

Návrh modelových výpočtů lokálních energetických zdrojů

PODPOŘENO Z PROGRAMU EFEKT 2015:



1. Obsah

1.	Obsah.....	3
2.	Úvod	5
3.	Lokální energetické zdroje - popis technologie.....	5
3.1.	Kotle.....	5
3.1.1.	Základní rozdělení	5
3.1.2.	Kotle na kapalná a plynná paliva	5
3.1.3.	Kotle na pevná paliva	6
3.2.	Kogenerační jednotky (KGJ).....	7
3.2.1.	Základní přehled technologií kogenerace	7
3.2.2.	Pístové spalovací motory.....	9
3.3.	Tepelná čerpadla	10
3.3.1.	Základní princip	10
3.3.2.	Pracovní látka - chladivo.....	11
3.3.3.	Zdroje obnovitelné energie	12
4.	Vymezení referenční varianty	15
4.1.	Legislativní rámec referenční varianty	15
4.2.	Referenční zdroje energie	15
4.3.	Vymezení měrných investičních nákladů na tepelné zdroje	15
4.3.1.	Kondenzační kotle	16
4.3.2.	Nízkoteplotní a klasické kotle	17
4.3.3.	Kotle na TP.....	18
4.3.4.	Přehled měrných investičních nákladů.....	18
4.4.	Vymezení měrných investičních nákladů na technologie kotelen dle nabídkových cen skutečných projektů	19
5.	Metodika výpočtu zdroje.....	20
5.1.	Metodika výpočtu kogenerační jednotky.....	20
5.2.	Metodika výpočtu tepelného čerpadla	22
5.3.	Metodika výpočtu kotle	26
6.	Vhodnosti užití jednotlivých technologií	29
6.1.	Kotle.....	29
6.1.1.	Kondenzační kotle	29
6.1.2.	Kotle na pevná paliva	29
6.2.	KGJ	29

6.3. Tepelná čerpadla	30
-----------------------------	----

2. Úvod

Cílem této studie je **návrh modelových výpočtů zdrojů tepla** pro potřeby energetických auditů a posudků: kotle, kogenerační jednotky a tepelného čerpadla. Práce reaguje na časté chyby v energetických auditech, kdy např. při instalaci TČ za fosilní zdroj není uvažován nárůst el. energie, případně při instalaci kogeneračních jednotek (KGJ) není uvažován nárůst spotřeby plynu apod. Tato studie bere v potaz novelu vyhlášky č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a posudku, na které se v současné době pracuje.

Dále je cílem této studie **výtah z aktuálních zákonů a norem** vymezující parametry **referenční varianty** úsporného projektu (srovnávací investice, která by byla pravděpodobně realizována), které budou energetičtí specialisté muset brát v potaz 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.

3. Lokální energetické zdroje - popis technologie

3.1. Kotle

3.1.1. Základní rozdělení

V současnosti lokálně užívané zdroje tepla lze nejzákladněji dělit dle druhu paliva na 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 dodávající teplo do teplovodního systému ústředního topení za účelem dosažení a udržení požadované vnitřní teploty uzavřených prostor jako jsou budovy, bytové jednotky nebo místnosti.

3.1.2. Kotle na kapalná a plynná paliva

Úvodem je třeba zmínit, že vytápění kapalnými palivy (zejména ELTO) se dnes využívá zřídka, především u stávajících instalací případně u nových instalací pro 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, právě aby nedocházelo ke kondenzaci vlhkosti ze spalin, jejichž teplota se v těchto provozních podmínkách pohybuje mezi 120 a 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 již je vyroben z materiálů odolných vůči korozi, nicméně není zcela navržen pro provoz výhradně v kondenzačním režimu. Teplota spalin se pohybuje v rozmezí 90 a 150°C.

Naopak kondenzační kotel jsou konstruovány pro trvalý provoz v režimu kondenzace, která je za provozu žádoucí v co největší míře. 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 odvislé od míry vychlazení spalin a na součiniteli přebytku vzduchu ve spalinách. Součinitel přebytku vzduchu je poměr množství vzduchu, který se účastní spalovacího procesu ku množství vzduchu teoretickému a označuje se písmenem 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.

3.1.3. Kotle na pevná paliva

Kotle na pevná paliva prochází v posledních letech rychlým vývojem v závislosti na zpřísnění požadavků legislativy zejména v oblasti produkce emisí znečišťujících látek. S rostoucím počtem způsobů/technologí spalování roste také počet kategorizací a rozdělení jednotlivých kotlů. Nejzásadnějším rozdělením majícím vliv zejména na účinnost spalovacího procesu, tedy i výroby tepla, je dělení podle způsobu obsluhy kotle:

- Ruční dodávka paliva
- Samočinná dodávka 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 spalinovým ventilátorem)
- Automatické kotle (samočinná dodávka paliva, spalinový ventilátor)

Doplnění spalinového ventilátoru do odhořivacího kotle umožní přesnější regulaci výkonu přes průběh spalování a vyšší míru využití prchavých hořavin uvolňujících se při spalování paliva. 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 zatříděny 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.

Tab. 1 – Přehled termínů s požadavky na provoz a uvádění na trh pro kotle na pevná paliva dle NK EU 2015/1189

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 kotle mít spalování řízeno alespoň spalínovým ventilátorem. Kotle vyšších tříd č. 4 a 5 už musí mít sofistikovaněji řešenou spalovací komoru a současně vybaveny automatizací řízení výkonu přísunem paliva a spalovacího vzduchu.

3.2. Kogenerační jednotky (KGJ)

3.2.1. Základní přehled technologií kogenerace

Kogenerace (z angl. co-generation, resp. CHP unit – combined heat and power) znamená společnou výrobu elektřiny a tepla. O kogeneraci však můžeme mluvit až tehdy, pokud dokážeme tepelnou energii, vyprodukovanou při výrobě elektrické energie, smysluplně využít. Konvenční výroba elektřiny v elektrárnách v současnosti nedosahuje příliš vysoké efektivity. Průměrná hodnota účinnosti výroby elektřiny napříč EU je v současnosti uvažována na hodnotě 40%. Elektrárny přemění uvedené množství energie v palivu na elektřinu, zbytek tvoří odpadní teplo, pro které většinou využití není. Zatím co se velká část tepelné energie v centralizovaném systému výroby elektřiny maří, na jiných místech se lokálně tepelná energie z paliva vyrábí v kotlích o účinnosti 80 – 90% podle druhu kotle.

Právě kombinovaná výroba elektřiny a tepla (dále jen „KVET“) v decentralizovaných KGJ umístěných v blízkosti potřeby tepelné energie dokáže právě odpadní tepelnou energii využít a dosáhnout tak efektivity přeměny primárního paliva ve výši až kolem 90%. Decentrální výroba elektrické energie tímto obecně zvyšuje efektivitu energetiky a s tím propojené emise CO₂, což je nejdůležitějším aspektem podpory KVET v zemích Evropské unie.

Princip technologie KGJ

Všechny využívané technologie využívají principu přeměny chemického paliva na elektrickou energii. Energie v palivu, která není přeměněna na elektřinu, z procesu vystupuje jako energie tepelná. Obecně technologie KGJ fungují na principu spalování paliva pro vývin tepelné energie, jejíž část je využita k výrobě elektřiny, zatímco zbytek z procesu vystupuje. Dále jsou stručně popsány nejzákladnější technologie využívané ke kombinované výrobě elektřiny a tepla.

- **Pístové spalovací motory**

Jsou zdaleka nejrozšířenější a nejužívanější technologií zahrnující jak dieslové/vznětové, tak zážehové motory, jejichž výkonové kapacity se pohybují řádově od jednotek kilowatt po desítky megawatt. Dlouhá historie technického rozvoje z pístových motorů dělá robustní, spolehlivé a ekonomické volby pro aplikace KVET.

Základ KGJ tvoří spalovací motor, který je upraven pro spalování (většinou) zemního plynu, event. bioplynu, nafty a jiných odpadních plynů. Motor roztočí připojený generátor, který vyrábí elektřinu s účinnostmi v rozsahu 30-40%. Elektřina je nejčastěji využita pro vlastní spotřebu zařízení, ve kterém je jednotka umístěna, její přebytky 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**

Jsou jedním z nejstarších iniciátorů vývoje technologie a velmi všestranným zařízením pro pohon generátorů elektrické energie. Historicky nahrazovaly právě spalovací pístové parní stroje pro jejich vyšší účinnost a nižší náklady. Výkonově parní turbíny mohou dosahovat až stovky MW a jsou proto využívány zejména ve velkých zařízeních centrální výroby elektřiny a tepla. Jedna odlišnost však u parních turbín ve srovnání s pístovými spalovacími motory nebo plynovými turbínami existuje. U zmíněných technologií je tepelná energie především vedlejším produktem výroby elektřiny, zatímco u parních turbín je využíváno 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%. Rozdělení výroby tepelné energie a produkce elektrické energie umožňuje parním turbínám pohon z různých druhů paliv od uhlí po zemní plyn, vč. druhotných zdrojů energie. Pára o nižším tlaku vystupující z turbíny je dále využívána v systémech CZT, kde může být využívána například ve formě 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 se jedná o jednu z neefektivnějších technologií s účinností přesahující až 50%. Dlouho byla tato technologie využívána pouze pro pokrytí špičkových výkonů nebo výpadku jiného zdroje pro svou rychlou schopnost náběhu. V souvislosti se změnami v sektoru energetiky a pokrokem technologie jsou často využívány pro jako hlavní zdroj výroby elektrické energie. Spaliny vystupující z procesu plynových turbín dosahují vysokých teplot, čehož může být s výhodou využito pro jejich další využití k výrobě páry nebo jiné formy tepelné energie pro další procesní využití například pro systémy CZT.

- **Mikroturbíny**

Jsou malé spalovací turbíny, poháněné plynnými, ale i kapalnými palivy. Oproti pístovým spalovacím motorům je jejich výhodou jednoduchost, kdy 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 technologie dalším vývojem a došlo k úpravám zvyšujícím účinnost výroby elektřiny u těchto turbín menších rozměrů, jako např. využití rekuperace tepla spalin pro předehřev spalovacího vzduchu.

Spaliny vystupující z turbíny dosahují teplot přes 300°C, což je činí dále využitelným zdrojem energie pro různé aplikace a výrobu technologické páry nevyjímaje. Výkonový rozsah mikroturbín je od desítek po stovky kW s účinností výroby elektrické energie až 30%.

Jelikož jsou nejrozšířenější technologií na našem trhu zejména KGJ s pístovými spalovacími motory, bude dále ve zpracované metodice věnována pozornost právě jim. Princip výpočtové metodiky je však aplikovatelný i na ostatní popisované technologie.

3.2.2. Pístové spalovací motory

Bylo řečeno, že dominantní postavení KGJ reprezentuje výroba elektřiny ve spalovacích motorech, rovněž nazývaných motory plynovými. Vzhledem k tomu, že přeměna energie v těchto motorech je provázena produkcí tepla, jsou všechny tyto motory nazývány jako kogenerační jednotky, ačkoliv teplo nemusí být nutně využito.

Existuje několik různých plynových motorů, které jsou typicky řazeny do kategorií Ottova motoru a motoru se zážehovým paprskem (plynových zážehových a dvoupalivových vznětových motorů). Podrobnosti o těchto motorech jsou rozebírány v následujících kapitolách a přehled některých charakteristik uvádí Tab. 1. V plynovém motoru je energie konvertována na využitelnou a nevyužitelnou energii. Následující údaje ukazují, že celkově může být využito až 90% energie:

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

Z celkového vyrobeného tepla mohou být vyvozeny následující kategorie. Největší podíl dostupného tepla plyne z výfukových plynů a z okruhu 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

Disponibilní teplo z chlazení motoru a oleje je obvykle konstantní (<100°C). Toto teplo bývá obvykle využito k ohřevu vody pro různé účely. Vzhledem k její relativně nízké teplotě neexistují žádné speciální požadavky na odolnost potrubí.

Disponibilní teplo z výfukových plynů je ovlivněno mírou znečištění na povrchu výměníku. V proudu výfukových plynů lze naměřit teploty až do 550°C. Tak vysoké teploty vyžadují v důsledku tvorby par vysokotlaké potrubí. Proto jsou často využívány tzv. termické oleje, které zůstávají i za takto vysokých teplot kapalné. Na druhou stranu jsou potřeba 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 od výrobce motoru.

Jmenovitý elektrický výkon kogenerační jednotky je specifikace definovaná výrobcem jako maximální výkon dosažený využíváním takového zařízení. Tento limit bývá obvykle nastaven níže, aby nedošlo k zbytečnému poškození zařízení. Je nicméně možné, že se stárnutím kogenerační jednotky se maximální výkon bude snižovat. Skutečný elektrický výkon se tak od jmenovitého výkonu výrobce obvykle liší.

Motory typu Otto (plynové zážehové motory)

Motory typu Otto – zážehové motory jsou specificky navrženy pro spalování plynů. Dodržují Ottův princip a obvykle pracují s vysokým tlakem, aby minimalizovaly emise oxidu uhelnatého. Elektrická kapacita motorů typu Otto se obvykle pohybuje mezi 100 kW_{el} a 1 MW_{el}. Elektrická účinnost pak 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 záleží 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 pracuje také ve vysokotlakých podmínkách. Pro provoz je potřeba dodat určitý podíl zapalovacího oleje (5 až 10% celkového tepelného příkonu), který bývá společně s plynem přímo vstřikován do spalovací komory.

Typické užití tohoto typu motoru se orientuje na instalované kapacity nad 250 kW_{el}. Elektrická účinnost se pohybuje v rozmezí 30% a 40%, průměrná životnost dosahuje zhruba 35 000 hodin. Po této době bývá levnější variantou motor vyměnit za nový, nežli ho opravovat.

Tab. 2 - Vybrané charakteristiky motorů Gas-Otto a Gas-Pilot Injection (převzaty z FNR 2010)

	Motory zážehové (Otto)	Motory se zápalným paprskem
Instalovaná elektrická kapacita	Může být vyšší než 1 MW, kapacity <100 kW nejsou obvyklé	< 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	1-5% zapalovacího oleje
Výhody	+ navrhnuté 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 motory zážehové + nižší nároky na kvalitu plynu
Nevýhody	- investiční náklady jsou mírně vyšší než u motorů vznětových - vyšší náklady v důsledku obecně nižší produkce těchto motorů - nižší el. účinnost než motory vznětové	- vyšší nároky na údržbu - celková účinnost nižší než u motorů zážehových - je nutné doplňkové palivo - vyšší emise výfukových plynů (NO _x)

3.3. Tepelná čerpadla

3.3.1. Základní princip

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

Oběhy parní 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 chladiče přehřátých par do chladicího okruhu, případně instalací dochlazovače či realizací vnitřní výměny tepla. Efektivnější zapojení okruhu je pak s ekonomizérem (s přímým vstřikováním části chladiva do hlavy kompresoru). Při tomto zapojení dojde ke snížení teploty po kompresi, to významně prodlužuje životnost kompresoru a umožňuje využívat větší tlakový poměr a dosahovat tedy vyšších teplot kondenzace. Pokud je třeba dosahovat ještě vyšších kondenzačních teplot, na trhu je dostupné TČ s kaskádní zapojení dvou okruhů, které jsou schopné ohřívat vodu až na 80°C.

S 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. Pár 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. Plynné chladivo je pak vedeno do kondenzátoru, kde stejně jako v parním oběhu zkondenzuje, odevzdá kond. teplo a přes škrtící ventil přechází do výparníku. Roztok je mezi absorberem a vypuzovačem dopravován čerpadlem.

3.3.2. Pracovní látka - chladivo

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 blízce azeotropické. U chladiv jednosložkových a azeotropních směsí látek probíhá látková změna za konstantní teploty závislé pouze na tlaku. U směsi zeotropické se fázová přeměna odehrává při proměnné teplotě., na počátku varu je tak např. jiná teplota než na jeho konci (-> teplotní skluz).

Rozdělení chladiv dle původu:

- Přírodní – vzduch, voda, oxid uhličitý (CO₂) a čpavek, látky volně se vyskytující v prostředí
 - V tepelných čerpadlech se můžeme setkat s vodou (u nanulových vypařovacích teplot absorpčních oběhů) a s CO₂ (nové technologie, v ČR bez rozšíření, CO₂ se stává znovuobjeveným 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 halgenované (mají v molekule i atomy vodíku-HCFC) a fluorané 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=přímé vlivy + nepřímé vlivy

- Přímé vlivy
 - GWP chladiva * únik chladiva (kg/rok) * životnost zařízení (rok)
 - GWP chladiva * náplň chladiva (kg) * (1-faktor recyklace) (kg CO₂) (faktor = 1 při úplné zpětné recyklaci)
- Nepřímý vliv
 - Životnost zařízení (rok) * roční spotřeba energie (kWh/rok) * emisní faktor CO₂ (kg CO₂/kWh)

Faktor TEWI nabízí komplexní 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 4/94%. 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%.

3.3.3. Zdroje obnovitelné 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, nebo zdroje umělé /odpadní teplo).

K zemskému povrchu proniká energie ze dvou zdrojů, prvním je sluneční energie, která ohřívá zemi, vodu i vzduch, druhým zdrojem je energie z jádra, plynoucí pravděpodobně z radioaktivního rozpadu v jádře. Pro popis zdrojů je uvedeno dělení podrobnější, kdy je sluneční energie dále dělena na energii přímo využitou fototermickými kolektory a sluneční energii přeměněnou na tepelnou energii vzduchu, vody a země. Geotermální energie reprezentuje energii jádra. Samostatně je uveden zdroj odpadní energie, který pochází z lidské činnosti, nejčastěji se jedná o odpadní teplo z technologických procesů.

- Přírodní zdroje energie
 - Vzduch

Vzduch je prakticky všude dostupný zdroje energie, nicméně „hustota“ energie ve vzduchu je malá a využitelné množství energie ve vzduchu s venkovní teplotou klesá. Navíc od cca 4°C (výparná teplota již kolem či pod 0°C) dochází k zamrznání teplosměnných ploch, které zhoršuje efektivitu provozu. Parametry venkovního vzduchu, při kterých je dán 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 chladivem při jeho porušení, ale voda je vedena např. ze studny k výměníku, případně se do okruhu vloží pomocná, ekologicky nezávadná, teplonosná kapalina. Parametry vody se označují písmenem „W“ (Water) a teplotou, např. W10.

- Země (plošné kolektory, vrty)

Pro čerpání energie země se využívají dva základní typy zemních výměníků: vrty (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 vráceno do vrtu a složí 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 vrty na využití geotermální energie jsou hluboké v řádu kilometrů, a využívají energii jádra v suchých horninách (HDR – Hot Dry Rock). Obecně se říká, že nárůst teploty s hloubkou je 30°C/1 km, avšak tato hodnota je silně závislá na geologické skladbě takto hlubokých vrstev podloží. Geotermální energii vody pak představují hlubinné vrty, ze kterých je čerpána voda o vyšší teplotě než u 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 nízkopotencionální energie pro tepelná čerpadla mohou být i solární kolektory. V podmínkách ČR lze dimenzovat kolektory tak, aby dosahovaly, po určitou dobu v roce, dostatečně vysokých teplot a výkonu, aby mohly sloužit jako samostatný zdroj tepla. Při obvyklém návrhu solární soustavy pro přípravu TV a vytápění obvykle dochází k letnímu přebytku tepla, v zimě pak k nedostatku dostatečně ohřáté vody (nedostatek výkonu). Zde je prostor pro instalaci TČ, které dokáže dohřát vodu z kolektoru na požadované teplotní parametry.

- Zdroje odpadní energie

Zdrojem odpadní energie jsou typicky technologické procesy, zdrojem tepla může být např. chladicí řezná kapalina, chlazení forem od odlitků, ale např. i odváděný vzduch VZT jednotkami, ve VZT aplikacích jsou TČ rozšířena zejména u bazénových jednotek.

4. Vymezení referenční varianty

4.1. Legislativní rámec referenční varianty

Na základě aktuálního Metodického rámce vycházející z oddílu 7 - Podpora na ochranu životního prostředí podle Nařízení Komise (EU) č. 651/2014 ze dne 17. června 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, byla navržena metodika výpočtu způsobilých výdajů.

Způsobilé výdaje se dle metodiky vypočítávají dle vztahu:

$$ZV = IN_c - IN_z$$

kde:

IN_c ... jsou celkové investiční náklady na nový zdroj

IN_z ... jsou 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 [Kč/kW]. Měrné náklady jsou stanoveny pro dva výkonové rozsahy a příslušné typy kotlů, které jsou uvedeny v kapitole 4.3.

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 vybavením a konstrukcí kotle. Zejména u malých kotlů velmi záleží, 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 rozpětí měrných nákladů.

Pro výpočet investičních nákladů referenční varianty by energetický specialista měl použít měrné náklady odpovídající výše uvedenému rozptylu měrných nákladů. Pokud energetický specialista použije měrné náklady mimo příslušný rozptyl, bude muset jejich užití zdůvodnit a popsat konkrétní nabídkou.

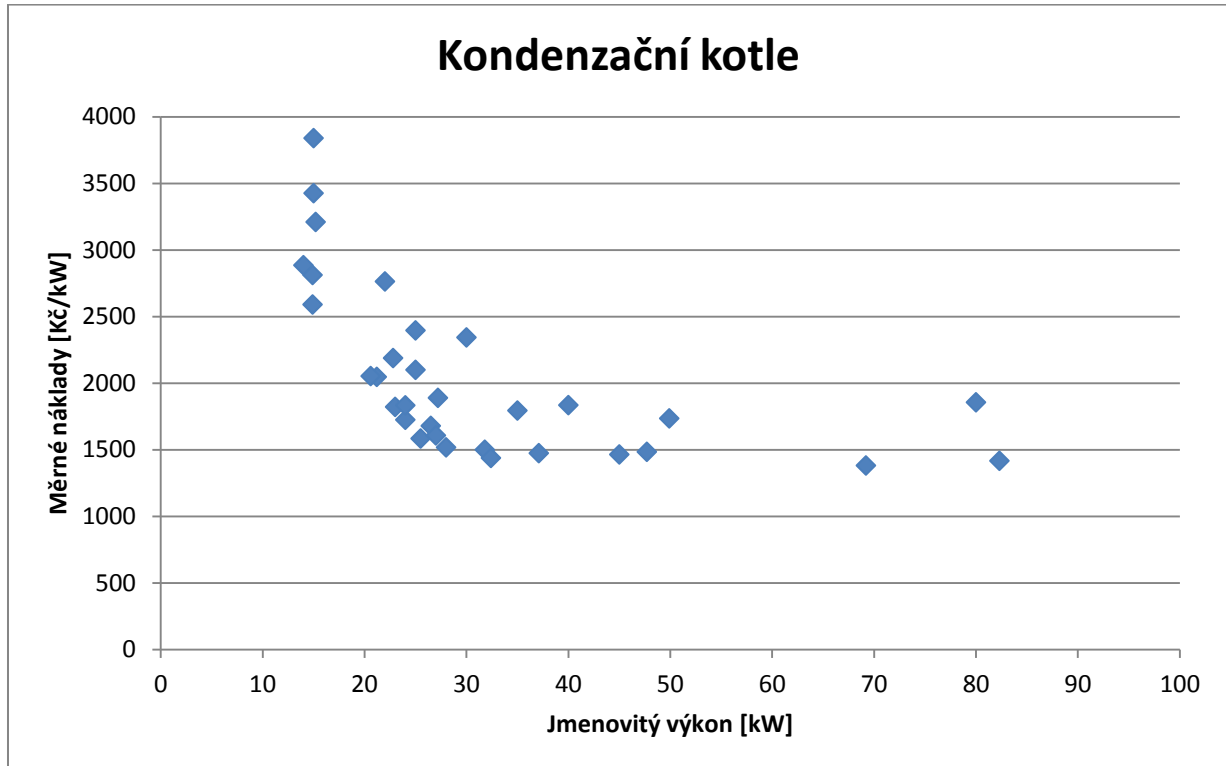
4.2. Referenční zdroje energie

Referenční variantou pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (KVET) standardní kogenerační technologií (z plynu) je plynový kondenzační kotel, v případě výtopny na OZE 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, konkrétní příklady viz „MPO: Obnovitelné zdroje energie Výzva I. – Příručka způsobilých výdajů“.

4.3. Vymezení měrných investičních nákladů na tepelné zdroje

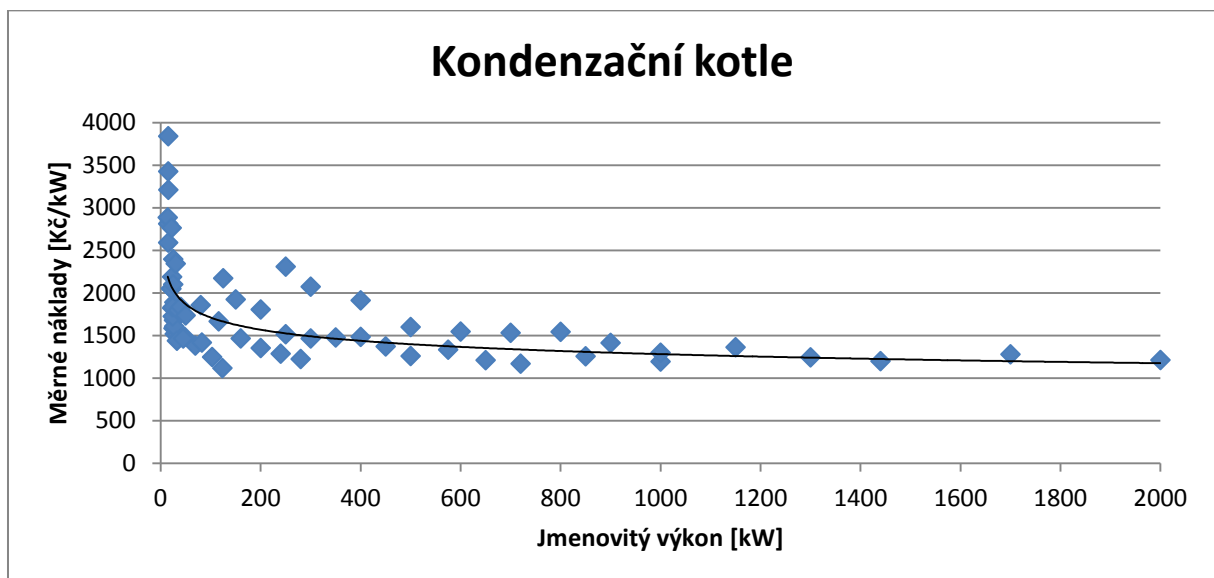
Při aplikaci srovnávací varianty může energetický specialista vycházet ze skutečných cen na příslušnou referenční variantu, nebo může využít níže stanovené měrné ukazatele.

4.3.1. Kondenzační kotle



Graf 1- Měrné investiční náklady kondenzačních kotlů do 100 kW

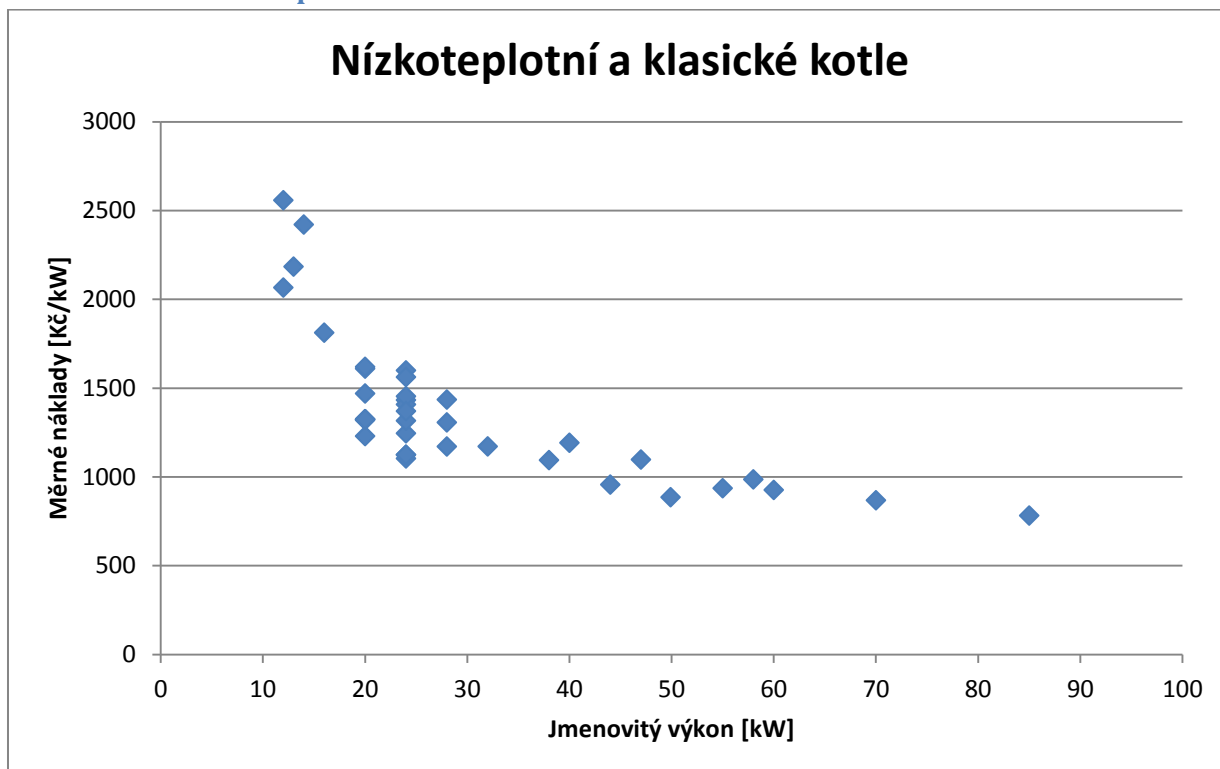
Z grafu je patrné, že náklady na kotel se i pro stejný výkon značně liší. To je dáno jednak značkou kotle, dále pak technickými parametry (nerezový/hliníkový výměník atd.) a rovněž provedením (pouze ÚT, akumulací/průtoková příprava TV, vestavěný zásobník, kvalita regulace, závěsný/stacionární atd.).



Graf 2- Měrné investiční náklady kondenzačních kotlů

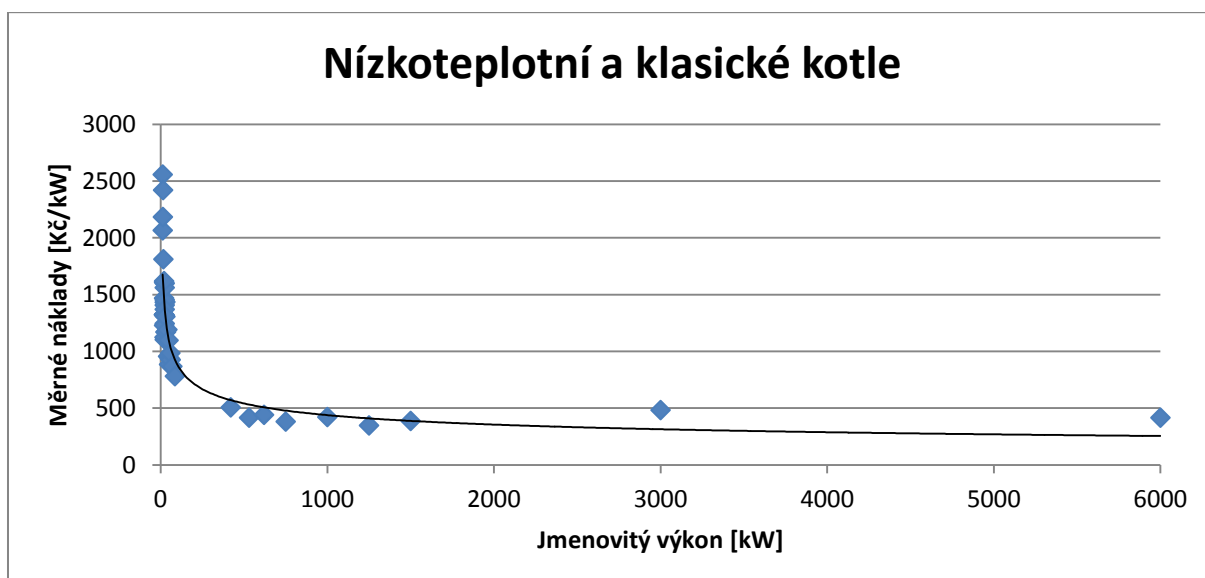
Graf ukazuje relativně stálé měrné náklady u kotlů od výkonu cca 400 kW, důvodem je „užší“ sortiment kondenzačních kotlů větší výkonů a menší rozmanitost provedení.

4.3.2. Nízkoteplotní a klasické kotle



Graf 3- Měrné investiční náklady ne-kondenzačních kotlů do 100 kW

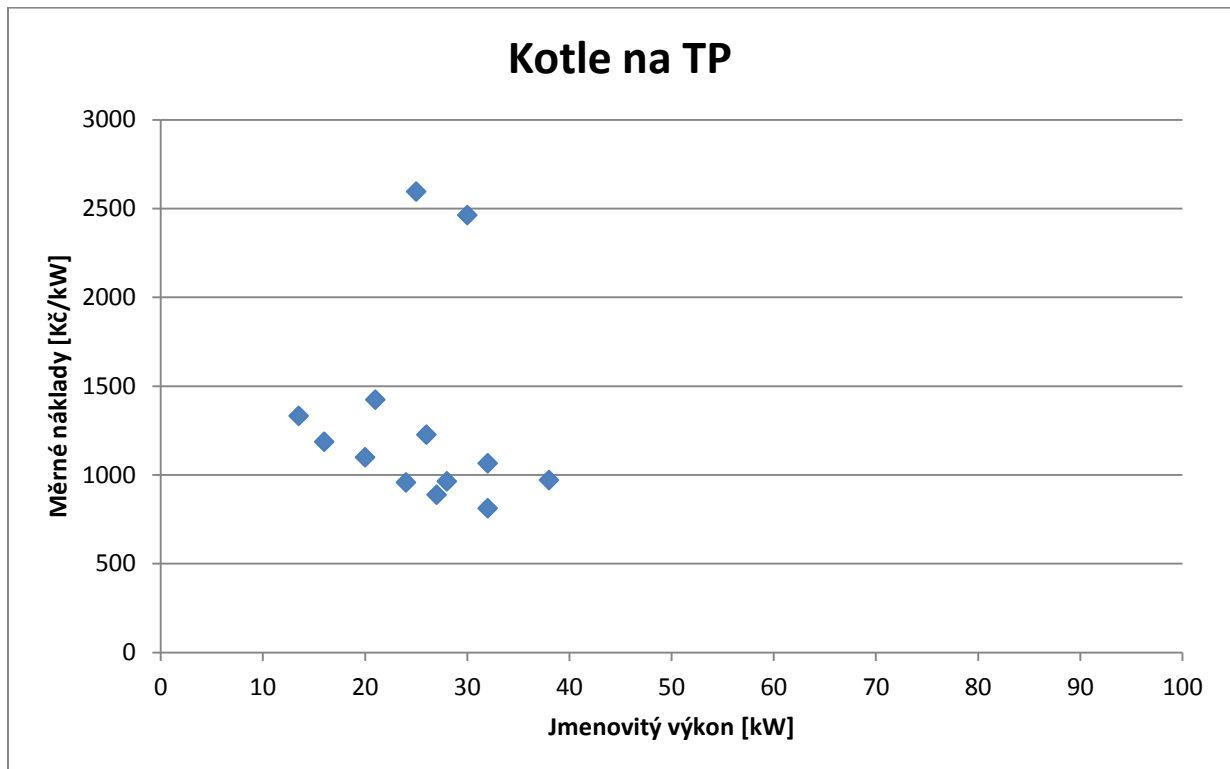
Stejně jako u kondenzačních kotlů, cena je závislá na značce, provedení a vybavení kotle. U ne-kondenzačních kotlů dále záleží, zda jsou v provedení „turbo“, nebo k napojení do komína (bez spalínového ventilátoru).



Graf 4- Měrné investiční náklady ne-kondenzačních kotlů, pozn.: ceny kotlů včetně hořáků

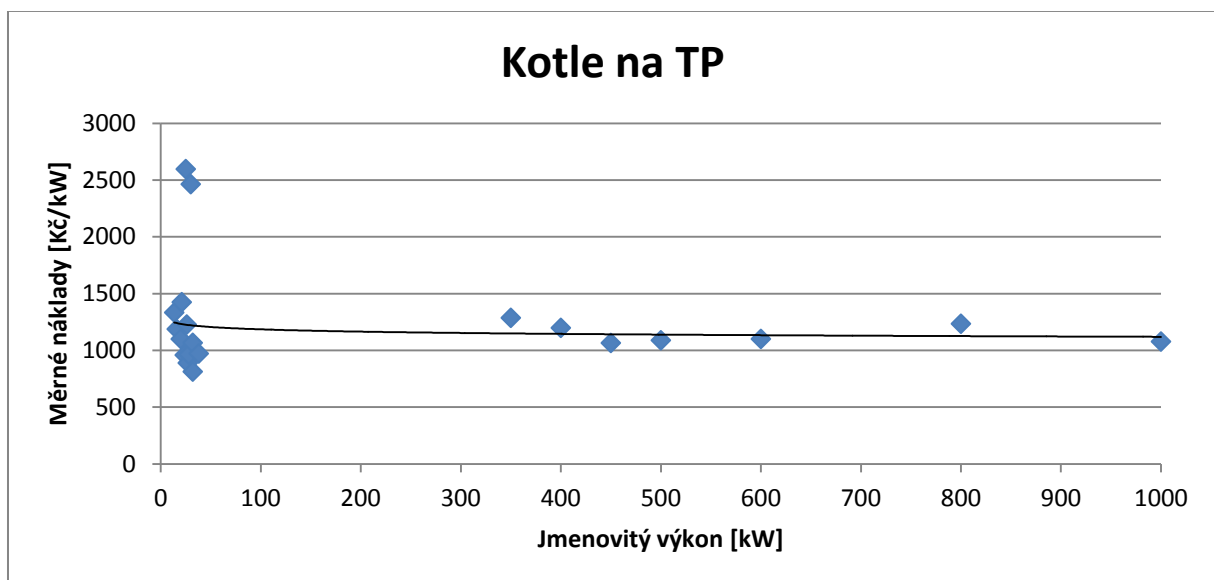
Graf opět ukazuje relativně stálé měrné náklady na kotle od výkonu cca 400 kW, nehledě na ne příliš výstižnou spojnicí trendu. Důvody jsou obdobné jako u kondenzačních kotlů.

4.3.3. Kotle na TP



Graf 5 - Měrné investiční náklady kotlů na TP do 100 kW

Náklady záleží opět na značce, provedení, výbavě, příkládáním (ručně, automaticky, velikost zásobníku atd.) a rovněž na spalovaném palivu, nejdražší jsou vícepalivové kotle (např. uhlí/peletky).



Graf 6 - Měrné investiční náklady kotlů na TP

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

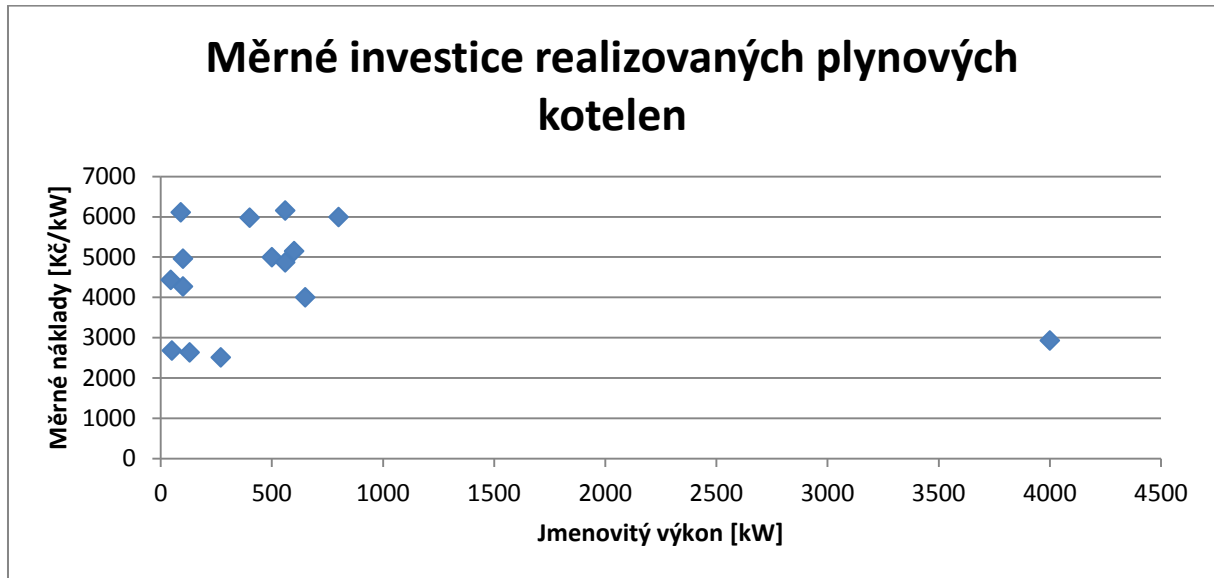
4.3.4. Přehled měrných investičních nákladů

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

Tab. 3 - Měrné náklady [Kč/kW]

Typ kotle / výkon	0-200 kW	>200 kW
Kondenzační	1300-3500	1100-1700
Nízkoteplotní a klasické	900-2500	300-500
Kotle na TP	700-1500	1000-1300

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



Rozptyl měrných nákladů je 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.

5. Metodika výpočtu zdroje

5.1. Metodika výpočtu kogenerační jednotky

V současnosti aktuální dotační programy jsou zaměřeny na podporu energetické účinnosti. Energetická účinnost je tedy vzata jako klíčový parametr při návrhu opatření. Účinnost KGJ lze spočítat dle metodiky uvedené v ČSN EN 50 465 – Spotřebiče na plynná paliva – Kombinovaná zařízení pro výrobu tepla a elektrické energie se jmenovitým tepelným výkonem do 70 kW, nebo dle Nařízení komise č. 813/2013 – ekodesign ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů a kombinovaných ohřivačů.

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 účinností. Stanovení roční účinnosti je u KGJ relativně snazší než u kotlů či tepelných čerpadel, neboť se KGJ 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 (nikoli k množství vyrobeného tepla či el.).

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.

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).

Výpočtová metodika úspor primární energie je založena na výpočtu množství paliva potřebného pro výrobu stejného množství elektřiny a užitečného tepla odděleně při daných „referenčních“ účinnostech odpovídajících úrovni BAT. Ty jsou aktuálně definovány Prováděcím rozhodnutím EK č. 2011/877/EU a do české legislativy transponovány vyhláškou č. 453/2012 Sb.

První model ukazuje správný přístup k výpočtu úspor primární energie při instalaci kogenerační jednotky. Pokud by někdo při posuzování nové plynové KGJ nesprávně uvažoval úsporu referenční výroby elektřiny na uhelné elektrárně, vedlo by to k mnohem větší úspoře a tedy neoprávněnému investičnímu zvýhodnění plynové kogenerace, která bude navíc pobírat provozní podporu.

Při posuzování nových zdrojů kombinované výroby elektřiny a tepla se ve výpočtu úspory primární energie a úspory emisí CO₂ musí uvažovat referenční účinnosti (oddělené) výroby elektřiny a tepla v souladu s vyhláškou č. 453/2012.

Zdůvodnění:

Účelem je zamezit nepřiměřeně vysokému zvýhodňování nových zdrojů KVET, pokud by žadatel deklaroval úspory na základě náhrady oddělené výroby elektřiny z uhelných elektráren s nízkou účinností a vysokým emisním faktorem.

Parametr	Jednotka	Výchozí stav - kotel	KGJ
Návrhové hodnoty			
elektrický výkon	MWe		0,52
tepelný výkon KGJ	MWt		0,60
elektrická účinnost KGJ			39%
tepelná účinnost KGJ			45%
účinnost (špičkovacího) kotle		85%	90%
celková potřeba tepla	MWh/r	3 000	3 000
výroba tepla na KGJ	MWh/r	0	1 680
výroba na kotli	MWh/r	3 000	1 320
spotřeba zemního plynu	MWh/r	3 529	5 200
max. denní spotřeba plynu	tis m3/den	5,97	7,33
výroba el. energie	MWh/r		1 456
dodávka el. ene do sítě	MWh/r		1426,9
Výpočet úspor			
cena ZP	kč/MWh	875,0	875,0
cena za kapacitu	Kč/m3	162,5	162,5
náklady na odebraný ZP	tis. Kč/rok	3 088,2	4 550,0
náklady za rezervovanou kapacitu	tis. Kč/rok	970,0	1 191,0
oprava a údržba	tis. Kč/rok	100,0	390
Celkové provozní náklady	tis. Kč/rok	4 158,3	6 131,0
<i>použití sítě</i>	<i>Kč/MWh</i>	<i>94,69</i>	<i>0</i>
<i>cena silové elktřiny</i>	<i>Kč/MWh</i>		<i>1000</i>
<i>zelený bonus</i>	<i>Kč/MWh</i>		<i>1605</i>
Výnos z výroby el. energie	tis. Kč/rok		3 852,1
Náklady minus výnosy za elektřinu	tis. Kč/rok	4 158,3	2 278,8
Úspora vůči ref. variantě	tis. Kč/rok		1 879,4
Investiční náklady	tis. Kč		9000
KGJ			8000
špičkovací kotel			1000
Prostá doba návratnosti	let		4,79
Stanovení lokální úspory energie			
lokální spotřeba zemního plynu	MWh/r	3 529	5 200
lokální úspora energie	MWh/r		-1 671
Stanovení globální úspory energie			
Vytěsněná el. energie	MWh/r		1 427
Spotřeba primárního paliva na el.	MWh/r	3567,2	1698,7
ÚPE na el. energii	MWh/r		1868,5
celková úspora energie	MWh/r		198

Při výpočtu KVET v SC 3.1 je třeba rovněž stanovit odpovídající způsobilé výdaje: $ZV = IN_c - IN_R$.

Tab. 4 - Srovnávací varianta, stanovení ZV

Referenční varianta - plynový kotel	tis. Kč		900
Způsobilé výdaje	tis. Kč		8 100
Prostá doba návratnosti	let		4,31

5.2. Metodika výpočtu tepelného čerpadla

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

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 neppracují v praxi za ustálených podmínek, odpovídajících jmenovitým parametrům. 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.

Sezónní 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 TČ s el. 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 sezónní koeficient primární energie (Seasonal Primary Energy Ratio)

SCOP sezónní 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). Ideálně je možné 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 sezonním 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.

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j * Ph(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j * \left(\frac{Ph(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{bin}(T_j)} + elbu(T_j) \right)} \quad (1)$$

Kde:

h_j	počet hodin v daném teplotním intervalu	[-]
T_j	venkovní teplota (teplota suchého teploměru)	[°C]
$Ph(T_j)$	potřeba tepla na vytápění (tep. ztráta objektu) pro daný teplotní interval (venkovní teplotu), kde $Ph(T_j) = P_{design} * pl(T_j)$, jedná se tedy o návrhový výkon přepočtený na výkon v daném teplotním intervalu	[kW]

$$pl(T_j) = \frac{T_j - 16}{T_{design} - 16} \quad (2)$$

Kde:

T_{design}	teplota odpovídající referenčním podmínkám pro vytápění (-10°C)	[°C]
$Elbu(T_j)$	výkon záložního (bivalentního) zdroje	[kW]
$COP_{bin}(T_j)$	topný faktor specifický pro daný statistický topný interval	[-]

$COP_{bin}(T_j)$ 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 zahrnout rovněž 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 vak 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 (E_{RES}) z tepelných čerpadel

využívajících různé technologie tepelných čerpadel 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], $Q_{usable} = H_{HP} * P_{rated}$, 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 (SCOPnet nebo SPERnet)

Příklady náhrady kotle se sezónní účinností 88% plynovým tepelným čerpadlem.

Instalace GAHP-A LT		
energie v palivu na výrobu tepla	2500,0	GJ/r
sezónní úč. původního zdroje	88,0	%
potřeba tepla na vytápění (výroba)	2200,0	GJ/r
sezónní účinnost TČ	140	%
nová spotřeba energie v palivu	1571,4	GJ/r
obnovitelná ene. dle 2013/114/EU	628,6	GJ/r
úspora tepla	928,6	GJ/r
úspora nákladů na teplo	294,0	tis. Kč
jmenovitý el. příkon TČ	0,9	kW
roční využití el. příkonu	2000,0	h
nárůst spotřeby el. energie	1800,0	kWh
navýšení nákladů	4,3	tis. Kč
opravy a údržba	12,0	tis. Kč/r
celková úspora nákladů	277,7	tis. Kč
investiční náklady	2500,0	tis. Kč
prostá doba návratnosti	9,0	let

Při výpočtu OZE v SC 3.1 je třeba rovněž stanovit odpovídající způsobilé výdaje: $ZV = IN_C - IN_R$.

Tab. 5 - Srovnávací varianta

Referenční varianta - plynový kotel	400	tis. Kč
Způsobilé výdaje	2100,0	tis. Kč
Prostá doba návratnosti	7,56	let

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!

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 obnovitelné složky energie se vůbec v dosažené úspoře paliva neprojeví. Úspora energie vykázaná 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 tedy neodpovídala skutečně dosaženým úsporám na nakupovaném palivu a následně by neodpovídaly ani hodnoty úspor energie v evidenčním listu EA. Díky tomu však nesedí součet spotřeb energie a ztrát s konečnou spotřebou paliv a energie v objektu. Tabulku je tedy třeba doplnit „pomocnou“ či „vysvětlující“ tabulkou, kde je obnovitelná složka energie samostatně vyčíslena.

Tabulka 1 – Příklad upravená roční energetická bilance - var.1 s doplňující tabulkou

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	2336,0	648,9	1132,1
Změna zásob paliv						
Spotřeba paliv a energie	3047,0	846,4	1354,9	2336,0	648,9	1132,1
Prodej energie cizím						
Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	3047,0	846,4	1354,9	2336,0	648,9	1132,1
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 technologické a ostatní procesy	1115,8	310,0	743,6	1122,2	311,7	747,8

Ukazatel	Před realizací			Po realizaci projektu		
	Energie		Náklady	Energie		Náklady
	(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)	(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
Obnovitelná složka energie	0,0	0,0	0,0	-485,5	-134,9	-153,7

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 předem 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 užit v Příloze 5 – Výsledky ekonomického hodnocení, kde je úspora provozních nákladů uvedena s „-“.

Tabulka 2 – Příklad upravená roční energetická bilance - var.2

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	2336,0	648,9	1132,1
Změna zásob paliv						
Spotřeba paliv a energie	3047,0	846,4	1354,9	2336,0	648,9	1132,1
Prodej energie cizím						
Konečná spotřeba paliv a energie v objektu	3047,0	846,4	1354,9	2336,0	648,9	1132,1
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 technologické a ostatní procesy	1115,8	310,0	743,6	1122,2	311,7	747,8

To, jakou variantu vyjádření úspor energetický auditor zvolí je na jeho uvážení a odpovědnosti. Důležité z pravidla je, aby rozdíl „Vstupu paliv 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.

5.3. Metodika výpočtu kotle

Stejně jako u TČ, i u kotlů lze vyjít při stanovení sezonní účinnosti kotle z metodiky ekodesignu ohříváčů. 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 sezonní účinnost kotle. Účinnost se dle Nařízení o Ekodesignu č. 813/2013 stanoví jako:

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

Kde:

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

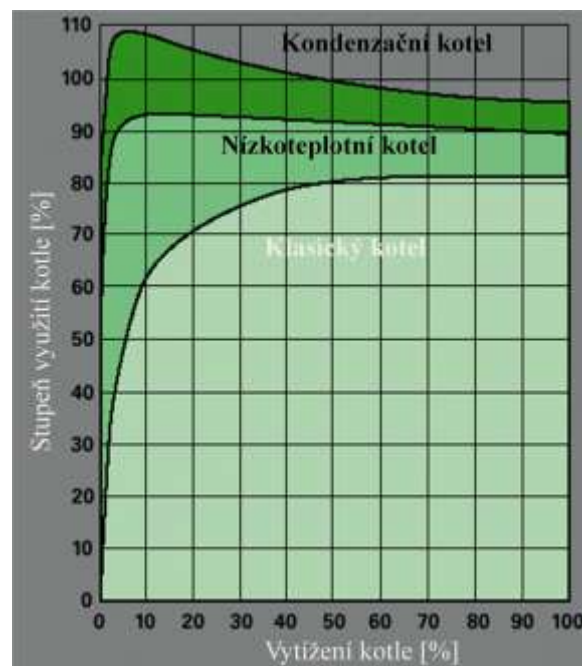
η_1 účinnost kotle při 30% zatížení

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 kond. a nízkoteplotní kotle:

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

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 5-ti zatíženích bez důrazu na jedno z nich.



Graf 7 - Závislost účinnosti na zatížení, zdroj.: Vavříčka, R.: Ztráty tepelných zařízení, tepelných rozvodů a vyhodnocování účinnosti otopných systémů, prezentace

Jak ukazuje obrázek výše, účinnost je závislá na vytížení kotle. Během otopného období je pak výsledná sezonní účinnost výrazně jiná, než jmenovitá účinnost uvedená výrobcem (při jmenovitých podmínkách). Na sezonní účinnost má mimo jiné vliv dimenzování (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 diference, 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 náhrady plynového kotle se sezonní účinností 88 % za nový kondenzační.

Výměna klasického kotle za kondenzační		
energie v palivu na výrobu tepla	2500,0	GJ/r
sezonní úč. původního zdroje	88,0	%
potřeba tepla na vytápění (výroba)	2200,0	GJ/r
sezonní účinnost kond. kotle	100	%
nová spotřeba energie v palivu	2200,0	GJ/r
úspora tepla	300,0	GJ/r
úspora nákladů na teplo	95,0	tis. Kč
investiční náklady	900,0	tis. Kč
prostá doba návratnosti	9,5	let

Pozn.: účinnosti jsou vztaženy k výhřevnosti paliva!

V příkladu je ukázán možný způsob výpočtu přínosů náhrady kotle na základě potřeby tepla na vytápění a potřeby paliva na vytápění při různých sezonních 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 spalin, v praxi u dobře seřízených kotlů obvykle pod 50°C. Nicméně i v soustavách se jmenovitým topným spádem 75/60°C a s dobře nastavenou ekvitermní křivkou ke kondenzaci dochází po více než 80% topné sezony, díky tomu, že extrémní návrhové stavy nastávají po velmi omezenou dobu v topné sezoně.

6. Vhodnosti užití jednotlivých technologií

6.1.Kotle

Každý zdroj tepla v závislosti na druhu paliva má své zásady, které by měly být při provozu dodržovány, aby docházelo k naplnění stanovených energetických, ekologických a ekonomických cílů. Zdroj tepla vždy spolupůsobí s otopnou soustavou, do které teplo dodává a je tedy potřeba při výběru zdroje zohlednit i tuto vazbu. Následující kapitoly pojednají o nejdůležitějších zásadách provozu pro obě nejrozšířenější kategorie kotlů – na pevná a plynná paliva. Pro plynná paliva bude věnována pozornost pouze kondenzačním kotlům i s ohledem na jejich budoucí téměř výlučné používání.

6.1.1. Kondenzační kotle

Podstatou účinného provozu kondenzačních kotlů je zajištění co nejnižší teploty vratné vody, která musí být nižší, než rosný bod spalin – cca 57°C. Čím více spaliny dokáže vratná voda vychladit, tím vyšší je výsledná účinnost. Optimální je tedy teplota vratné vody alespoň 50°C. Tomuto předpokladu musí být uzpůsobena zejména otopná soustava, která musí potřebu tepla vytápěného prostoru pokrýt při nižším návrhovém teplotním spádu (např. alespoň 70/50 °C, optimálně však 40/30°C), než bylo dříve obvyklé (80/60°C).

Z hlediska hydraulického zapojení by se v soustavě neměly vyskytovat armatury/prvky, které zvýší teplotu vratné vody, např. přepouštěcí armatury, čtyřcestně směšovací ventily, aj. V závislosti na průběhu účinnosti kondenzačních kotlů na jejich zatížení (dle grafu 7) je také vhodné kotle při jejich řazení do kaskády provozovat současně namísto střídavě, z důvodu jejich vyšší účinnosti při nízkém zatížení.

6.1.2. Kotle na pevná paliva

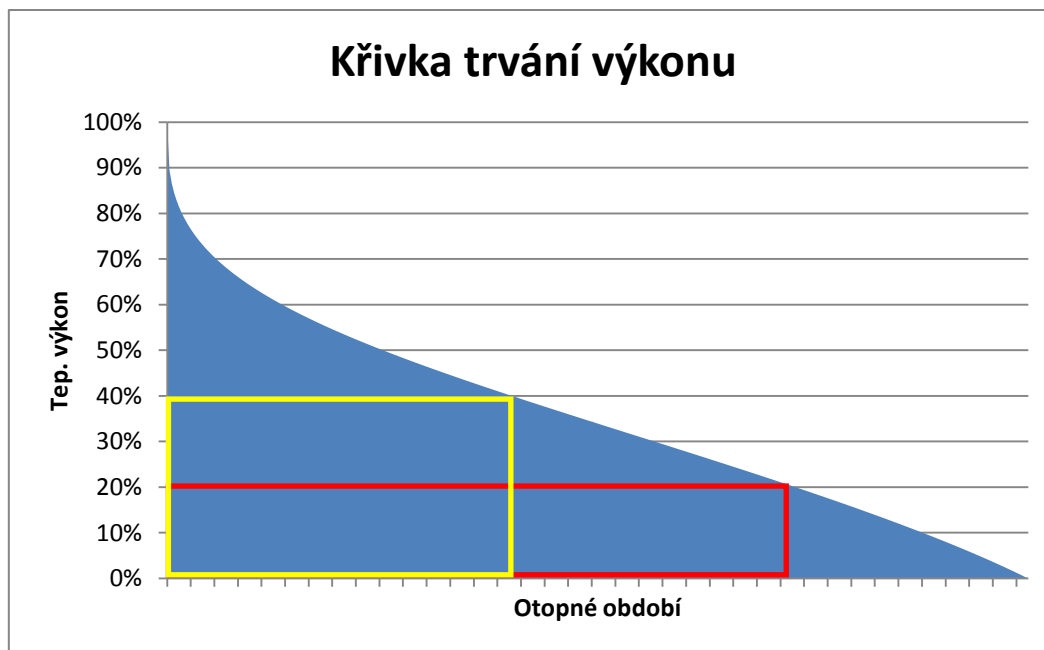
6.2.KGJ

Pro ekonomicky efektivní instalaci KGJ je třeba dostatečný a ideálně i současný odběr elektřiny a tepla. Stávající možnosti akumulace elektrické energie jsou omezené, proto je odběr el. energie většinou řídicí pro dimenzování a provoz KGJ. Akumulace tepla je pak omezena zejména prostorovými možnostmi (15-30 l/kW).

Typicky 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 samozřejmě průmyslové objekty.

Specifickou oblastí jsou objekty se střídavou potřebou tepla a chladu (zima/léto), kde lze KGJ doplnit o absorpční chlazení využívajícího 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 odvislá od předpokládané délky provozu během roku. Tepelný výkon KGJ je tedy třeba optimalizovat dle diagramu trvání výkonu, dle toho se pak instaluje větší KGJ na kratší provoz, či menší KGJ na delší provoz, viz obrázek níže, příklad pro tepelný výkon.



Obrázek 1 - Křivka trvání tep. výkonu zdroje za otopné období (bez TV)

6.3. Tepelná čerpadla

Statistika MPO [17] ukazuje, že nejčastější aplikace tepelného čerpadla je v domácnostech a tepelné čerpadlo je vzduch-voda s elektrickým pohonem. Domácnostmi jsou typicky 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 dodat i stávající otopná tělesa i při snížení teploty 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 přebudovat OS s vynaložením dalších investic, zhoršujících celkovou ekonomickou bilanci realizace.

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

Plynová TČ nacházejí uplatnění nejčastěji na bytových domech, školách... tedy na objektech se střední tepelnou ztrátou dostupným zemním plynem.

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 s 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.