Praha, 2004.
- [6] Matuška, T.: Alternativní zdroje energie. Praha, 2010.
- [7] Bufka, A.: Tepelná čerpadla v roce 2013. MPO, 2014.
- [8] ČSN EN 14 511-1 až 4, Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru
- [9] ČSN EN 12 309-1 až 2, Absorpční a adsorpční klimatizační zařízení a/nebo zařízení s tepelným čerpadlem s vestavěnými zdroji tepla na plynná paliva se jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW
- [10] ČSN EN 15450, Tepelné soustavy v budovách – Navrhování otopných soustav s tepelnými čerpadly
- [11] ČSN EN 14825, Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a klasifikace za podmínek částečného zatížení a výpočet při sezonním nasazení
- [12] Program Refutil
- [13] Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku
- [14] Decision 2013/114/EU, establishing the guidelines for Member States on calculating renewable energy from heat pumps from different heat pump technologies pursuant to Article 5 of Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council
- [15] ČSN 38 3350, Zásobování teplem, Všeobecné zásady
- [16] ČSN EN 15459, Energetická náročnost budov – Postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách, únor 2010
- [17] Obnovitelné zdroje energie v roce 2013, výsledky statistického zjišťování, MPO, říjen 2014
- [18] ČSN EN 50465, Spotřebiče na plynná paliva – Kombinovaná zařízení pro výrobu tepla a elektrické energie se jmenovitým tepelným výkonem do 70 kW.



STŘEDISKO PRO EFEKTIVNÍ VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE, o.p.s.
THE ENERGY EFFICIENCY CENTER



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



Zpracovatel publikace:

SEVEn, Středisko pro efektivní využívání energie, o.p.s.
Americká 579/17, 120 00 Praha 2
Tel.: +420 224 252 115, Fax.: +420 224 247 597
www.svn.cz

Na zpracování se podíleli:

Ing. Petr Chmel, Ing. Miroslav Honzík, Ing. Petr Šrutka

Publikace vytvořena za podpory programu EFEKT 2014.